

© В.Г. Снігур¹¹ШУ «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», Павлоград, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ З РОЗРОБКИ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ВИРОБОК, ЩО ПОВТОРНО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ, НА ШАХТАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

© V. Snihur¹¹ММ “Heroiv Kosmosu”, PJSC “DTEK Pavlohradvuhillia”, Pavlohrad, Ukraine

METHODOLOGICAL PRINCIPLES AND RECOMMENDATIONS FOR THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES WHEN MAINTAINING REUSABLE MINE WORKINGS IN THE WESTERN DONBAS MINES

Мета. Обґрунтування методологічних принципів ресурсозберігаючого підвищення стійкості виробок, що повторно використовуються, у слабометаморфізованому вуглевміщуючому масиві шляхом оптимізації деформаційно-силових характеристик кріпильних конструкцій відповідно до геомеханічних умов їх підтримки.

Методика дослідження. Використано комплексний метод, що включає аналіз геомеханічних процесів, режимів взаємодії гірських масивів з кріпильними конструкціями та методик їх оптимізації, експериментальні шахтні дослідження, обґрунтування методичних походів до експериментальної перевірки на ступінь відповідності результатів аналітичних розробок.

Результати дослідження. Отримано новий методичний принцип виконання шахтних досліджень з виділенням трьох основних особливостей та реалізацією під час проведення широкомасштабних вимірів. На конкретних прикладах доведена можливість досягнення деформаційно-силової характеристики кріпильних конструкцій оптимальним значенням навантаження та зміщення за допомогою аналізу та впливних факторів. Виділено сприятливі умови помірної інтенсивності, складні гірничо-геологічні умови та показники, що їх характеризують.

Наукова новизна. Обґрунтовано і розраховано оптимізаційні схеми взаємодії кріпильних систем з масивом гірських порід при яких мінімізується інтенсивність проявів гірського тиску. Проведено багатофакторні обчислювальні експерименти для різних областей доцільного застосування конкретних кріпильних конструкцій.

Практичне значення. Проведено порівняльний аналіз достовірності аналітичних досліджень щодо сукупності результатів шахтних вимірювань у діючих виробках, а також на основі технічної документації маркшейдерських зйомок на вже відпрацьованих виїмкових ділянках з метою вибору раціональних параметрів кріплення виїмкових виробок, що повторно використовуються, залежно від гірничо-геологічних умов їх підтримки.

Ключові слова: гірський масив, кріпильна система, виробка, що повторно використовується, оптимізаційні принципи, напружено-деформований стан.

Вступ. Позитивні зміни соціально-економічної ситуації при видобутку корисних копалин в Україні та підвищення її енергетичної безпеки можна реалізувати шляхом впровадження інноваційного підходу до корінного удосконалення

нових технологій, де основним напрямом є ресурсозберігаючі сучасні розробки в геофізиці та геомеханіці [1, 2].

На сучасному етапі інтенсифікації очисних робіт на вугільних шахтах України і особливо в Західному Донбасі, актуальним є завдання своєчасної підготовки нових видобувних ділянок, при цьому один з основних напрямів – це повторне використання виробок. Успішне поєднання економії ресурсів та забезпечення необхідних умов експлуатації в технічних рішеннях щодо підтримки виїмкових виробок, що повторно використовуються, є основою інтенсифікації вуглевидобутку в Західному Донбасі.

Результати попередніх досліджень обґрунтували принципи та напрями оптимізації деформаційно-силових характеристик кріпильних конструкцій виїмкових виробок, що повторно використовуються, відповідно до геомеханічних умов їх підтримки на шахтах Західного Донбасу. Аналіз цих напрямів [3–5] однозначно вказує на нерозривність зв'язку між режимом роботи кріпильної конструкції і навантаженням, яке сприймається нею, з боку навколишнього вуглевмісного масиву [6, 7]. Дане твердження не є новим; воно вже було детально вивчено в роботах [8, 9], але для виробок, що підтримуються поза зоною впливу очисних робіт, і без урахування впливу сучасних комбінованих анкерних систем на поведінку прилеглого масиву. Зазначені дві важливі відмінності не лише відображають сутність новизни роботи, але одночасно вимагають дослідження методичних підходів до експериментальної перевірки на ступінь відповідності результатів аналітичних розробок.

Методичні принципи порівняння результатів шахтних досліджень та аналітичних розрахунків. Складність експериментальної перевірки достовірності та адекватності оптимізаційних рішень полягає в наступному. Кожна окремо взята виробка або група прилеглих виробок характеризується своїми гірничо-геологічними умовами: глибина H розміщення, текстура і механічні властивості прилеглого масиву, які виражені через інтегральний параметр R – середній розрахунковий опір стиску прилеглих літотипів відповідно до нормативної методики [10]. Раніше було обґрунтовано доцільність використання для характеристики гірничо-геологічних умов так званого геомеханічного показника H/R . Цей показник бере участь як при прогнозуванні оптимальних реакцій P_A та піддатливості u_A кріпильної системи, так і визначенні її деформаційно-силової характеристики залежно від текстури та механічних властивостей прилеглого масиву (рис. 1).

Зі сказаного слідує висновок – управляти параметрами проявів гірського тиску в напрямі мінімізації навантаження можливо лише за допомогою самої кріпильної системи шляхом регулювання її деформаційно-силової характеристики. Це регулювання в інноваційних технологіях застосування комбінованих анкерних систем здійснюється шляхом зміни параметрів кріпильних конструкцій. Варіювання їхньої реакції опору P_{max} можливе такими параметрами:

- зміна кроку встановлення номера спецпрофілю СВП рамного кріплення;
- зміна тільки кроку встановлення канатних анкерів;
- зміна параметрів встановлення сталеполімерних анкерів та їх кількості в поперечному перерізі виробки.

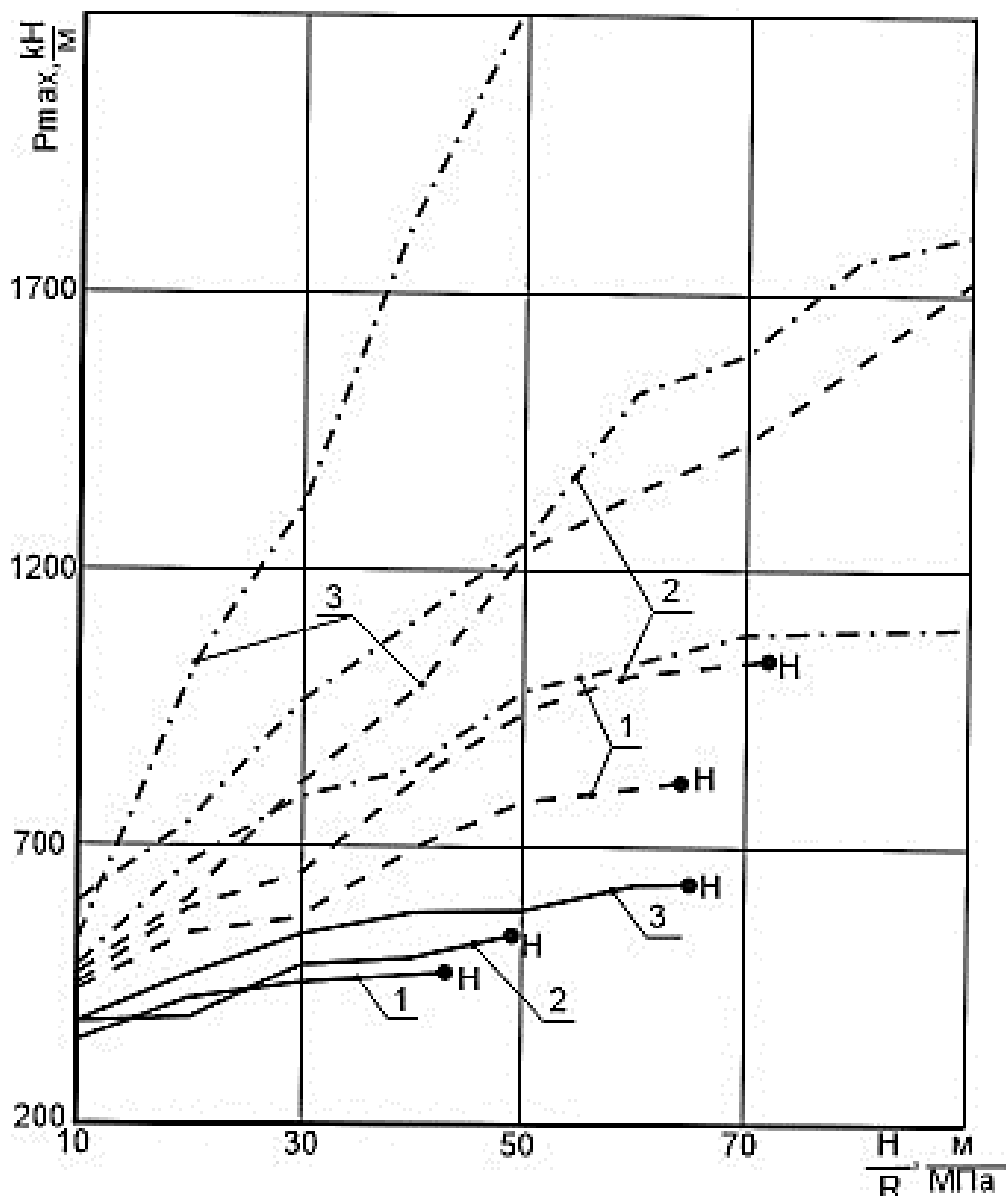


Рис. 1. Залежність реакції опору P_{max} кріпильної конструкції від геомеханічного показника H/R за групами узагальнених текстур: 1 – група I; 2 – група II; 3 – група III; варіант знижених (—), усереднених (---) та підвищених (-·-·-) механічних властивостей

Аналіз факторів, що впливають на деформаційно-силову характеристику кріпильної системи, дозволив сформулювати наступне:

- досягнення задовільної відповідності деформаційно-силової характеристики кріпильної конструкції мінімізованим (раціональним) проявам гірського тиску в конкретних умовах підтримки виїмкової виробки цілком можливо;

- головною умовою реалізації оптимізаційних рішень є силовий фактор, який регулюється параметрами кріпильної конструкції;

- деформаційний фактор відіграє підпорядковану, але вагому роль і його виконання (в оптимізаційних рішеннях) регулюється частково самими проявами гірського тиску, а в іншій частині – конструктивними параметрами кріпильної системи.

Методика оцінки ступеня раціональності кріпильних конструкцій. Розглянувши можливості реалізації оптимізаційних рішень щодо управління деформаційно-силовою характеристикою кріпильної системи [11 – 13], необхідно обґрунтувати методичні принципи досягнення адекватності порівняння результатів шахтних досліджень та аналітичних розрахунків.

Перша особливість порівняння результатів експериментальних і аналітичних досліджень полягає в можливості лише неявного отримання відомостей про прояви гірського тиску через зміщення U породного контуру, величину втрати перерізу ΔS виробки і стан її кріпильної конструкції.

Друга особливість полягає у взаємовпливі двох напрямів оптимізаційних дій. З одного боку, досягнення оптимальних параметрів P_A і u_A само собою не відбувається, а керується деформаційно-силовою характеристикою $P(u)$ кріпильної конструкції. З іншого боку, і деформаційно-силова характеристика кріпильної конструкції піддається регулюванню за рахунок варіації своїх параметрів. Очевидно, що для виявлення ступеня раціональності режимів роботи кріпильних конструкцій у конкретних гірничо-геологічних умовах (за геомеханічним показником H/R) необхідно порівняння як мінімум їх декількох варіантів, а самі варіанти функції $P(u)$ визначаються варіацією конструктивних параметрів.

Тому виникає третя особливість порівняльного аналізу – необхідність при фіксованому значенні H/R вивчити стан декількох варіантів кріпильних конструкцій. Тут передбачено два способи реалізації зазначеної умови:

– вибирається виробка (або декілька), де проводяться дослідження з оцінки її стану та завчасно (ще поза зоною впливу очисних робіт) на декількох ділянках по довжині виробки споруджується декілька варіантів конструкцій комбінованих анкерних систем; перший спосіб досить трудомісткий і обмежується лише декількома варіантами;

– другий спосіб має більш широкі можливості і полягає у виборі низки виробок з приблизно однаковим значенням геомеханічного показника H/R (відхилення в межах 10%); однак, виробка (або їх протяжні ділянки) відрізняються між собою параметрами кріпильних конструкцій; цей спосіб набагато менш трудомісткий, передбачає тільки шахтні спостереження і не обмежений кількістю досліджуваних виробок; тут здійснюється перебір великої бази варіантів як за значеннями геомеханічного показника H/R , так і за різними конструктивними рішеннями кріпильної

Для урахування вищезазначених особливостей розроблено нову методику оцінки ступеня раціональності кріпильних конструкцій (з погляду мінімізації проявів гірського тиску) через вивчення та аналіз показників стану виробки, які є непрямими по відношенню до оптимізаційних рішень в частині деформаційно-силової характеристики $P(u)$ кріпильної системи. Для формування бази вихідних даних з подальшим їх аналізом було побудовано серію таблиць (табл.)

Технологія заповнення вихідних даних таблиці має свої особливості. При розташуванні виїмкових виробок за підняттям (падінням) глибина H їх розміщення змінюється у відносно невеликому діапазоні завдяки малому куту падіння

пластів (зазвичай у Західному Донбасі $\alpha = 1-6^\circ$). Тим не менш, в таблицю заносяться значення H , відповідні ділянкам знімання показань про зміщення контуру виробки та оцінки стану її кріпильної конструкції.

Таблиця

Вихідні геомеханічні фактори підтримки виробок та параметри їх стану

Виробка. Параметри кріпильної конструкції	Геомеханічний фактор
	Глибина розміщення H , м
	Середній розрахунковий опір стиску R , МПа
	Геомеханічний показник H/R , м/МПа
	Група текстури масиву
	Втрата перерізу виробки ΔS , %
	Зближення покрівлі і підшви $U^{K,П}$, мм
	Зближення боків U^δ , мм
	Підняття підшви $U^П$, мм
	Вдавлювання стояків підшви U_{cm} , мм
	Вертикальна деформація верхняка рами Δu , мм
	Довжина нахльсту СВП у замку піддатливості $l_{3,n}$, мм

Потужність і міцнісні властивості літотипів, що складають прилеглу вуглевмісну товщу, вишуковуються за даними гірничо-геологічного прогнозу на досліджувану виробку, а визначення середнього розрахункового опору породи стиску виконується за нормативною методикою [10].

Втрата перерізу виробки ΔS визначається у відсотках по відношенню до паспортної площі поперечного перерізу у світлі $S_{св}$:

$$\Delta S = \frac{100\%}{S_{св}} \left[U^{K,П} (0,9B - U^\delta) + U^\delta h \right], \quad (1)$$

де $S_{св}$ – проектна площа поперечного перерізу виробки у світлі до осадки; визначається за даними технічної документації на спорудження виробки; $U^{K,П}$ і U^δ – зближення покрівлі-підшви та боків виробки; визначається за даними маркшейдерської зйомки або за результатами вимірів у процесі шахтних інструментальних спостережень за стандартною методикою ВНДМІ [14]; B і h – проектна висота та ширина виробки у світлі до осадки.

Параметр – втрата перерізу виробки ΔS є частково узагальнюючим її стан і характеризує загальну інтенсивність проявів гірського тиску та ступінь раціональності режиму роботи кріпильної системи. Для розрахунку ΔS необхідно визначити та внести до таблиці дані про показники $U^{K,П}$ і U^δ .

Більшою мірою відповідає задачам порівняльного аналізу параметр – опускання порід покрівлі U^K , який зіставляється з оптимальним значенням u_A формування мінімального навантаження на кріпильну конструкцію. Величина U^K розраховується за очевидним виразом:

$$U^K = U^{K,II} - U^{II}, \quad (2)$$

де U^{II} – підняття підосви виробки; визначається за даними замірів величини зди-
мання відносно нижньої кромки вугільного пласта; за відсутності таких даних
або неможливості виконання замірів значення U^{II} розраховується за норматив-
ною методикою [10].

Другою дією, пов'язаною практично безпосередньо з оцінкою рівня відпо-
відності режиму роботи кріпильної системи геомеханічним умовам підтримки
виробки, є розрахунок піддатливості u_{max} кріпильної конструкції в цілому. Для
цього фіксуються три параметри (див. табл.): U_{cm} – вдавлювання стояків рами в
породи підосви виробки; визначається за збільшенням відстані від торця стояка
до нижньої кромки вугільного пласта; Δy – виположування форми верхняка рами
у вертикальному напрямку; визначається за різницею проєктної та поточної ви-
соти стріли підйому склепіння; $\Delta l_{3,n}$ – довжина збільшення нахльосту спецпрофі-
лів СВП у замку піддатливості.

Загальна піддатливість кріпильної конструкції обчислюється підсумовуван-
ням складових:

$$u_{max} = U_{cm} + \Delta y + \Delta l_{3,n} \sin \beta, \quad (3)$$

де β – кут нахилу до горизонталі ділянки нахльосту СВП у замку піддатливості.

У результаті по сформованій базі даних виконується аналіз шляхом побудови
сім'ї експериментальних графіків зв'язку піддатливості кріпильної системи u_{max} ,
узагальнюючої характеристики у вигляді втрати перерізу ΔS з геомеханічним по-
казником H/R . Далі проводиться порівняльний аналіз експериментальних графіків
з аналітичними.

Заключною позицією методичних принципів є систематизація рекомендацій
із застосування інноваційних кріпильних систем залежно від текстури та власти-
востей прилеглого масиву, а також геомеханічного показника H/R .

Необхідність проведення розрахунків з визначення деформаційно-силових
характеристик різних конструктивних рішень кріпильних систем вже була обгру-
нтована раніше і продиктована метою досліджень – вибір раціональних параме-
трів кріплення виїмкових виробок, що повторно використовуються, залежно від
гірничо-геологічних умов їх підтримки. Забезпечення можливості вибору базу-
ється на серії розрахунків деформаційно-силових характеристик $P(u)$ низки кон-
струкцій кріпильних систем, об'єднаних двома основними умовами. По-перше,
необхідно охопити якомога ширше коло фактичних конструктивних рішень на
шахтах Західного Донбасу. Тому розрахунку та аналізу піддані реальні кріпильні
конструкції у реальних виробках, які ще експлуатуються, або вже погашені, але
по них є дані маркшейдерських зйомок для складання таблиці. По-друге, вивча-
ється якомога більша кількість виробок, де застосовується (або була викорис-
тана) як складова комбінована анкерна система.

Керуючись викладеним підходом для розрахунку функцій $P(u)$, було відіб-
рано низку кріпильних конструкцій, які реально застосовуються на шахтах Захід-
ного Донбасу. Вибір виробок (відповідно до зазначених методичних принципів)

передбачав якомога ширший діапазон зміни значень геомеханічного показника H/R , що спричинило за собою необхідність оцінки стану великої кількості виїмкових штреків: всього було досліджено 43 виробки.

У методичному плані ми попередньо розділили області доцільного застосування тієї чи іншої кріпильної конструкції наступним чином.

Сприятливі гірничо-геологічні умови підтримки виїмкових виробок. Помірні прояви гірського тиску дозволяють зберегти площу залишкового перерізу на рівні 75–90% (на ділянці після проходу лави з урахуванням підрибки підосви). Незворотні пластичні деформації рамного кріплення мінімальні, несуттєво спотворюють її початкову форму за збереження практично на паспортному рівні несучої здатності. Сприятливі умови узагальнено характеризуються діапазоном зміни геомеханічного показника $10 \text{ м/МПа} \leq H/R \leq 30 \text{ м/МПа}$: тут за нашими прогнозами для надійної протидії гірському тиску цілком достатньо встановлення рамного кріплення (відповідного кроку), а у міжрамному просторі склепіння виробки – комплекту сталеполімерних анкерів у кількості 4–7 штук (рис. 2).

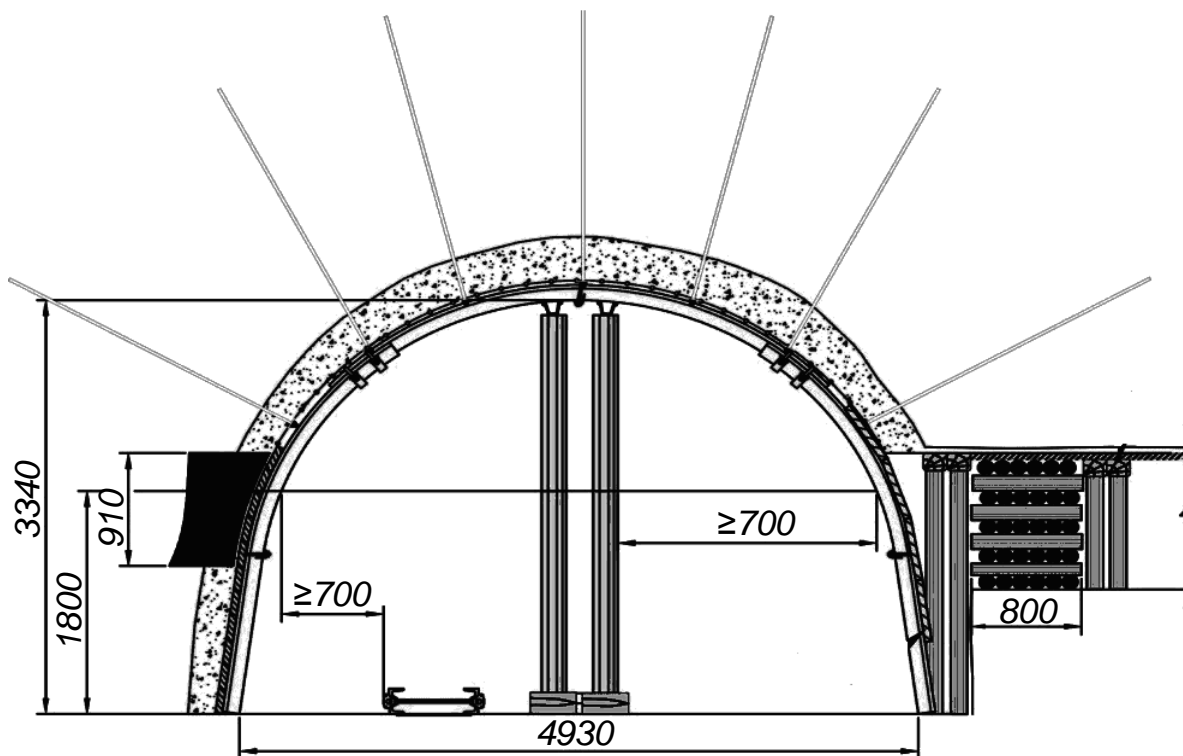


Рис. 2. Принципова схема підтримки виїмкових штреків у сприятливих гірничо-геологічних умовах

Умови помірної інтенсивності проявів гірського тиску. У першому наближенні цим умовам відповідає діапазон варіації геомеханічного показника $30 \text{ м/МПа} \leq H/R \leq 50 \text{ м/МПа}$. Після проходу лави величина залишкового перерізу зберігається лише на рівні 60–75% з урахуванням періодичних підрибок порід підосви. Деформації традиційних кріпильних конструкцій більш суттєві (поле проходу очисного вибою) та для забезпечення експлуатаційного стану ви-

їмкових штреків при їх повторному використанні доцільно застосовувати комбіновані анкерні системи. Принципова схема кріпильної конструкції наведена на рис. 3 і вона з деякими варіаціями пройшла успішну апробацію на низці виїмкових ділянок, наприклад, 861-й збірний штрек (шахта «Західно-Донбаська») і 594-й збірний штрек (шахта «Ювілейна»).

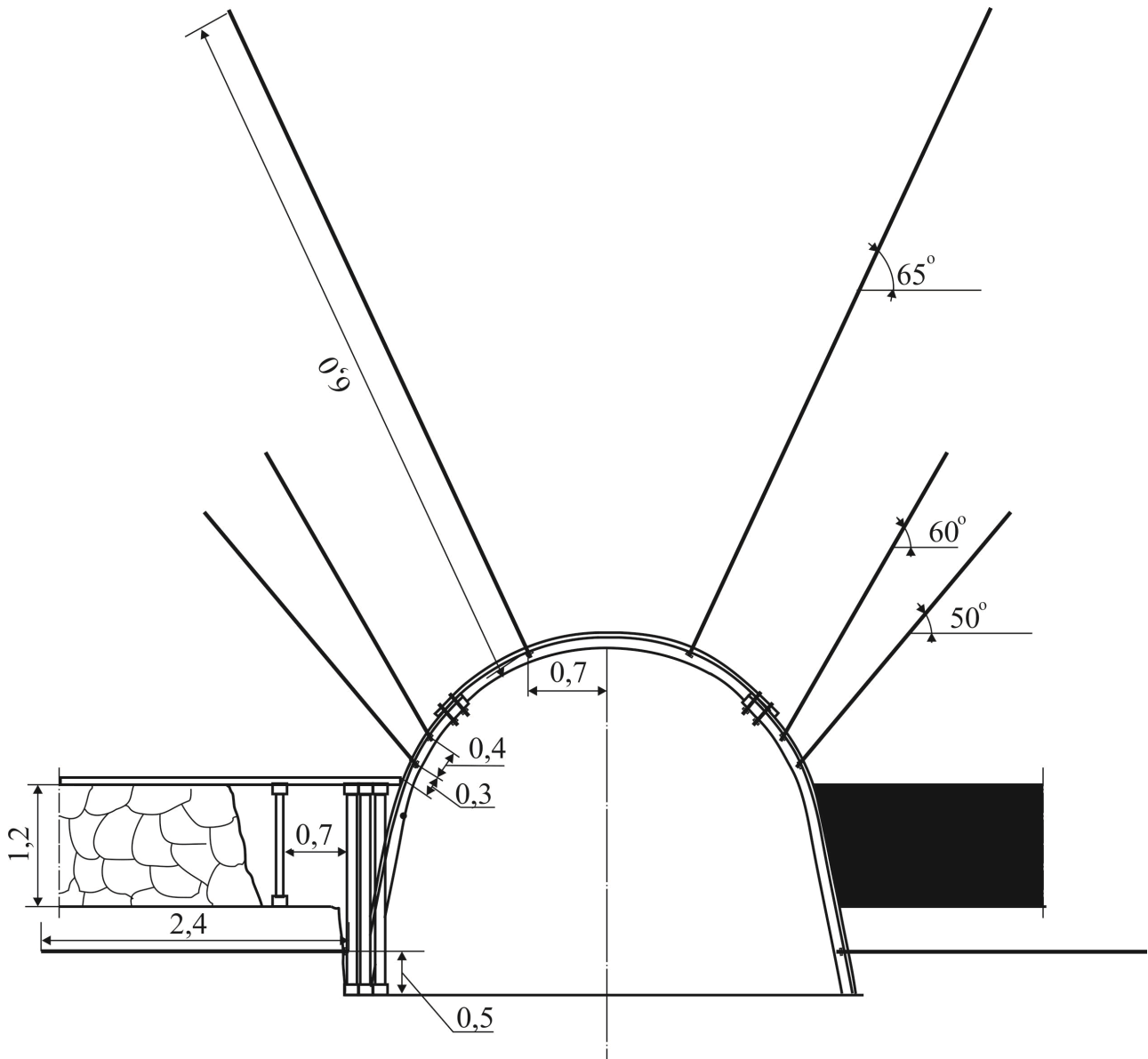


Рис. 3. Принципова схема підтримки виїмкових штреків в умовах помірної інтенсивності проявів гірського тиску

Складні гірничо-геологічні умови. Вони переважно відповідають значенням геомеханічного показника $H/R > 50$ м/МПа і характеризуються інтенсивними проявами гірського тиску; якщо не проводити певних ремонтно-відновлювальних робіт, то втрата перерізу до 50-60% вже не допускає повторного використання виробки відповідно до правил безпеки [15, 16]. Для цих умов обґрунтовано вважаємо високу ефективність застосування комбінованих анкерних систем, що базується

на результатах аналітичних досліджень. Принципову схему комбінованої анкерної системи наведено на рис. 4 і з деякими незначними варіаціями вона пройшла шахтні випробування з отриманням позитивної оцінки.

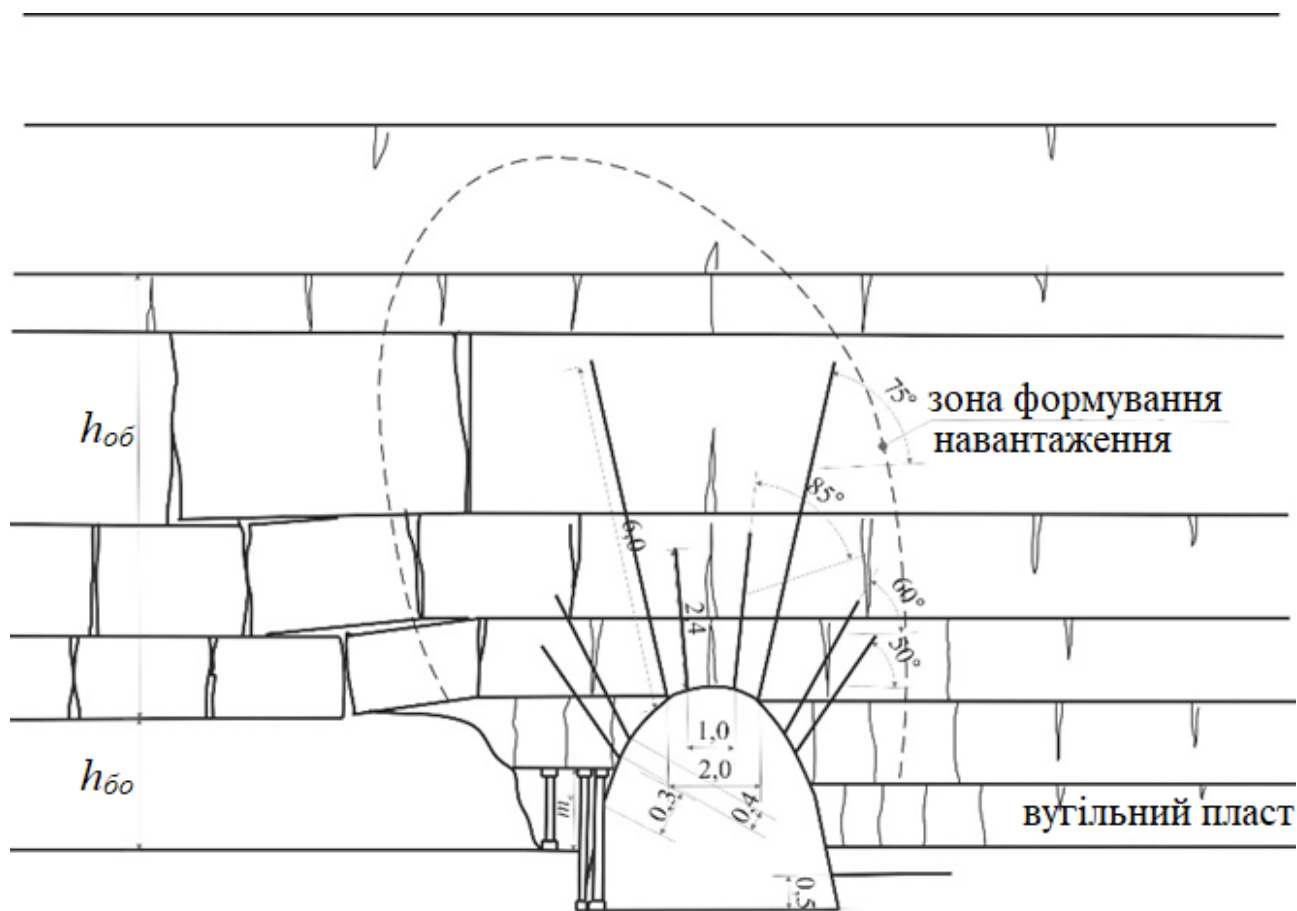


Рис. 4. Принципова схема підтримки виїмкових штреків у складних гірничо-геологічних умовах

Для усіх груп гірничо-геологічних умов від дуже сприятливих до складних проведено достатню кількість обчислювальних експериментів, окремі з яких наведено нижче у вигляді епюр напружено-деформованого стану різноманітних кріпильних конструкцій.

Для найбільш сприятливих гірничо-геологічних умов підтримки виїмкових виробок, що повторно використовуються, наведено вибірково три варіанти кріпильних конструкцій на рис. 5–7. Усі вони характеризуються застосуванням тільки сталеполімерних анкерів в обмеженій кількості 3–4 штуки в поперечному перерізі виробки.

В умовах помірної інтенсивності проявів гірського тиску рекомендується застосування комбінованих анкерних систем, деякі варіанти яких наведено на рис. 8–9.

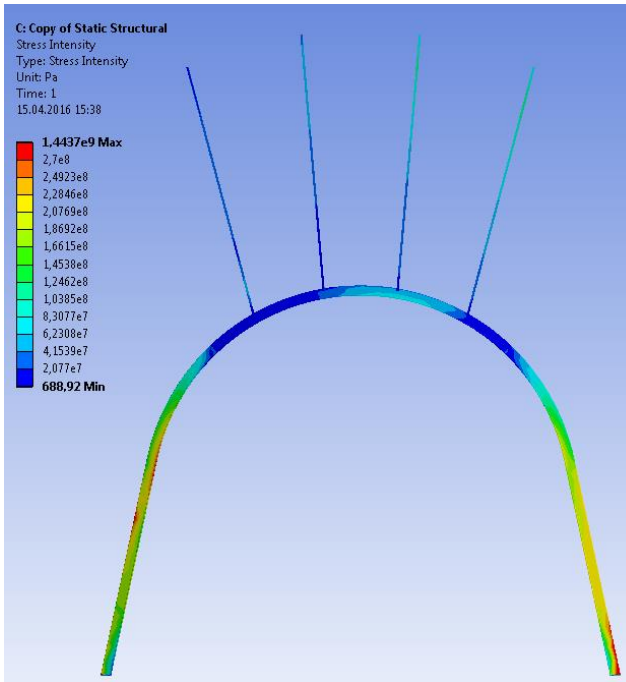


Рис. 5. Епюра вертикальних напружень σ_y у варіанті №1 кріпильної конструкції для вельми сприятливих гірничо-геологічних умов

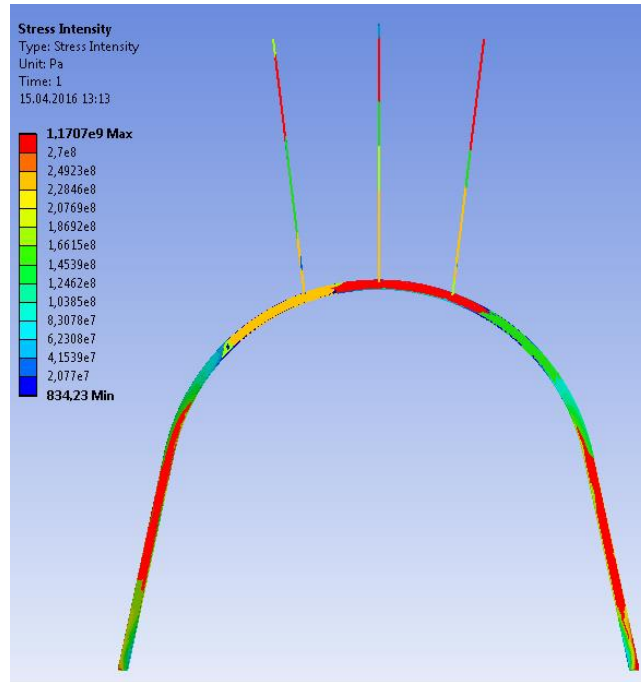


Рис. 6. Епюра інтенсивності напружень σ у варіанті №2 кріпильної конструкції для вельми сприятливих гірничо-геологічних умов

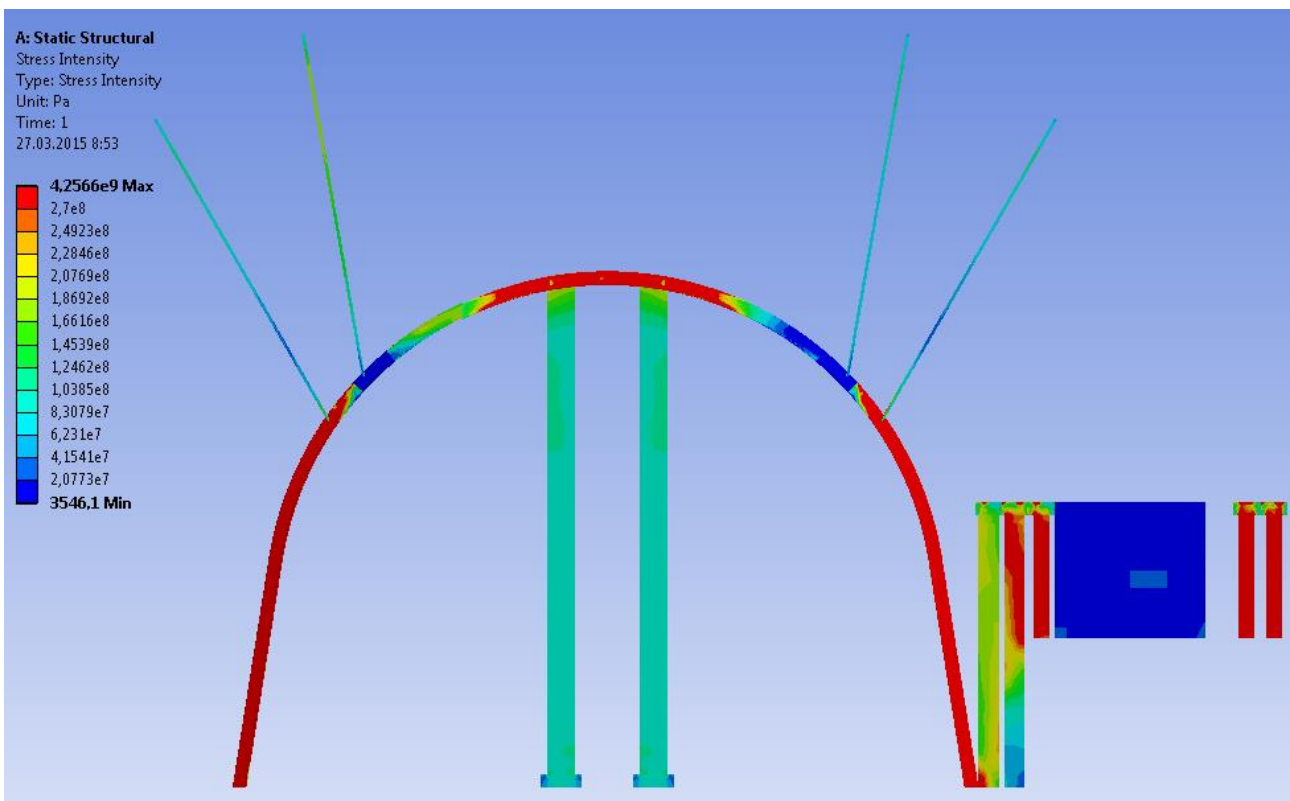


Рис. 7. Епюра вертикальних напружень σ_y у варіанті №3 кріпильної конструкції для вельми сприятливих гірничо-геологічних умов

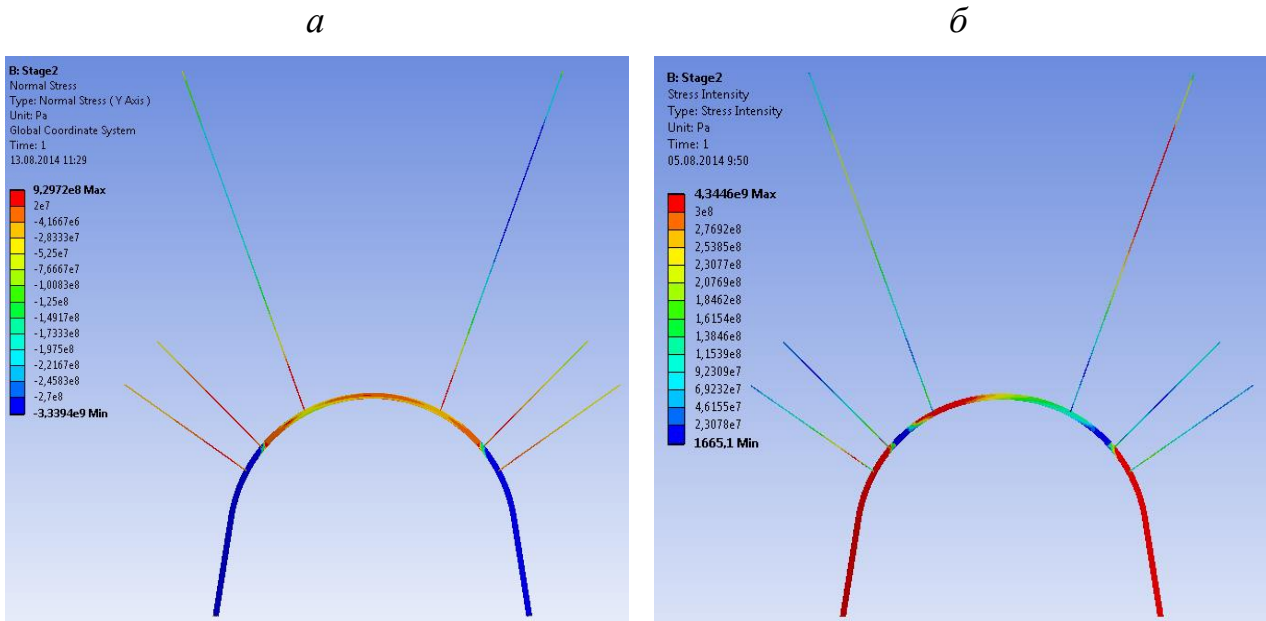


Рис. 8. Епюри вертикальних σ_y (а) та інтенсивності σ (б) напружень у варіанті №1 кріпильної конструкції для умов помірної інтенсивності проявів гірського тиску

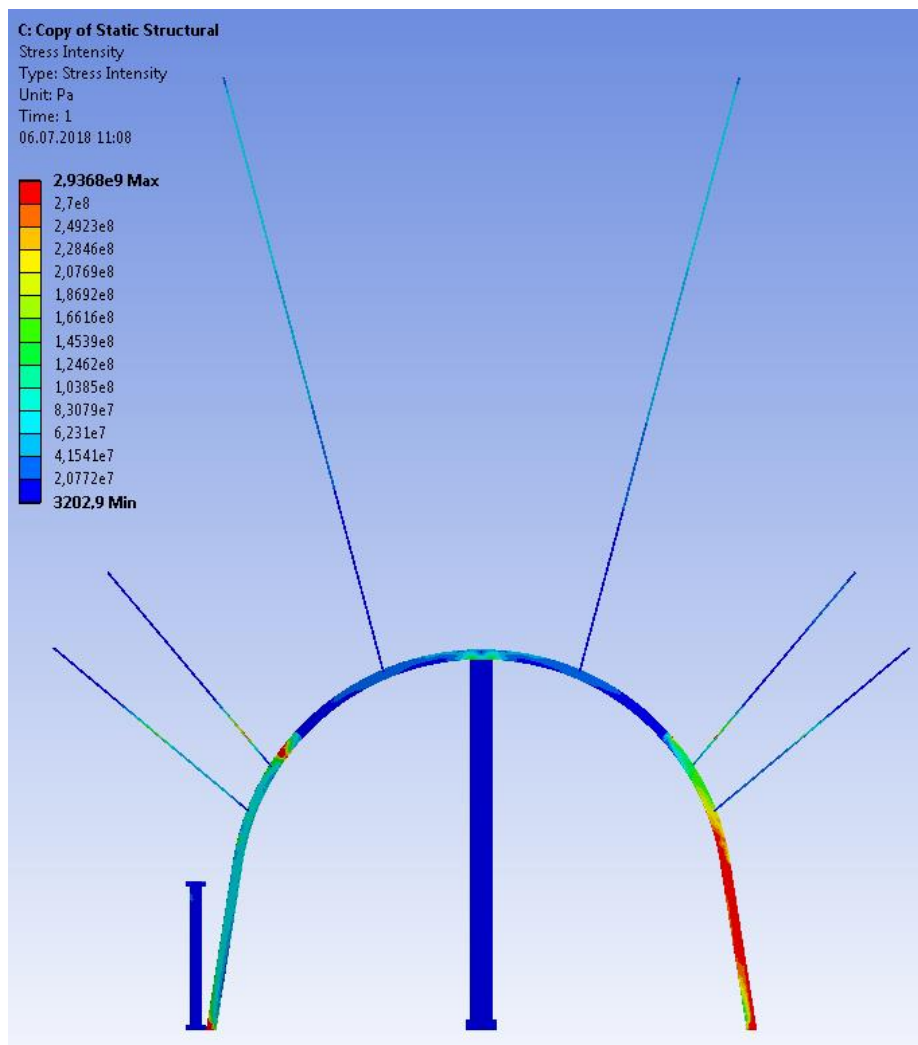


Рис. 9. Епюра вертикальних напружень σ_y у варіанті №2 кріпильної конструкції для умов помірної інтенсивності проявів гірського тиску

Розроблена методика дозволяє вибрати найбільш ефективні кріпильні конструкції, що працюють в режимі опору, близькому до оптимального, і за рахунок цього забезпечується мінімізація проявів гірського тиску з підвищенням стійкості повторного використання виїмкових виробок, що підтримуються в слабометаморфізованому вуглевмісному масиві.

Висновки. За підсумками виконаних досліджень сформульовано низку висновків науково-практичного значення.

На конкретних прикладах доведено можливість досягнення відповідності деформаційно-силової характеристики кріпильних конструкцій оптимальним значенням P_A і u_A , при яких мінімізується інтенсивність проявів гірського тиску.

Відповідно до широкомасштабних шахтних досліджень як за гірничо-геологічними, так і за гірничотехнічними факторами було проведено серію багатоваріантних обчислювальних експериментів з розрахунку деформаційно-силових характеристик цілої низки кріпильних конструкцій, що реально застосовуються на шахтах Західного Донбасу.

Оцінку ступеня достовірності результатів аналітичних досліджень здійснено за сукупністю інструментальних шахтних спостережень у діючих виробках і на основі технічної документації маркшейдерських зйомок на вже відпрацьованих виїмкових ділянках.

Перелік посилань

1. Word Coal. (2020). *WCA comments on IEA Energy Technology Perspectives Report*. <https://www.worldcoal.com/coal/14092020/wca-comments-on-iea-energy-technology-perspectives-report/>
2. Statisticheskij yezhegodnik mirovoy energetiki. (2020). *Vnutrennee potreblenie kamennogo uglya i lignita*. <https://yearbook.enerdata.ru/coal-lignite/coal-world-consumption-data.html>
3. Kovalevska, I., Zhuravkov, M., Chervatiuk, V., Husiev, O., & Snihur, V. (2019). Generalization of trends in the influence of geomechanics factors on the choice of operation modes for the fastening system in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 13(3), 1-11. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.001>
4. Lozynskiy, V., Saik, P., Petlovanyi, M., Sai, K., & Malanchyk, Z. (2018). Analytical Research of the Stress-Deformed State in the Rock Massif Around Faulting. *International Journal of Engineering Research in Africa*, (35), 77-88. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.35.77>
5. Bondarenko, V., Kovalevska, I., Symanovych, G., Sotskov, V., & Barabash, M. (2018). Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support elements at their loading. *Mining Science*, (25), 219-235. <https://doi.org/10.5277/msc182515>
6. Barabash, M., Salieiev, I., & Symanovych, H. (2021). Technical and technological aspects of the coal mine closure based on the geomechanical component assessment. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 7-15. <https://doi.org/10.33271/mining15.03.007>
7. Małkowski, P., Niedbalski, Z., Majcherczyk, T., & Bednarek, Ł. (2020). Underground monitoring as the best way of roadways support design validation in a long time period. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 1-14. <https://doi.org/10.33271/mining14.03.001>

8. Симанович, Г.А. (1993). *Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой*. Дисс. на соискание учен. степени доктора техн. наук. Спец.: 05.15.02; 05.15.11. ИГТМ НАН Украины.
9. Ковалевская, И.А. (2004). *Геомеханика управления устойчивостью пространственной системы «массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок»*. Дисс. на соискание учен. степени доктора техн. наук. Спец.: 05.15.11. НГУ
10. СОУ 10.1.00185790.011:2007. (2008). *Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони*. Стандарт Мінвуглепрому України. Видавництво ДонВУГІ.
11. Bondarenko V., Symanovych, H., Kicki J., Barabash, M., Salieiev, I. (2019). The influence of rigidity of the collapsed roof rocks in the mined-out space on the state of the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 13(2), 27-33.
<https://doi.org/10.33271/mining13.02.027>
12. Kovalevska, I., Barabash, M., & Snihur, V. (2018). Development of a research methodology and analysis of the stress state of a parting under the joint and downward mining of coal seams. *Mining of Mineral Deposits*, 12(1), 76-84.
<https://doi.org/10.15407/mining12.01.076>
13. Fomychov, V., Fomychova, L., Khorolskyi, A., Mamaikin, O. & Pochepov, V. (2020). Determining optimal border parameters to design a reused mine working. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(24), 3039–3049
14. Общие методические положения комплексного исследования проблем горной геомеханики. (1970). *Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ*. ВНИМИ.
15. Бондаренко, В.И., Ковалевская, И.А., Симанович, Г.А., Барабаш, М.В., Снигур, В.Г., & Гусев, А.С. (2017). *Комбинированные анкерные системы для повторного использования горных выработок*. ЛизуновПресс.
16. НПАОП 10.0-1.01-10. (2010). *Правила безпеки у вугільних шахтах*. Редакція журналу «Охорона праці».

ABSTRACT

Purpose. Substantiate the methodological principles of resource-saving stability increase of repeatedly exploited mine workings in a weakly metamorphosed coal-bearing mass by optimizing the deformation-strength characteristics of fastening structures in accordance with the geomechanical conditions of their maintenance.

Methods. An integrated method is used, which includes the analysis of geomechanically processes, interaction modes of rock masses with fastening structures and methods for their optimization, experimental mining research, as well as substantiation of methodological approaches to experimental verification on the degree of conformity of the analytical development results.

Findings. A new methodological principle for performing mining research has been obtained with the identification of three main peculiarities and implementation during large-scale measurements. Using specific examples, with the help of analysis and on the basis of influencing factors, the possibility of achieving the deformation-strength characteristics of fastening structures at optimal values of load and displacement has been proved. Favorable medium-intensity conditions, complex mining-geological conditions and indicators characterizing them have been determined.

Originality. The schemes for optimizing the fastening system interaction with a rock mass have been substantiated and calculated, aimed at minimizing the intensity of rock pressure manifestations. Multifactorial computational experiments have been conducted to determine various areas of expedient application of specific fastening structures.

Practical implications. A comparative analysis of the reliability and results of analytical research has been performed on the basis of the combined results of mine surveying measurements in existing mine workings and on the basis of the technical documentation of mine surveying at already mined-out extraction sites. It is aimed to select rational parameters for fastening the repeatedly exploited mine workings, depending on the mining-geological conditions for their maintenance.

Keywords: *rock mass, fastening system, repeatedly exploited mine working, optimization principles, stress-strain state.*