

Ю.М. Халімендик
В.Ю. Халімендик
Л.М. Захарова

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКІВ ПІДДАТЛИВОСТІ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ ПІД ЧАС СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Метою роботи є дослідити закономірності варіації опору й піддатливості замків рамного кріплення під час його стендового випробування. Методологія досліджень базується на необхідності комплексного випробування замків піддатливості, а саме: стендового на прямих піддатливих стояках, піддатливих рамах, а також у шахтних умовах. Встановлено, що переважне число конструкцій замків піддатливості входять у автоколивальний процес, стабільність якого забезпечується лише за умов, коли варіація амплітуди опору не перевищує 6-10% номінальної несучої спроможності замка, а величина елементарних проковзувань у автоколивальному процесі не перевищує 2-5 мм. Новизна роботи полягає у доведенні необхідності комплексних стендових випробування замків як на прямолінійних стояках, так і на піддатливих рамах. Практична цінність роботи доведена економічною доцільністю застосування замків піддатливості нового технічного рівня.

Ключові слова: рамне піддатливе кріплення, замки піддатливості, варіації опору, стендові випробування.

Постановка проблеми. Енергетична й сировинна незалежність нашої держави визначається стійким функціонуванням видобувної галузі. Як і у всьому світі, спостерігаються тенденції збільшення частки підземного видобутку вугілля, руди й інших корисних копалин внаслідок вичерпання їх запасів на малих глибинах, де розробку родовищ можна вести відкритим способом [7].

Збільшення глибини розробки не встигає компенсуватись вдосконаленням конструкцій кріплення, та технологіями забезпечення робочого стану підземних виробок. Тому актуальність забезпечення стійкості підготовчих гірничих виробок неухильно зростає. Анкерні системи отримали найбільшу популярність для кріплення підземних виробок у видобувній промисловості розвинутих США, Австралії, ПАР. Проте практика засвідчила, що зростання глибини розробки нелінійно збільшує інтенсивність необоротних зрушень і деформацій на контурі виробок, а відтак застосовуючи тільки анкерне кріплення, неможливо забезпечити їх задовільну стійкість. Саме тому вчені країн з розвинутими видобувними галузями проводять інтенсивні дослідження нових можливостей рамного піддатливого кріплення.

Аналіз публікацій. Прусек С. з співавторами наводить узагальнений огляд стану кріплення підземних виробок вугільних родовищ Польщі та Чехії [8] і

доводить необхідність подальшого вдосконалення комбінованого рамно-анкерного кріплення [9]. Аналогічна проблема з забезпеченням стійкості підготовчих виробок існує в Китаї [11]. Так Жибао з колегами визнає, що наразі немає ефективного кріплення, яке б забезпечило стійкість підготовчих виробок у складних гірничо-геологічних умовах глибоких шахт [16], а Чонг і Жонлянг [4], а також Їмінг з співавторами [15] наголошують саме на важливій ролі піддатливості кріплення для забезпечення стійкості виробок.

Німецькі фахівці прийшли на практиці до висновку, що без піддатливого рамного кріплення стійкість підготовчих виробок вугільних шахт на глибині 900 м неможливо забезпечити і тому вдосконалюють технології рамно-анкерного кріплення [12].

Незважаючи на те, що у Великобританії вугільна промисловість змінила курс на широке застосування анкерного кріплення, англійські спеціалісти визнають необхідність подальшого удосконалення піддатливого рамного кріплення [3].

Навіть американські спеціалісти вважають, що тільки анкери не здатні повністю забезпечити стійкість підготовчих виробок і в особливо важких умовах, наприклад позаду діючих очисних вибоїв рекомендують застосування додаткового стоякового або рамного піддатливого кріплення [1,2].

Спеціалісти прийшли до висновків, що зі зростанням глибини розробки необхідно покращувати якість сталі та вдосконалювати форму спеціального профілю, з якого виготовляють рами [13]. Велика увага вчених приділяється боротьбі з корозією сталі у підземних умовах [5,6,11].

Ефективність рамного кріплення частіше всього досліджують у натурних умовах підземних шахт, або за допомогою математичного моделювання. Стендові випробування рамного кріплення використовується рідко, оскільки тестування габаритних рам, розміри яких сягають 5 м і навіть більше потребує спеціальних стендів і обладнання.

Нечисленні публікації [14,9], на жаль, містять дуже обмежені дані щодо результатів випробувань рамного кріплення на лабораторних стендах. Зазвичай спеціалісти обмежуються демонстрацією графіків залежності опору рамного кріплення від його деформації. Проте піддатливі рами демонструють суттєво нелінійну поведінку, коли одна й та ж величина опору гірському тиску може відповідати кільком, а часто багатьом значенням необоротного проковзування у замках піддатливості. Ця важлива особливість не знайшла належного обговорення у науково-технічній літературі.

Проте саме нелінійна поведінка рамного кріплення є головною його особливістю, яка забезпечує адаптацію виробки до інтенсивних проявів гірського тиску. Зауважимо, що стендові випробування рам мають певні переваги перед перевірками у натурних умовах, оскільки дозволяють точніше і детальніше зняти силові й деформаційні характеристики рамного кріплення.

Постановка задач дослідження.

Одним з головних параметрів, який

визначають під час випробування рамного піддатливого кріплення є допустимий рівень нестабільності роботи рами. Так наприклад ГОСТ Р 51748-2001 регламентує, щоб варіація опору рами не перевищувала 15% для існуючих конструкцій кріплення й 10% для модифікованих.

Проте у шахтних умовах такі вимоги зазвичай не дотримуються, тому що елементи піддатливості не спрацьовують належним чином. Отже задачею даної роботи було дослідити причини цього негативного ефекту й обґрунтувати методику випробування піддатливого рамного кріплення.

Викладення основного матеріалу і результатів досліджень. Існує кілька схем випробування рамного кріплення на лабораторних стендах. Для отримання характеристики роботи замка піддатливості у чистому вигляді застосовують схему випробування такого замка на прямолінійних відрізках спецпрофілю. Піддатливу раму можуть випробувати як незалежну конструкцію [14], або ж тестують як систему кількох рам. В залежності від цього трудомісткість випробування змінюється. Міняються й умови роботи замків піддатливості. Так у першій схемі замок піддатливості спрацьовує від усього тангенціального активного навантаження, яке передає прес уздовж вісі стояку. Зсув сегментів спец профілю один відносно одного відбувається на фоні нормальних до поверхні нахлестки напружень, які створюються завдяки затяжці гайок замка.

У другій схемі раму зазвичай кладуть на горизонтальну гладку підлогу [14]. Навколо периметру рами споруджують жорсткий стенд у вигляді міцної оболонки з двотаврових балок, у які упирають гідродократи, що застосовуються для навантаження експериментальної рами.

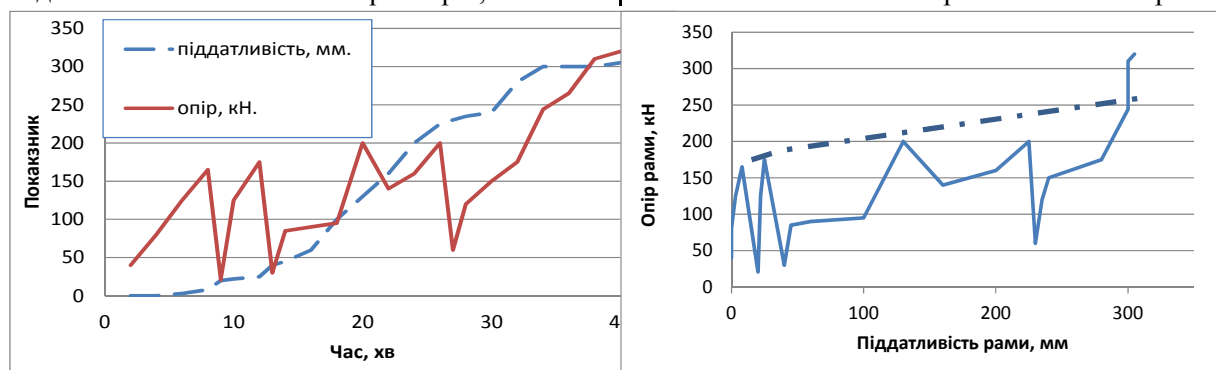


Рис. 1. Результати випробування однієї рами: (а) - динаміка опору рам, (б) – залежність опору від деформації

Тепер нормальне до поверхні нахлестки зусилля збільшується завдяки розкладенню напору від домкратів, а роль тангенціального зусилля зсуву сегментів спецпрофілю рами виконує тільки компонента, яка є дотичною до поверхні нахлестки. Нормальна ж компонента додатково утруднює проковзування.

За такої схеми зазвичай ретельно обмежують усі ступені свободи рами окрім тих, що залишаються у площині самої рами. У таких умовах рама демонструє максимально можливу несучу спроможність. Проте такі граничні умови далекі від дійсності і у реальних підземних умовах рідко реалізуються.

У зв'язку з цим ДонВугІ розробив третю схему випробування двох піддатливих рам, які встановлюють вертикально й з'єднують міжрамними стяжками, що відповідає шахтним умовам [17].

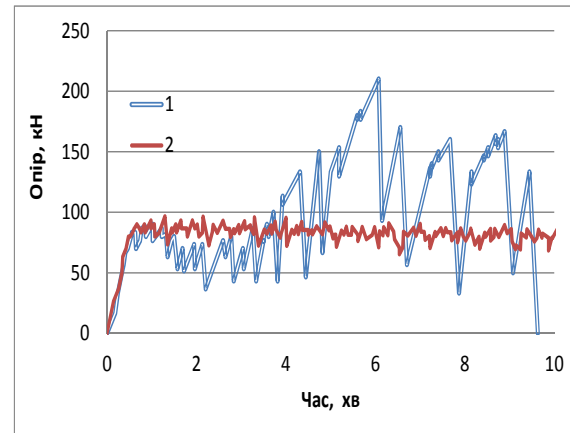
Зауважимо, що у другій і третій схемі навантаження тангенціальна компонента зсуву зменшується під час прогину верхняку й на стільки ж збільшується нормальна компонента, яка стримує процес піддатливості. Тож за умов відсутності забутівки позарамного простору у реальних шахтних умовах рама може взагалі не піддатися і функціонувати як жорстка конструкція, що деформується лише за рахунок пружних деформацій. Такий варіант є небажаним і слід його уникати, оскільки середнє статистичний проміжок між породним оголенням й рамами становить згідно інструментальних спостережень 350 мм.

Аналіз випробувань рам виконувався для наступних умов. Трьох-ланкові піддатливі рами аркової форми виготовлені зі спец профілю СВП27. Тип кріплення АПЗ з площею перерізу у світу 13,8 м². Рами навантажували двома гідродомкратами симетрично відносно осі рами, причому відстань між точками прикладення сил дорівнювала третині ширини рами.

Прямолинійний піддатливий стоек випробували з двома різними замками піддатливості: стандартним нестабілізованим і стабілізованим. Результати для аналізу взяті з протоколів [17,18].

На рис. 1,а показана динаміка опору й піддатливості одиночної рами у часі (схема 2). Варіація опору рами сягає 95% від

її несучої спроможності, що відображає вкрай нестабільну роботу рами і є досить типовим випадком [14]. На фрагменті (б) рис. 1 наведено графік залежності опору рами від її піддатливості. Видно, що пружна деформація рами продовжується до її



1 – стандартний замок АПЗ.030;
2 – ідеальна характеристика стабілізованого замка

Рис. 3. Варіація опору окремих замків на прямолинійних стояках:

прогину на 20 мм. Після цього реалізується перша піддатливість замків, причому опір рами зменшується майже до нуля. У подальшому нестабільна робота рами продовжується, а після піддатливості рами на 320 мм її випробування зупинили, оскільки у подальшому вона була б зруйнована. Теоретична крива опору рами показана штрих-пунктирною лінією.

Певний підйом графіку пояснюється кількома факторами. По-перше, як уже зауважувалось вище, прогин рами під дією навантаження призводить до зменшення тангенціальної і збільшення нормальної компоненти у межах нахлестки. Отже умови тертя змінюються, й згідно закону Кулона необхідно витратити більше зусилля, щоб продовжувати необоротне проковзування одного сегмента рами відносно іншого. По-друге, хоча теоретично сила тертя не змінюється від площі контакту сегментів, у реальності неідеальність поверхонь, які труться, та неідеальне їх прилягання одна до одної спричиняють необхідність підвищувати силу для подолання тертя.

Під час випробування двох рам на стенді встановлювали чотири домкрати й кожна пара цих домкратів передавала навантаження на одну з рам. Відстань між рамами дорівнювала 0,8 м. Такі параметри є

достатньо типовими й застосовуються під час кріплення підготовчих виробок сучасних вугільних українських шахт на глибинах 700-800м і більше.

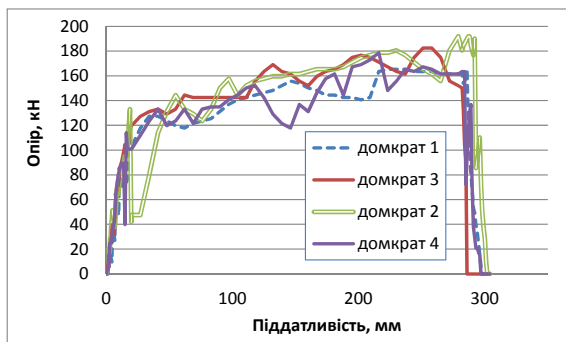


Рис. 2. Динаміка опору двох рам по кожному з замків

Графіки залежності опору двох рам від величини їх піддатливості наведені на рис. 2 (схема 3). З нього видно, що дві рами працюють більш стабільно, ніж одна. Оскільки усі домкрати приводились у дію одною масло-станцією, очевидно, що домкрати взаємодіяли між собою і це в значній мірі сприяло згладжуванню варіації опору як окремих домкратів, так і сусідніх рам. Гідравлічний зв'язок між домкратами набагато гнучкіший ніж механічний зв'язок між ділянками гірського масиву, який між іншим теж має місце. Отже результати експерименту за третьою схемою є дещо ідеалізовані.

Розглянемо тепер результати випробування окремого стандартного замка піддатливості на прямолінійному стояку, що складався з двох прямих відрізків спецпрофілю (рис. 3, графік 1). Перші 5,5 мм замок деформувався пружно. Потім почав піддаватися у керованому або стійкому режимі, тримаючи опір у межах $90 \pm 7,8$ кН. Піддатливість замка проявлялась у вигляді стрибкоподібних елементарних проковзувань сегментів стояка. Такий стійкий режим тримався до піддатливості 18,7 мм. Потім опір замка почав знижуватись, хоча довжина елементарних проковзувань знаходилась у межах 1,5-3 мм.

Повна втрата стійкості роботи замка піддатливості трапилась після проковзування сегментів стояка на 75 мм, коли від почав надовго заклинюватись, а величина опору сягала 200 кН. Це призвело до зношення елементів замка і завчасного його руйнування.

Графік 2 демонструє теоретичну характеристику роботи замка при аналогічній настройці початкового опору, тобто 90 кН. Опір замка повинен бути постійним протягом усього періоду його випробувань, а варіація величин опору не перевищувати стандартне відхилення, яке спостерігалось на початку роботи замка 1. Такий замок може гарантувати стійку роботу рами у режимі постійного опору за додаткових умов, які повинні забезпечити деформування рами у межах її початкової площини. Це означає, що задовільна стійка робота замка піддатливості на прямолінійному піддатливому стояку ще не означає стійку роботу рами у реальних шахтних умовах.

Взагалі режим роботи замка піддатливості підбирається з урахуванням конкретних вимог замовника. Наприклад для певних гірничо-геологічних умов може виникнути необхідність у замках наростаючого опору.

Загальний тренд графіка опору такого замка свідчить про його наростаючий опір (рис. 4). На самому початку стабільність роботи замка не витримувалась, проте це не є критичним з точки зору його цілісності, оскільки викиди величини опору відносно тренду не перевищували конструктивну міцність й несучу спроможність замка. Вказані викиди свідчать про процес «притирання» замка до поверхонь спецпрофілю стояка.

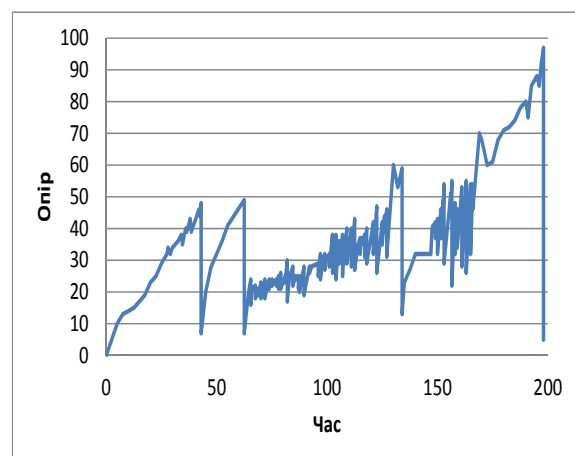


Рис. 4. Варіація опору стабілізованого замка під час випробування

На рис. 5 показано вибірку з двох фрагментів графіку стійкого опору замка. Спектральний аналіз засвідчив про те, що

коливальний процес проковзування сегментів у замку складається з кількох гармонік, з найбільшою спектральною щільністю. Перша й найбільш поширена гармоніка пов'язана з елементарними проковзуваннями на величину 2-5 мм. Друга гармоніка представлена періодами пульсаційних змін через 10-15 мм проковзування. На рис. 5 ці періоди виділені відповідними фронтами пульсацій.

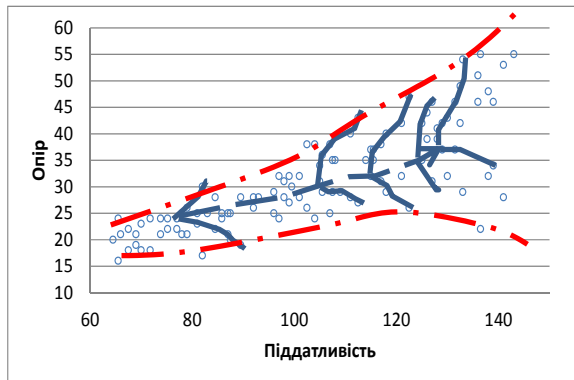


Рис. 5. Особливості характеристики стабілізованого замка

Видно, що пульсації виникають періодично й виглядають як прискорене збільшення амплітуди варіації опору. Варіація амплітуди підвищується з нуля до величини, яка приблизно дорівнює середньому поточному рівню опору замка. Після цього пульсація зникає і весь процес починається знову. Отже варіації опору збільшуються зі зростанням величини проковзування, як показано граничними огинаючими кривими. Фактично, такі пульсації можуть призвести до втрати стійкості роботи замка, оскільки максимальна поточна величина опору перевищить міцність замка, або спецпрофіля. Втім замок повинен експлуатуватись в умовах, які обмежені його заданою міцністю, або допустимою піддатливістю, оскільки суть конструкції й полягає у тому, що замок має характеристику наростаючого опору.

У таблиці наведено результати крос-спектрального аналізу даних випробувань. Встановлено, що опір замка є пропорційним величині його піддатливості на частотах (або періодах), які характеризують саме елементарні піддатливості замка довжиною 2-2,2 мм (виділені курсивом). Це відповідає головній меті конструкції самого замка.

Таблиця 1. – Крос-спектральний аналіз

Номер гармоніки	Період	Крос-амплітуда
<i>41</i>	<i>2,15</i>	<i>25,54</i>
<i>40</i>	<i>2,20</i>	<i>20,40</i>
1	88,00	10,23
<i>42</i>	<i>2,10</i>	<i>19,64</i>
2	44,00	13,13
<i>43</i>	<i>2,05</i>	<i>10,86</i>
4	22,00	8,61
6	14,67	4,00
3	29,33	12,56
<i>34</i>	<i>2,59</i>	<i>2,84</i>

Як видно, стендові випробування замків або рамного піддатливого кріплення можуть дати цінну інформацію щодо стійкості роботи конструкції та її різноманітних силових й деформаційних характеристик. На жаль конструктори пропонують і випробують велику кількість замків піддатливості (дивись наприклад [10]), не наводячи детальні результати їх стендових випробувань. Як показує проведене дослідження, доцільно виконати усі три схеми випробування: стендові випробування замка на прямолінійному піддатливому стояку, стендові тестування замка на піддатливих рамах й шахтні випробування в підземних умовах розробки.

Під час стендових випробувань необхідно здійснювати безперервний моніторинг як мінімум таких параметрів: час випробування, опір конструкції, величину

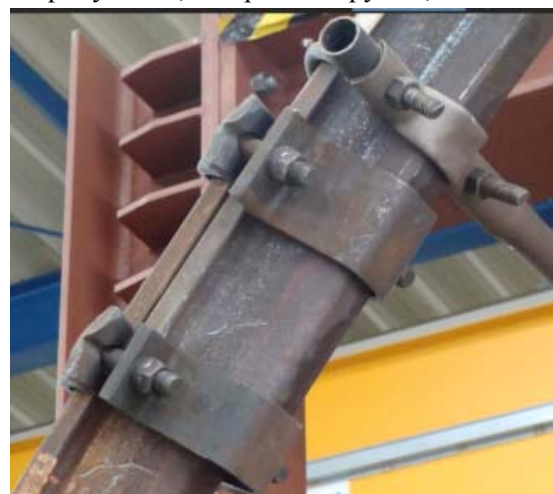


Рис. 6. Замки піддатливості

піддатливості на ділянці проковзування (нахлестці), й загальну величину деформації конструкції (стояка, рами). Додатково доцільно ресструвати акустичну емісію конструкції під час випробування, поточну потужність установки, яку вона витрачає для навантаження конструкції. Цінну інформацію містять записи й фіксація перекосів скоб замків піддатливості, їх позиції відносно торців сегментів рами чи стояка й інші деталі, які можуть додати нові знання для тлумачення результатів випробувань.

Щодо конструкції піддатливого замка, необхідно притримуватись основної вимоги, а саме: замок повинен працювати у стійкому режимі, за якого варіація його опору не перевищує 10, а краще 6% від проектної несучої спроможності замка, а амплітуда елементарних періодичних проковзувань не перевищувала 2-5 мм. В ідеалі замок повинен піддаватися взагалі без автоколивального режиму, плавно й рівномірно.

Існує велика кількість можливих конструкцій, які можуть задовольнити вказану вимогу. Проте варто розглянути економічну сторону вказаної проблеми. Німецькі спеціалісти підходять до неї суто прагматично. Звичайний стандартний замок піддатливості показаний на рис. 6 і складається з двох планок і двох болтів, які стягують їх навколо нахлестки сегментів рамного кріплення. Вартість замка не перевищує 2-3% вартості самої рами. Для стабілізації положення замка й обмеження можливості його перекосів під час проковзування німецькими спеціалістами застосовані прості рішення: скорочення довжини болтів, які стягують планки й ширина планки прийнята збільшеною. Чим більше вказана ширина, тим менше ймовірність перекоосу замка, тому що планки (особливо фігурна, яка охоплює спец профіль) виконують роль направляючих.

Аналогічний позитивний ефект виконують стабілізатори, модифіковані конструкції охоплюючої основної планки (наприклад замок ЗСГ) й інші прогресивні технічні рішення. Замки нового покоління дорожчі за традиційні максимум у два рази, але все рівно їх вартість знаходиться у межах кількох процентів від вартості арки. Проте широке впровадження замків нового покоління стримується саме бажанням

зеконормити. Така «економія» є віртуальною, оскільки втрачається стійкість всієї рами. Іншими словами збитки від втрати стійкості рам на порядок перевищують економію на вартості замків.

Отже варто перебороти інерційність виробників й прикласти максимум зусиль для пропаганди нових підходів до вирішення проблеми стійкості піддатливого рамного кріплення. Така проблема може бути вирішена лише комплексним шляхом, починаючи з вищих навчальних закладів, й закінчуючи рівнем міністерств, видобувних компаній, концернів.

Висновки. Стабільна робота піддатливого рамного кріплення забезпечується лише за умов стабільної роботи замків піддатливості й узгодження їх функціонування з роботою самої рами. В ідеалі опір замків піддатливості повинен змінюватись згідно заданого наперед закону, наприклад бути постійним для замків постійного опору. У реальності амплітуда випадкової варіації опору не повинна перевищувати 6-10% від номінального рівня несучої спроможності замка, а величина елементарних проковзувань під час автоколивального процесу не бути більшою, ніж 2-5 мм.

Пропозиція нових конструкцій замків піддатливості повинна супроводжуватись детальним описом результатів стендових випробувань на прямих піддатливих стояках, піддатливих рамах, а також у шахтних умовах. При цьому стендові випробування повинні містити як мінімум графіки опору, піддатливості замка, деформації рами в залежності від часу стендових і шахтних випробувань, а також відстані до очисного вибою у разі випробування у виїмковій виробці.

Напрямки подальших досліджень. Доцільно здійснювати комплексну роботу по вихованню нового мислення у спеціалістів-виробників щодо застосування рамного й рамно-анкерного кріплення й важливості широкого впровадження замків піддатливості нового технічного рівня.

Дослідження виконані згідно плану НДР «Дослідження геомеханічних процесів у подошві пласта при відході лави від розрізної печі», №ДР0114U003925.

Література

1. Barczak T. M. (2005). "An overview of standing roof support practices and developments in the United States." In: Proceedings of the Third South African Rock Engineering Symposium. South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 301–334.
2. Barczak T. M., Tadolini S.C. (2005). "Standing support alternatives in western longwalls." Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 1–10.
3. Bigby D. (2004). Coal mine roadway support system handbook. Rock Mechanics Technology for the Health and Safety Executive. Research Report 229a.
4. Chong L., Zhongliang W. (2014) Principle and practice of coupling support of double yielding shell of soft rock roadway under high stress. International Journal of Mining Science and Technology Volume 24, Issue 4, July 2014, Pages 513-518, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.015>.
5. Ma R., Li G., Zhang N. (2015) Analysis on mechanism and key factors of surrounding rock instability in deeply inclined roadway affected by argillation and water seepage, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 25, Issue 3, May 2015, Pages 465-471.
6. Meikle T., Tadolini S.C., Sainsbury B.-A., Bolton J. (2017) Laboratory and field testing of bolting systems subjected to highly corrosive environments, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 27, Issue 1, January 2017, Pages 101-106.
7. Pivnyak G. G., Shashenko A. N. (2015) Innovations and safety for coal mines in Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. № 6 (150)- P. 118-121
8. Prusek S., Lubosik Z., Dvorsky P., Horak P. (2012) Gateroad Support in the Czech and Polish Coal Mining Industry—Present State and Future Developments. Proc. 30th International Conference on Ground Control in Mining. WVU, Morgantown. 101-111.
9. Prusek S., Rotkegel M., Zabój K., Kozek B. (2011). Obudowa wyrobisk przyścianowych dla ścian strugowych – wymogi konstrukcyjne oraz doświadczenia praktyczne." Kraków, wyd. IGSMiE PAN, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, pp. 683–692.
10. Qingbin M., Lijun H., Yanlong C., Jiadong F., Shengyong W., Liyuan Y., Hao L. (2016) Influence of dynamic pressure on deep underground soft rock roadway support and its application. International Journal of Mining Science and Technology, Volume 26, Issue 5, September 2016, Pages 903-912. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.05.032>
11. Renshu Y., Yongliang L., Dongming G., Lan Y., Tongmao Y., Taotao L. (2017). Failure mechanism and control technology of water-immersed roadway in high-stress and soft rock in a deep mine. International Journal of Mining Science and Technology 27: 245–252
12. Stahlmann, J., Missal, C., & Edel T. (2013). Geotechnical conditions at the Konrad mine – Excavation of drifts and rooms in squeezing rock. Geotechnische Bedingungen in der Schachtanlage Konrad – Auffahrungen von Strecken und Kammern in druckhaftem Gebirge. Mining Report, 150 (5), 250–338, DOI: 10.1002/mire.201400029.
13. Stephan P. C.W. (2003) 50 Jahre Kohlenforschung. Gebirgsbeherrschung in Strecken. Glückauf, 9(34).-P.31.
14. Xie W., Wang X. (2015). Structural Stability of U-Steel Frame and Its Control Technology. Proc. 34th International Conference on Ground Control in Mining. WVU, Morgantown.-108-114.
15. Yiming Z., Na L. Xigui Z. Nong Z. (2015) Mechanical model for controlling floor heave in deep roadways with U-shaped steel closed support. International Journal of Mining Science and Technology, Volume 25, Issue 5, September 2015, Pages 713-720, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.07.003>
16. Zhibiao, G., Jiong, W., & Yuelin Z. (2015). Failure mechanism and supporting measures for large deformation of Tertiary deep soft rock. International Journal of Mining Science and Technology 25, 121–126..
17. Протокол лабораторных испытаний арочной податливой крепи АПЗ сечением 13,8 м². Донецк, ДОНУГИ. 10.02.2000. – 8 с.
18. Протокол лабораторных испытаний прямолинейной податливой стойки. Донецк, ДОНУГИ. 1.08.2001. – 5 с.

References

1. Barczak T. M. (2005). "An overview of standing roof support practices and developments in the United States." In: Proceedings of the Third South African Rock Engineering Symposium. South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 301–334.
2. Barczak T. M., Tadolini S.C. (2005). "Standing support alternatives in western longwalls." Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 1–10.
3. Bigby D. (2004). Coal mine roadway support system handbook. Rock Mechanics Technology for the Health and Safety Executive. Research Report 229a.
4. Chong L., Zhongliang W. (2014) Principle and practice of coupling support of double yielding shell of soft rock roadway under high stress. International Journal of Mining Science and Technology Volume 24, Issue 4, July 2014, pp. 513-518, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.015>.
5. Ma R., Li G., Zhang N. (2015) Analysis on mechanism and key factors of surrounding rock instability in deeply inclined roadway affected by argillation and water seepage, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 25, Issue 3, May 2015, pp. 465-471.
6. Meikle T., Tadolini S.C., Sainsbury B.-A., Bolton J. (2017) Laboratory and field testing of bolting systems subjected to highly corrosive environments, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 27, Issue 1, January 2017, pp.101-106.
7. Pivnyak G. G., Shashenko A. N. (2015) Innovations and safety for coal mines in Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. № 6 (150)- pp. 118-121
8. Prusek S., Lubosik Z., Dvorsky P., Horak P. (2012) Gateroad Support in the Czech and Polish Coal Mining Industry—Present State and Future Developments. Proc. 30th International Conference on Ground Control in Mining. WVU, Morgantown. pp. 101-111.
9. Prusek S., Rotkegel M., Zabój K., Kozek B. (2011). Obudowa wyrobisk przyścianowych dla ścian strugowych – wymogi konstrukcyjne oraz doświadczenia praktyczne." Kraków, wyd. IGSMiE PAN, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, pp. 683–692.
10. Qingbin M., Lijun H., Yanlong C., Jiadong F., Shengyong W., Liyuan Y., Hao L. (2016) Influence of

dynamic pressure on deep underground soft rock roadway support and its application. International Journal of Mining Science and Technology, Volume 26, Issue 5, September 2016, pp. 903-912. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.05.032>

11. Renshu Y., Yongliang L., Dongming G., Lan Y., Tongmao Y., Taotao L. (2017). Failure mechanism and control technology of water-immersed roadway in high-stress and soft rock in a deep mine. International Journal of Mining Science and Technology 27: pp. 245–252

12. Stahlmann, J., Missal, C., & Edel T. (2013). Geotechnical conditions at the Konrad mine – Excavation of drifts and rooms in squeezing rock. Geotechnische Bedingungen in der Schachanlage Konrad – Auffahrung von Strecken und Kammern in druckhaftem Gebirge. Mining Report, 150 (5), pp. 250–338, DOI: 10.1002/mire.201400029.

13. Stephan P. C.W. (2003) 50 Jahre Kohlenforschung. Gebirgsbeherrschung in Strecken. Glückauf, 9(34).-p.31.

14. Xie W., Wang X. (2015). Structural Stability of U-Steel Frame and Its Control Technology. Proc. 34th

International Conference on Ground Control in Mining. WVU, Morgantown, pp.108-114.

15. Yiming Z., Na L. Xigui Z. Nong Z. (2015) Mechanical model for controlling floor heave in deep roadways with U-shaped steel closed support. International Journal of Mining Science and Technology, Volume 25, Issue 5, September 2015, pp. 713-720, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.07.003>

16. Zhibiao, G., Jiong, W., & Yuelin Z. (2015). Failure mechanism and supporting measures for large deformation of Tertiary deep soft rock. International Journal of Mining Science and Technology 25, 121–126..

17. Protocol of laboratory testing of arch yield frame having 13.8 m² section [Protokol laboratornykh ispytaniy arochnoi podatlivoy krepki AP3 secheniem 13,8 m²], Donetsk, DonUGI, 10.02.2000, 8 p. (in Russian)

18. Protocol of laboratory testing of rectilinear yield prop [Protokol laboratornykh ispytaniy priamolineinoi podatlivoy stoiki], Donetsk, DonUGI, 1.08.2001, 5 p. (in Russian)

Надійшла до редакції 10.09.2017

Рецензент д-р. техн. наук, доц. І.Г.Сахно.

Халимендик Юрій Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри маркшейдерії, Національний гірничий університет (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49600, Україна)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Халимендик Володимир Юрійович – інженер кафедри маркшейдерії, Національний гірничий університет (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49600, Україна)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Захарова Людмила Миколаївна – науковий співробітник Інституту фізики гірничих процесів НАН України (вул. Сімферопольська, 2А, м. Дніпро, 49600, Україна)

E-mail: mila2017ma@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКОВ ПОДАТЛИВОСТИ РАМНОГО КРЕПЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. Целью работы является исследовать закономерности вариации сопротивления и податливости замков рамного крепления во время его стендового испытания. Методология исследований базируется на необходимости комплексного испытания замков податливости, а именно: стендового на прямых податливых стойках, податливых рамах, а также в шахтных условиях. Установлено, что подавляющее число конструкций замков податливости входят в автоколебательный процесс, стабильность которого обеспечивается лишь при условии, когда вариация амплитуды сопротивления не превышает 6-10% номинальной несущей способности замка, а величина элементарных проколов в автоколебательном процессе не превышает 2-5 мм. Новизна работы заключается в доказательстве необходимости комплексных стендовых испытания замков как на прямолинейных стойках, так и на податливых рамах. Практическая ценность работы доказана экономической целесообразностью применения замков податливости нового технического уровня.

Ключевые слова: рамная податливой крепления, замки податливости, вариации сопротивления, стендовые испытания.

Халимендик Юрий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерии, Национальный горный университет (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Днепр, 49600, Украина)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Халимендик Владимир Юрьевич – инженер профессор кафедры маркшейдерии, Национальный горный университет (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Днепр, 49600, Украина)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Захарова Людмила Николаевна – научный сотрудник Института физики горных процессов НАН Украины (ул. Симферопольская, 2А, м. Днепр, 49600, Украина)

E-mail: mila2017ma@gmail.com

BENCH TESTING OF STEEL YIELDING FRAME SUPPORT

Abstract. Variation of frame support resistance and its yield has been tested during benchmark testing. We proposed methodology of the investigation that combines benchmark testing of the frame clutches on the linear members of the frame profile, on the frames, and testing of the frames in underground mines. Majority of the frame clutches' design experiences self-oscillation. Stability of a frame may be provided if oscillation magnitude is no more than 6-10% from nominal frame resistance and elementary yield jump does not exceed 2-5 mm. Failure to resist occurs beginning from the first resistance

oscillation, which is more than 30-40% from nominal value. Novelty of the paper is based on the proving of necessity testing of the clutches on both the linear members and curvilinear frames. We proposed to improve the clutches characteristics suppressing their oscillation and keeping resistance in the predetermined level. Practical utility of the recommendations has been proven with economic considerations of relevance to use the clutches of new generation.

Key words: frame yielding support, irreversible deformation, fluctuation of the frame resistance, spectral characteristics.

Khalimendyk Uriy – doctor of science (Engineering), professor mining surveying department, National mining university (pr. Dmytra Yavornytskogo, 19, Dnipro, 49600, Ukraine)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Khalimendyk Volodymyr – enginner mining surveying department, National mining university (pr. Dmytra Yavornytskogo, 19, Dnipro, 49600, Ukraine)

E-mail: khalymendyk@meta.ua

Zakharova Ludmila – researcher, Institute for physics of mining preprocesses NAS Ukraine (2A, Simferopolska St. Dnipro, 49600, Ukraine)

E-mail: mila2017ma@gmail.com