L.I. Storozhenko, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
H.M. Hasii, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine, e-mail:grigorii_g_m@ukr.net

THE NEW COMPOSITE DESIGNS FOR MINE TUNNEL SUPPORT

Мета. Створити новий спосіб кріплення гірничої виробки з використанням ефективнихта надійнихконструкцій. Розробити конструктивні та проектні рішення. Обґрунтувати ефективність та доцільність використання створених кріплень гірських порід у підземнихвиробкахпри освоєнні родовищ.

Методика. Виконаний комплекс теоретичних, аналітичних і експериментальних досліджень. Проведений аналіз існуючих конструкцій кріплень гірничих виробок з виділенням їх недоліків та переваг. Із матеріалів з фізико-механічними характеристиками, еквівалентними реальним конструкціям, ураховуючи теорію подібності, виготовлені моделі експериментальнихзразків та проведені лабораторні випробування. Виконане моделювання та чисельні розрахунки з використанням методу скінченнихелементів.

Результати.Теоретично та експериментально підтверджена доцільність застосування композитних матеріалів при зведенні конструкцій кріплень гірничихвиробок, сформульовані основні принципи їхпроектування й виготовлення. На підставі отриманихрезультатів запропонована просторова площинно-стрижнева система кріплень, що забезпечує високу несучуздатність та надійність. Розробленісистеми кріплень складаються із просторовоїструктурної решітки та плити. Математичним моделюванням визначені ефективні способи об'єднання решітки й плити та необхідні фізико-механічні характеристики матеріалів.

Ураховуючи конструктивні особливості системи кріплень, розроблена технологія виконання робіт з її влаштування. Наведена технологія виготовлення відправних елементів. Розрахована трудомісткість виконання робіт. Підтверджена економічність запропонованого способу зведення кріплень.

Наукова новизна. Розроблений новий спосіб кріплення гірничих виробок із застосуванням просторових композитних конструкцій.

Практична значимість. Розроблена конструкція може використовуватися в гірничій промисловості в сучасних економічнихумовах. Дозволяє знизити тривалість та трудомісткість робіт.

Ключові слова: *сталезалізобетон, структура, решітка, стрижень, кріплення, гірнича виробка*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Гірнича виробка – штучне утворення в земній корі порожнин шляхом виїмки гірськихпорід. Для цього утворюються шахтні стовбури, штольні, квершлаги, горизонтальні та похилі виробки. Для проходження гірничих виробок, залежно від їх призначення, гірничо-геологічних та гідрологічних умов, існує декілька способів. Способи проходження гірничих виробок залежать також від рівня й ступеня механізації гірничопрохід-

© Стороженко Л.І., Гасій Г.М., 2015

ницьких робіт. Але в усіх випадках для подальшого проходження необхідно зводити кріплення – споруди для запобігання обвалення порід та збереження необхідних розмірів і робочого стану виробок. У сучасних умовах важливе значення має економічність способу кріплення. Конструкції, що використовуються, повинні забезпечувати достатню надійність, бути простими в монтажі та не вимагати складних технологічних процесів.

Протягом останніхроків спостерігається значне погіршення гірничо-геологічних умов при веденні гірничих робіт. Це відбувається внаслідок поступового фізичного зношування існуючих кріплень. Ремонт або будівництво нових кріплень є трудомістким процесом та вимагає значних матеріальних витрат. Практика показує, що вартість ремонтних робіт і затрати на обслуговування та підтримання в належному стані існуючих кріплень досягає 10% вартості добутого вугілля.

При проектуванні систем кріплення найбільшого поширення набула гіпотеза склепіння. За цією гіпотезою при проведенні горизонтальної виробки існуюче навантаження від гірських порід перерозподіляється, взаємно врівноважуючись за лінією склепіння. Навіть беручи до уваги те, що склепіння є найефективнішою конструкцією для сприйняття тиску від ґрунту, не завжди вдається досягти необхідного результату. На сьогодні у 90% гірничих виробок як кріплення використовується рамно-склепінчаста сталева конструкція. Така конструкція має недоліки: невідповідність податливості та несучої здатності кріплення виробок з високим гірським тиском і нестійкими боковими породами. Наряду зі склепінчастими кріпленнями застосовують анкерні, що також мають суттєві недоліки: висока трудомісткість і складність робіт з улаштування анкерів; відсутність високопродуктивної бурової техніки вітчизняного виробництва; потреба в дорогих вибухобезпечних компресорнихпересувнихустановках.

Часто вищенаведені недоліки, при розроблені родовищ з використанням існуючих кріплень, роблять виробку не рентабельною, оскільки виникає потреба у значних трудових і грошових ресурсах. Ураховуючи такий стан гірничої промисловості, вирішення питання пошуку нових надійних способів кріплення гірських порід з мінімальними затратами є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Недоліки існуючих систем кріплення породжують значну кількість досліджень, направлених на підвищення надійності, ефективності та безпечності виробок. Більшість досліджень присвячена вдосконаленню конструктивного рішення та методів проектування [1].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У результаті аналізу сучасного стану гірничої промисловості та останніх досліджень можна дійти невтішного висновку, що сьогодні залишається не вирішеним питання надійності кріплень. Не розроблені ефективні конструкції кріплення гірничих виробок, що би дозволили позбавитися недоліків рамно-склепінчастих систем та анкернихкріплень.

Постановка завдання. Ураховуючи результати проведеного аналізу останніх досліджень, розробити нові композитні конструктивні рішення кріплень гірничих виробок. Виконати комплекс досліджень, що включає в себе: лабораторне моделювання роботи конструкції під навантаженням на еквівалентних матеріалах з використанням теорії подібності, експериментальні дослідження окремих елементів системи кріплення, статистичну обробку результатів експериментальних досліджень, встановлення закономірності деформування елементів конструкції кріплення та характеру зміни несучої здатності розробленої системи кріплень, з'ясування закономірності виникнення напружено-деформованого стану елементів кріплення та дослідження надійності прийнятих способів забезпечення сумісної роботи бетонних та сталевих елементів.

Основний матеріал дослідження. Гірничі виробки – складні й небезпечні підземні споруди, тому забезпечення надійності кріплень є надзвичайно важливим питанням. Тиск, що сприймають конструкції кріплення, залежно від глибини, сягає понад 40–50 МПа. Навіть масивні металеві рамні кріплення не в змозі витримати такий величезний тиск. Проаналізувавши недоліки та переваги існуючих кріплень, був запропонований новий тип конструкцій кріплення – сталезалізобетонні структурні системи (рис. 1).

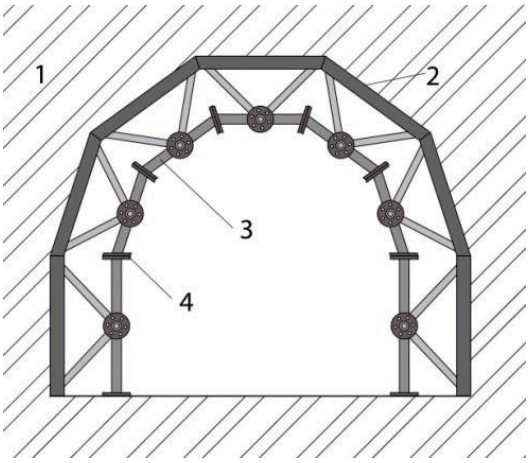

Рис. 1. Система сталезалізобетонних структурних кріплень: 1 – ґрунтова порода; 2 – сталезалізобетонна плита; 3 – структурна решітка; 4 – фланцеве з'єднання

Такі системи можуть використовуватися в гірничій промисловості для кріплення виробок, переважно з великим прольотом, а також кріплення виробок у породах, схильних до пучення. Призначення таких систем полягає в забезпеченні підвищеної експлуатаційної надійності виробок за рахунок збільшення несучої здатності кріплення.

Сутність таких конструкцій полягає у зменшенні витрат на виготовлення, скороченні термінів установки та в забезпеченні необхідної жорсткості, міцності та надійності. Структурна сталезалізобетонна конструкція складається зі сталевої решітки та залізобетонної плити.

У сталезалізобетонній структурній конструкції досягається вигідне використання двох типів матеріалів:

бетон сприймає зусилля стискування, а сталеві стрижні – переважно, зусилля розтягування [2].

Також спрощується процес виготовлення вузлів сталевої решітки, що є основною особливістю таких кріплень. З'являється можливість виготовлення структурного кріплення складних форм і зникає необхідність застосування допоміжних конструкцій – анкерів. Ураховуючи ефективну роботу сталезалізобетонних конструкцій з точки зору розроблення нових комбінацій різних матеріалів для сумісної роботи, ці конструкції не мають аналогів.

Запропоновані кріплення можуть бути використані при розробленні підземних родовищ та прокладанні горизонтальних, вертикальних та похилих виробок.

Особливістю сталезалізобетонних структурних кріплень є те, що сталева решітка в них працює сумісно із залізобетонною плитою, при цьому плита заміщує верхні пояси рамно-склепінчастих систем та виконує огороджувальну функцію. Така просторова система кріплення має велику жорсткість.

При проектуванні сталезалізобетонних кріплень ставиться завдання позбавитися недоліків сталевих і залізобетонних конструкцій. Повинні застосовуватися заходи, спрямовані на захист від дії корозії – особливо ретельне фарбування чи захист іншими покриттями. Варто уникати пазух і корит, що затримують вологу чи ускладнюють провітрювання. Необхідно, щоб усі деталі сталезалізобетонних структурних конструкцій були доступні для спостереження, очищення та фарбування при експлуатації. Важливими є питання вибору класу бетону за міцністю, марки сталі сталевих труб, прийняття коефіцієнта армування.

Основними матеріалами для виготовлення таких кріплень є бетон і сталеві труби. Бетон варто застосовувати важкий за ГОСТ 25192-82 наступних проектних класів за міцністю на стиск: В12,5; В15; В20; В25; В30; В40; В45. Труби варто застосовувати сталеві електрозварні.

Характерною особливістю сталезалізобетонних кріплень є те, що вони збираються з лінійних або окремих елементів (рис. 2).

Поєднання елементів у конструкцію кріплення здійснюється за допомогою фланців. При з'єднанні допускаються незначні допуски за довжиною елементів, а якщо все ж таки допуски будуть значні (більше 0,6 см), яких позбутися простим затягуванням болтів буде неможливо, треба використовувати спеціальні засоби, що застосовуються для звичайних фланцевих з'єднань.

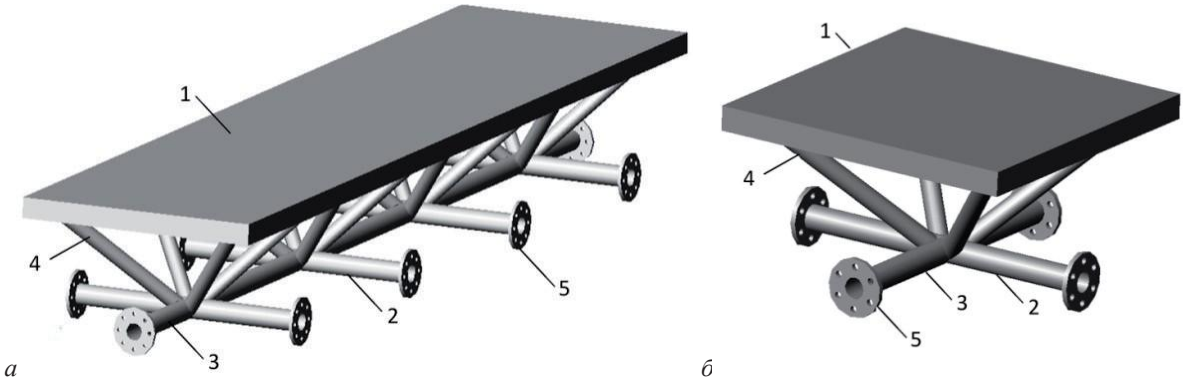

Рис. 2. Елементи сталезалізобетонного структурного кріплення: а) лінійний елемент; б) окремий елемент; 1 – сталезалізобетонна плита; 2 – поперечні сталезалізобетонні стрижні; 3 – поздовжні сталезалізобетонні стрижні; 4 – похилі сталезалізобетонні стрижні; 5 – фланець

Сталеві елементи кріплення можуть мати різні розміри залежно від глибини залягання виробки. Поперечні перерізи можуть мати різну форму та геометричні характеристики.

Розробка сталезалізобетонних структурних кріплень повинна проводитися з урахуванням способів їх зведення. У зв'язку з конструктивними й технологічними особливостями, застосування цих конструкцій ефективне лише при прогресивних способах виготовлення та монтажу. При виготовленні конструкцій необхідно дотримуватися технологічних вимог, що дозволять проектувальникам більш кваліфіковано здійснювати технічний контроль при зведенні та прийманні конструкцій.

Конструкції можуть виготовлятися як на заводах, що виробляють будівельні металеві конструкції, так і на інших підприємствах, що мають обладнання для обробки фасонного металопрокату та формування залізобетонних виробів.

Технологія виготовлення досліджуваних конструкцій щодо способів обробки прокату, складання й зварювання елементів, вантажно-розвантажувальних робіт аналогічна технології виготовлення металевих конструкцій в умовах заводів будівельних металевих конструкцій.

Технологію виготовлення сталезалізобетонних структурних конструкцій кріплень можна поділити на два самостійних процеси: виготовлення стрижневих і площинних елементів, виготовлення вузлових з'єднань.

Виготовлення стрижневих елементів полягає в різанні профілю на елементи певної довжини та, залежно від конструкції вузлового з'єднання, обробці кінців, збірці й, за наявності вузлових деталей, їх приварюванні.

Виготовлення вузлових деталей включає в себе операції різання прокату, складання й зварювання, або штампування й обробки деталей на свердлильних і фрезерних верстатах або кування, штампування з наступною збіркою та зварюванням. Допустиме відхилення довжини стрижневих елементів ±2 мм.

Для болтового з'єднання використовуються високоміцні болти, що виготовляються з каліброваної сталі з подальшим термозміцненням у готовому виробі для забезпечення необхідного класу міцності. На різьбі спеціальних болтів не допускаються рвання та викришування ниток різьблення, якщо вони за глибиною виходять за межі середнього діаметра різьби або їх довжина перевищує 8% загальної довжини різьби по гвинтовій лінії, а в одному витку – 1/3 довжини.

Усі готові вироби підлягають приймально-здавальним випробуванням, за яких перевіряється якість матеріалів, зварювання, різьблення, міцність, твердість, геометричні розміри, якість поверхні, зовнішній вигляд, комплектність і т.д. Склад і обсяг випробувань та допуски визначаються технічними умовами на конструкцію.

Узагальнена технологія виготовлення елементів просторових сталезалізобетонних структурних кріплень включає такі виробничі процеси: 1) підготовка; 2) обробка стрижневих елементів (нарізання стрижнів, із яких зварюванням формується решітка відправних елементів); 3) збірка (виготовлення решітки шляхом зварювання стрижнів арматури, закладних деталей та деталей з'єднання); 4) підготовка віброплощадки, якщо бетонування виконується в заводських умовах; 5) формування окреслення плити відправного елемента шляхом збирання опалубки по контуру, якщо проектом не передбачено зовнішньої стрічкової арматури; 6) укладання сталевої решітки на віброплощадку так, щоб верхня грань майбутньої плити мала безпосередній контакт з поверхнею площадки, тобто в перевернутому вигляді; 7) бетонування верхнього пояса та поступове віброущільнення бетонної суміші.

Для верхнього пояса застосовуються методи формування армоцементних плит. Для бетонування верхнього пояса застосовується бетон марки 300 і вище при витратах бетону 600–700 кг/м³. За рахунок невеликої товщини верхнього пояса 30–40 мм досягається економія бетону на 25–30% у порівнянні зі звичайними залізобетонними конструкціями та, як наслідок, ваги конструкції. Якщо арматура застосовуються до 5 шарів тканих або зварних арматурних сіток, витрати сталі в такому випадку досягають 400 кг/м³.

Сумісна робота сталевих стрижнів і залізобетонної плити забезпечується за рахунок надійних вузлових з'єднань (рис. 3).

Не розкриті питання напружено-деформованого стану запропонованих конструкцій, їх характеру деформування під дією рівномірно-розподіленого навантаження спонукали до розроблення програми експериментальних досліджень, у якій прийнято, що несуча здатність сталезалізобетонних елементів залежить від різних факторів, зокрема, від конструктивних схем, геометричних розмірів і фізико-механічних властивостей матеріалів – сталі та бетону, виду навантаження та ін. Було проведено ряд експериментальних досліджень за допомогою яких визначена закономірність деформування й вичерпність несучої здатності; прогини й деформації в моменти руйнування; схеми руйнування дослідних зразків.

При складанні програми експериментальних досліджень було поставлене завдання виявити особливості роботи конструкції кріплення під навантаженням, перевірити, чи є ефективним прийнятий спосіб забезпечення сумісної роботи залізобетонної плити з металевою решіткою.

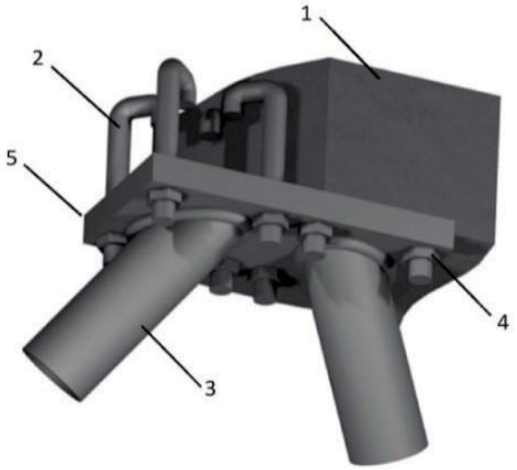

Рис. 3. Кріплення розкосів до плити за допомогою анкерних болтів: 1 – сталезалізобетонна плита; 2 – анкерні болти; 3 – похилі стрижні; 4 – гайка; 5 – сталева закладна пластина

Метою проведення експериментальних досліджень було визначити:

- напружено-деформований стан елементів структури при завантаженні;
- несучу здатність структурних сталезалізобетонних конструкцій кріплення;
- закономірність деформування та вичерпність несучої здатності;
- прогини й деформації у процесі випробування та в момент руйнування;
- схеми руйнування дослідних зразків.

Для отримання експериментальних результатів, що дали можливість достатньою мірою судити про особливості роботи структурних сталезалізобетонних конструкцій кріплення, були спроектовані дослідні зразки системи кріплення. Зразки випробовувались при досягненні проектної міцності бетону за різними схемами завантаження.

При проведенні випробувань на зразках замірялися відносні деформації та прогини в найхарактерніших точках конструкції кріплення (рис. 4).

Згідно з методикою експериментальних досліджень, переміщення визначалися в 7 характерних точках по нижньому й верхньому поясу кріплення. Навантаження *F* прикладалось у вузлах нижнього поясу в 10 етапів.

Для спостереження за деформаціями застосовувався фотограмметричний метод [3].

Для можливості врахування елементів зовнішнього орієнтування було застосовано стенд з нанесеною контрольною сіткою. Координатні лінії сітки перетинались у точках, що використовувались в якості контрольних.

Методика передбачала, що центр проекції під час фотографування нульового та деформаційних циклів не зміщувався, тому невідомими залишалися лише кутові елементи зовнішнього орієнтування. Вони встановлювалися під час камеральноїобробки з використанням контрольних точок.

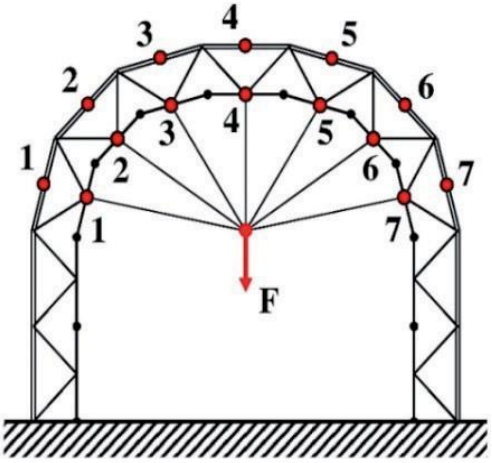

Рис. 4. Експериментальна схема завантаження та схема розміщення характерних точок: F – навантаження; 1, 2, ... 7 – характерні точки конструкції, в яких замірялися відносні деформації та прогини по верхньому та нижньому поясах

Нормальний випадок фотографічного знімання було прийнято свідомо, тому камеральна обробка виконувалася порівняно просто. Необхідно було лише привести знімки деформаційнихциклів до нульового, який попередньо трансформувався до нормального випадку.

Алгоритм обробки такий:

1 – обчислюються теоретичні значення контрольних точок на знімку;

2 – встановлюються значення кутових елементів зовнішнього орієнтування;

3 – обчислюються виправлені значення координат на знімках точок;

4 – обчислюються просторові фотограмметричні координати точок;

5 – обчислюються прогини між точками.

За результатами експериментальних досліджень були визначені деформації й побудовані графіки залежності прогинів від навантаження верхнього (рис. 5) та нижнього поясу (рис. 6) моделі кріплення.

На основі отриманих даних був встановлений характер деформування моделі кріплення. Як і очікувалося, найбільші деформації виникли в центральній частині конструкції з поступовим зменшенням від середньої точки *4* до крайніх *1* і *7*. Такий характер деформування є типовим для такого роду конструкцій і пояснюється просторовим положенням елементів та способом завантаження.

Виходячи з отриманих результатів та повної симетрії переміщень, можна зробити висновок, що запропонована конструкція кріплення є цілісною, усі складові елементи – сталеві стрижні та залізобетонна плита, працюють сумісно.

Для підтвердження достовірності отриманих експериментальним шляхом результатів був виконаний розрахунок системи кріплення чисельним методом та порівняння результатів. Похибка між експериментальними даними та результатами розрахунку не перевищували 9,8%.

Програмою експериментальних досліджень також передбачалося випробовування окремих елементів кріплення. Метою досліджень було визначення характеру руйнування, розподілу напружень у тілі конструкції, підтвердження ефективності прийнятого способу армування плит та забезпечення сумісної роботи сталі й бетону. Для цього були виготовлені дослідні сталезалізобетонні зразки окремих елементів конструкції кріплення. Деформаціїзамірялися в найбільш напружених перерізах за допомогою електротензорезисторів типу 2ПКБ 20-200В для сталевихелементів та 2ПКБ 50-325В – бетонних. Покази фіксувалися за допомогою приладу „ВНП-8М“.

Для визначення межі несучої здатності зразків моделювалися найскладніші умови роботи – була прийнята схема випробовування, що передбачала спирання плити на чотири точки з прикладенням сили через сталеві стрижні.

На початкових етапах завантаження спостерігалася пружна стадія роботи всіхелементів з подальшим розвитком нормальнихтріщин у бетоні та інтенсивним ростом прогинів при переході роботи елементів у пластичну стадію (рис. 7).

На подальших рівнях завантаження, що відповідають деформаціям, за яких спостерігається текучість та відбувається утворення тріщин у бетонній плиті – різко проявляються пластичні деформації. При деформуванні плити спостерігалася пружна робота арматури та бетону до моменту досягнення 85% від руйнуючого. Руйнування зразків було пластичне, що є характерним для сталевих конструкцій і свідчить про те, що плита на всіх ступенях завантаження працювала як єдина монолітна конструкція.

Проведені дослідження дозволили проаналізувати несучу здатність конструктивнихелементів, а також характер руйнування й ступінь залежності деформацій.

Висновки та перспективи подальшого розвитку напряму. Сталезалізобетонне структурне кріплення гірничих виробок є результатом поєднання залізобетонних плит та структурних сталевих решіток. Таке конструктивне рішення дає можливість економити на матеріалах за рахунок їх раціонального використання – залізобетонна плита захищає від обвалення гірських порід, сприймає тиск від ґрунту та рівномірно розподіляє його на сталеві елементи решітки. Використання розроблених конструктивних елементів робить можли-

вим кріплення виробок на значній глибині, що підтверджено експериментальними дослідженнями. Встановлено, що елементи конструкції кріплення працюють під навантаженням сумісно. Спосіб поєднання залізобетонних та сталевих елементів забезпечує несучу здатність усієї конструкції.

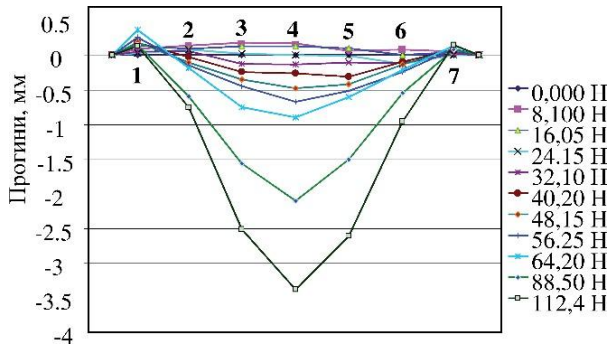

Рис. 5. Залежність прогинів від навантаження для дослідного зразка кріплення по верхньому поясу

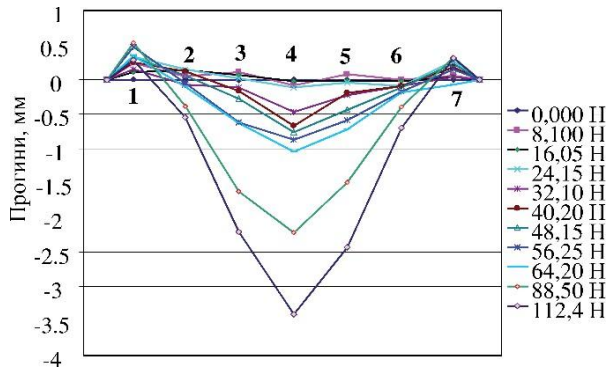

Рис. 6. Залежність прогинів від навантаження для дослідного зразка кріплення по нижньому поясу

За результатами експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Залізобетонна плита на всіх ступенях і за різних умов навантаження працювала як єдина цілісна конструкція.

2. Використана методика та прийняті вимірювальні прилади дозволили отримати необхідні експериментальні дані стосовно несучої здатності, деформативності та характеру руйнування дослідних зразків.

3. Використання різних схем завантаження зразків дозволило вивчити їх вплив на несучу здатність і деформативність досліджуваних елементів.

4. Прийняті для проведення експерименту вимірювальні прилади дозволили отримати детальну інформацію стосовно закономірності деформування дослідних зразків у будь-який момент завантаження.

5. Використані схеми розміщення приладів на поверхнях дослідних зразків дозволили отримати чітку картину розвитку деформацій як у перерізі, так і в зоні дії поперечного зусилля та згинального моменту.

6. Прийняті матеріали для виготовлення дослідних зразків мають фізико-механічні властивості, характерні для матеріалів, що широко застосовуються в гірничій промисловості.

7. Характер розподілу поздовжніх деформацій за висотою поперечного перерізу майже на всіх стадіях напружено-деформованого стану був близький до лінійного.

8. Результати експерименту підтверджують те, що дані конструкції надійні в роботі та експлуатації, можуть бути застосовані в гірничій промисловості.

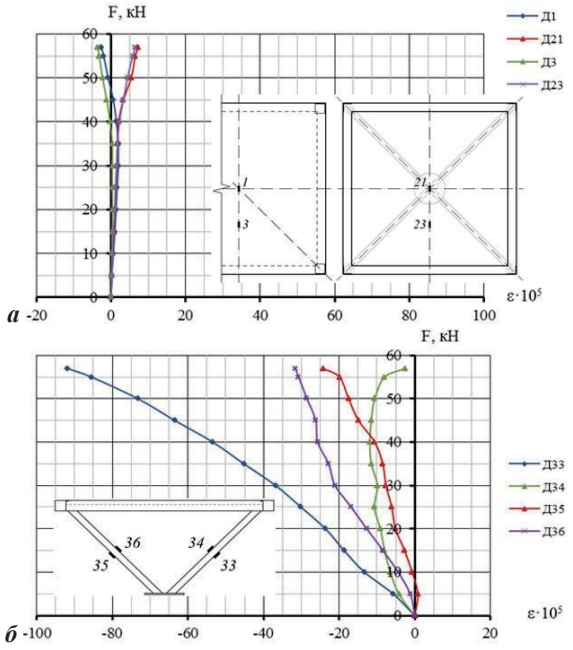

Рис. 9. Схеми розміщення датчиків та графіки залежності деформацій від навантаження залізобетонних (а) та сталевих (б) елементів: Д1, Д3, Д21, Д23, Д33, Д34, Д35, Д36 – номера датчиків

Список літератури / References

1. Buys, B.J., Heyns, P.S. and Loveday, P.W. (2009), "Rock bolt condition monitoring using ultrasonic guided waves", *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 95–105.

2. Gasii G.M. (2014), "Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete", *Metallurgicaland Mining Industry*, no.4. pp. 23–25, Available at: http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/5.2014.pdf.

3. Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: монографія // Єрмоленко Д.А. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 316с.

Ermolenko, D.A. (2012), *Obyemnyi napruzheno-deformovanyi stan trubobetonnykh elementiv* [Stress-Strain State of Concrete Filled Steel Tube Elements], Monograph, Publisher Shevchenko R.V., Poltava, Ukraine.

Цель. Создать новый способ крепления горной выработки с использованием эффективных и надежных

конструкций. Разработать конструктивные и проектные решения. Обосновать эффективность и целесообразность использования созданныхкреплений горныхпород в подземныхвыработкахпри освоении месторождений.

Методика. Выполнен комплекс теоретических, аналитических и экспериментальных исследований. Проведен анализ существующих конструкций креплений горных выработок с выделением их недостатков и преимуществ. Из материалов с физико-механическими характеристиками, эквивалентными реальным конструкциям, учитывая теорию подобия, изготовлены модели экспериментальныхобразцов и проведены лабораторные испытания. Выполнено моделирование и численные расчеты с использованием метода конечных элементов.

Результаты. Теоретически и экспериментально подтверждена целесообразность применения композитных материалов при возведении конструкций креплений горных выработок, сформулированы основные принципы их проектирования и изготовления. На основании полученных результатов предложена пространственная плоскостно-стержневая система креплений, обеспечивающая высокую несущую способность и надежность. Разработанные системы креплений состоят из пространственной структурной решетки и плиты. Математическим моделированием определены эффективные способы объединения решетки и плиты и необходимые физико-механические характеристики материалов.

Учитывая конструктивные особенности системы креплений, разработана технология выполнения работ по ее устройству. Приведена технология изготовления отправочных элементов. Рассчитана трудоемкость выполнения работ. Подтверждена экономичность предложенного способа возведения креплений.

Научная новизна. Разработан новый способ крепления горныхвыработок с применением пространственных композитныхконструкций.

Практическая значимость. Разработанная конструкция может использоваться в горной промышленности в современных экономическихусловиях. Позволяет снизить продолжительность и трудоемкость работ.

Ключевые слова: *сталежелезобетон, структура, решетка, стержень, крепление, горная выработка*

Purpose. Creation of a new mine support system using effective and reliable designs. Development of design concepts. Justificationof the effectiveness and feasibility of the use of the created mine tunnel support in underground workings during opening of a deposit.

Methodology. A complex of theoretical, analytical and experimental research was carried out. The existing support structures and their advantages and disadvantages have been analyzed. We have made experimental samples of the support constructions using the materials equivalent to real constructions by physical and mechanical properties, based on the similarity theory and conducted laboratory tests. Modeling and numerical calculations were based on the finite element method.

Findings. We have provedtheoretically and experimentally the feasibility of composite materials use for excavation support construction, formulated thebasic principles of its design and manufacture. Based on theresearch results we have proposedspatialplate-rod anchorage system that provides high load carrying capacityand reliability. The developed support system consists of spatial lattice and plates. Mathematical modeling identified effective ways of combining the lattice and plates and the required physical and mechanicalproperties of materials. Based on the designfeatures of the support systemwe have developedthe mounting technique. The pre-fabricated elements production technology was presented. The labour intensityhas been calculated. The efficiency of the proposed method of mounting has been proved.

Originality. The newmine support systemusing spatial composite structures has been developed.

Practical value. The developed design can be used in the mining industry in the current economic conditions. It reduces the duration and complexity of work.

Keywords: *steel and concretecomposite, spatial structure, lattice, rod, support, mine tunnel*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Нижником. Дата надходження рукопису 20.05.14.