

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



В.С. ГАРКУША

**КРІПЛЕННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ВИРОБОК
З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ
НА ОСНОВІ ШАХТНОЇ ПОРОДИ**

Монографія

Дніпро
НГУ
2017

УДК 622.257.1: 622.283.6

Г 20

Рекомендовано вченою радою Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол № 7 від 18 квітня 2017 р.).

Рецензенти:

В.В. Левіт – д-р техн. наук, професор, генеральний директор ДВАТ «Трест "Донецькшахтопроходка», лауреат Державної премії України, заслужений шахтар України;

В.Д. Петренко – д-р техн. наук, професор, професор кафедри тунелів, основ та фундаментів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна;

С.П. Мінець – д-р техн. наук, професор, завідувач відділу управління динамічними проявами гірського тиску Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро.

Гаркуша В.С.

Г20 Кріплення магістральних виробок з використанням твердіючих сумішей на основі шахтної породи: монографія / В.С. Гаркуша; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 126 с.

ISBN 978–966–350–652–4

Подано результати наукових обґрунтувань параметрів твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід шахт Західного Донбасу як елементу багат шарових комбінованих гірничих кріплень, які використовуються для забезпечення стійкості магістральних виробок. Проведено дослідження, технічні розробки, організаційні та контрольні заходи, які комплексно вирішують проблемні питання своєчасного виконання робіт зі зведення гірничих кріплень і зменшення кількості пустих порід, які видаються на денну поверхню в процесі господарської діяльності гірничодобувних підприємств. Описані дослідження було виконано і впроваджено в умовах шахти ім. Героїв Космосу ПАО "ДТЕК Павлоградвугілля".

Розроблено раціональні рецептури твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу, а також рекомендації щодо використання твердіючих сумішей і технологічних параметрів зведення багат шарових комбінованих кріплень із заповненням закріпного простору твердіючими сумішами. Виконано техніко-економічну оцінку ефективності отриманих результатів досліджень.

Монографія розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями стійкості виробок, аспірантів і студентів гірничих спеціальностей.

The results of scientific studies of the parameters of curing mixtures that based on waste rocks of Western Donbas as an element of combined mining supports that used to ensure the stability of capital workings are given in the monograph. The research, technical developments, organizational and control measures that presented in the monograph solve a complex scientific and technical task that connected with timely implementation of mining supports' construction and reducing the amount of waste rocks that lift to the surface by mining companies. Presented studies were made and implemented in the conditions of mine named Heroes of Space "DTEK PAVLOGRAD".

Rational recipes of curing mixtures that based on waste rocks of Western Donbas and recommendations on the use of curing mixtures and technological parameters of multilayer construction are developed. Technical and economic estimation of efficiency of the research results were completed.

The book is intended for scientists, engineers and technical workers interested in issues of the excavations stability, the post-graduates and students studying mining.

УДК 622.257.1: 622.283.6

© В.С. Гаркуша, 2017

ISBN 978–966–350–652–4

© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2017

ЗМІСТ

Вступ	5
<u>Розділ 1</u>	
ПРОБЛЕМА НАКОПИЧЕННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ ТА ОЦІНКА РЕЦЕПТУР ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	6
1.1. Проблема накопичення відходів видобутку кам'яного вугілля на шахтах Донбасу і досвід їх використання в якості вторинної сировини.....	6
1.2. Джерела надходження пустих порід і досвід застосування технологій щодо залишення порід в комплексі підземних гірничих робіт.....	10
1.3. Рецептури твердіючих сумішей для кріплення капітальних виробок вугільних шахт.....	16
1.4. Досвід використання відходів промисловості для приготування твердіючих сумішей.....	20
Висновки	23
<u>Розділ 2</u>	
СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВУГЛЕВМІЩУЮЧИХ ПОРІД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ	24
2.1. Стан гірничих виробок шахти ім. Героїв Космосу ПАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля».....	24
2.2. Оцінка придатності вуглевміщуючих порід Західного Донбасу для приготування твердіючих сумішей на їх основі.....	29
2.3. Подрібнення вуглевміщуючих порід. Гранулометричний склад заповнювача для твердіючих сумішей і оцінка можливого виходу поліфракційного заповнювача в процесі подрібнення	34
2.4. Властивості твердіючих сумішей.....	38
2.4.1. Тампонажні суміші.....	38
2.4.2. Набризкбетонні суміші.....	50
2.4.3 Торкрет-бетонні суміші.....	55
Висновки	59
<u>Розділ 3</u>	
ПОКРАЩЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ШАХТНИХ ПОРІД ВІДПОВІДНО ДО УМОВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ	60
3.1. Підбір коригуючих добавок для твердіючих сумішей на основі шахтних порід Західного Донбасу.....	60
3.2. Стійкість готового каменю до впливу мінералізованої води.....	73
Висновки	80

Глава 4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВУГЛЕВМІЩУЮЧИХ ПОРІД ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

	82
4.1. Використання неруйнівного і руйнівного методів контролю зразків готового каменю	82
4.2. Методика проектування рецептур тампонажних (торкрет- і набризкбетонних) сумішей.....	88
4.3. Технологічні схеми і компоновка обладнання підземного комплексу для подрібнення породи, призначеної для виготовлення твердіючих сумішей.....	91
4.4. Визначення фактичного гранулометричного складу подрібнених порід, отриманих на підземному дробильному комплексі шахти.....	96
4.5. Впровадження нових твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід при кріпленні магістральних виробок.....	99
4.5.1. Тампонаж закріпного простору при спорудженні магістральних гірничих виробок	99
4.5.2. Набризкбетон при спорудженні магістральних гірничих виробок.....	104
4.6. Оцінка техніко-економічної ефективності результатів досліджень	109
Висновки	111
Закінчення	112
Список літератури	114

ВСТУП

Кам'яне вугілля є основним енергетичним ресурсом України. Запасів вугілля достатньо для забезпечення безперебійної роботи промислових об'єктів на сотні років. У складній економічній ситуації актуальними є заходи, які здатні знизити собівартість вугілля за рахунок зменшення витрат на кріпильні і будівельні матеріали.

З іншого боку, при видобутку корисних копалин підземним способом актуальною проблемою є утилізація пустих порід. Частково порода використовується для відсипки дамб і рекультивації підроблених площ. В цілому рівень утилізації відходів гірничодобувної галузі промисловості в Україні становить 12%, тоді як для більшості гірничодобувних країн світу цей показник становить не менше 65%.

У той же час гірничодобувні підприємства при кріпленні гірничих виробок використовують різні твердіючі суміші - тампонажні, торкрет-бетонні, набризкбетонні, для приготування яких використовуються: цемент в якості в'язучої речовини, пісок і гранітний щебінь як заповнювач.

Ці матеріали необхідно доставляти на великі глибини вугільних шахт, що призводить до підвищення навантаження на транспортну систему шахти – підйом ствола і транспортну мережу горизонтальних і похилих гірничих виробок. У зв'язку з цим відходи видобутку кам'яного вугілля можуть бути ефективно використані в якості альтернативної сировини при приготуванні тампонажних, торкрет-бетонних і набризкбетонних сумішей.

Однак для ефективного їх використання необхідно знати їх реологічні і фізико-механічні властивості. Таким чином, підбір раціональних рецептур і визначення властивостей і закономірностей утворення структури твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу, що використовуються при кріпленні капітальних виробок, є актуальним науково-технічним завданням, яке має велике значення для гірничодобувної галузі промисловості України.

Крім цього, подрібнення породи і залишення її в шахті, крім вирішення питання своєчасного забезпечення ресурсами технологій тампонажу і нанесення набризкбетону і економії коштів на закупівлю піску, щебеню та цементу, дозволить:

- розвантажити підйом в стволі, за рахунок зменшення об'єму порід, які видаються з шахти;
- знизити транспортні витрати на перевезення породи у відвали;
- зменшити площі, які зайняті породними відвалами;
- знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище, і покращити екологічну ситуацію.

Таким чином, для реалізації програми підвищення стійкості капітальних виробок за рахунок застосування технологій тампонажу закріпного простору і нанесення набризкбетону, є необхідною розробка рецептур твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід, що залишаються в шахті і технології їх використання в умовах шахти імені Героїв Космосу ПСП «ШУ імені ГЕРОЇВ КОСМОСУ» ПАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ».

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМА НАКОПИЧЕННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ ТА ОЦІНКА РЕЦЕПТУР ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

1.1. Проблема накопичення відходів видобутку кам'яного вугілля на шахтах Донбасу і досвід їх використання в якості вторинної сировини

На сьогоднішній день одним з найбільш актуальних питань є проблема переробки відходів вугільної промисловості. За більш ніж 200 років розробки Донецького вугільного басейну накопичено близько 4 млрд. т відвальних порід.

Загальна кількість породних відвалів розташованих на території України на початок 2013 року становила 743 одиниці, з них діючих 131, і 612 виведено з експлуатації. За формою всі породні відвали діляться на конічні, плоскі і хребтові. На сьогоднішній момент з діючих відвалів: 88% – плоскі, 12% – конічні. Хребтові відвали зараз не використовуються, або переформовуються в плоскі.

У діючих відвалах накопичено приблизно 3 млрд. т порід, з них III класу небезпеки (помірно небезпечні речовини) – 14,42 тис. т; II класу (високо небезпечні речовини) – 2,12 тис. т, площа відчужених під них земель становить близько 6 тис. гектарів. Із загальної кількості відвалів 140 є палаючими. Слід зазначити, що більша частина палаючих відвалів (112 од.) є діючими. Кількість викидів в атмосферу становить близько 7% від загальної кількості по гірничодобувної галузі промисловості [1].

Тління породного відвалу триває від 7 до 12 років, що обумовлено вмістом вугілля в кількості 5...7%, а в деяких ділянках відвалу 11...12%. В атмосферу виділяється близько двох десятків шкідливих речовин: оксид вуглецю, вуглекислий газ, сірчистий газ, сірчаний ангідрид, сірководень, оксиди азоту, сірчана кислота, аміак, ціаніди і т.п.

Палаючі відвали створюють нестерпні умови для життя в населених пунктах розташованих поблизу вугледобувних підприємств. Тривале забруднення атмосфери сірчистим газом, оксидами вуглецю і азоту впливає на здоров'я людей. Збільшується загальний рівень захворювань внаслідок ураження окремих органів і систем організму: дихальної (бронхіальна астма, пневмонія і ін.), Серцево-судинної (гіпертонія, інфаркт міокарда), шлунково-кишкового тракту та ін.

При гасінні териконів застосовують різні речовини, однак найчастіше гасять водою, що не є ефективним рішенням, тому що чим більше води, тим інтенсивніше протікає процес горіння. Проте можна запобігти початковій стадії самонагрівання, якщо збільшити водно-лужний баланс середовища, тобто змінити кисле середовище на лужне. В такому випадку зв'яжуться сірчана кислота і оксиди сірки, і хімічна реакція протікати не буде. Для цього необхідно додавати в воду гідроксиди, вапно, карбонати натрію і калію [2, 3].

Велика кількість відвалів горить, але всі вони піддаються вітровій та водній ерозії. У зв'язку з цим виникає питання, чи впливають ерозійні процеси на ґрунт і рослинність прилеглих земель, тому що для територій Донбасу сусідство породних відвалів і сільськогосподарських угідь є звичайною практикою. В роботі [4] було визначено п'ять ступенів потенційної небезпеки для навколишнього середовища:

I ступінь – максимальний (об'єкти розташовані безпосередньо біля підніжжя терикону);

II ступінь – середній (об'єкти розташовані в межах 500 м);

III ступінь – слабкий (об'єкти розташовані в межах 500 - 1000 м);

IV ступінь – відносний (об'єкти розташовані в межах 1000 - 2000 м);

V ступінь – непрямий (об'єкти розташовані далі 2000 м).

Було відзначено, що на полі, засіяному озимою пшеницею, кількість рослин на 1 м² в зоні шлейфу наносів з породного відвалу по відношенню до нормальних показників знижується в 12...3,4 рази по мірі віддалення від відвалу, висота рослин – в 2,3 ... 1,2 рази, кількість колосків – в 5,3 ... 1,5 рази, їх довжина – 1,7...1,1 рази. Спостерігається явне пригнічення рослин в зоні шлейфу наносів, що зменшується в міру віддалення від породного відвалу.

Однак той факт, що поза шлейфу густина рослин значно нижче посівної норми, свідчить про те, що забруднення відбувається не тільки в зоні відкладення наносів, а й за її межами – як результат вітрового переносу і механічного переміщення ґрунту при обробці [4].

Породні відвали займають великі площі родючих земель, змінюють ландшафт і рельєф місцевості. У зв'язку з цим дуже гостро стоїть питання рекультивації земель відведених під породні відвали [5, 6]. Залежно від придатності відвальних порід, властивостей ґрунту і природно-кліматичних умов, а також певного типу освоєння застосовуються такі способи рекультивації земель порушених господарською діяльністю вугільної промисловості:

- відсіпка родючого шару ґрунту або шару лесовидного суглинку шаром 30...120 см з використанням комплексу мінеральних добрив;

- обробка рекультивованих земель з проведенням меліоративних робіт (вапнування, меліоративні сівозміни, внесення мінеральних добрив);

- обробка рекультивованих земель з використанням біоактивних препаратів, приготованих з бурого вугілля і відходів вуглезбагачення, і активних штамів ґрунтових мікроорганізмів [7].

За даними інституту Донгіпрошахт, породні відвали мають різний склад: приблизно до 46% кам'яного вугілля, до 15% глинозему (сировини для отримання алюмінію і силуміну) і до 20% оксидів кремнію і заліза. За даними ДП «Укргеологія» в 1 тонні відвальних порід вміст рідкоземельних металів складає: германій - 55 г, скандій - 20 г, галій - 100 г. Дані речовини доцільно видобувати при вмістові 10 г на тонну. Загальний вміст рідкоземельних металів в породних відвалах складає – 230...260 г на тонну. Сировина, яку може бути отримано з породних відвалів, є затребуваною, так як вироби з силуміну

(запірна арматура, фітинги, труби та ін.) необхідні для потреб хімічної, газової та нафтової промисловості. Германій – метал з великим електричним опором – застосовують в електротехнічній промисловості, медицині, оптиці, металургії (як каталізатор), при виробництві пластмас. Скло і лінзи з германію використовують в приладах нічного бачення і в військових системах наведення [8].

Відвальні породи є цінною вторинною сировиною, яку можна ефективно використовувати при виробництві керамічних стінових матеріалів, штучних пористих заповнювачів, як природний заповнювач для бетонів різного призначення, як коригуючі добавки при виробництві в'язучих речовин, при зведенні дорожніх насипів і дамб. У той же час застосування цих порід не перевищує 7%, що становить 1,5...2,0 млн. т/рік [9].

Однак використання відходів вуглевидобутку в якості вторинної сировини в промисловості будівельних матеріалів найчастіше обмежена вимогами технології виробництва певного матеріалу і до властивостей готового продукту. Ці обмеження обумовлені неоднорідністю відходів вуглевидобутку за петрографічним, хімічним та мінералогічним складом. Породи в териконах Донбасу представлені аргілітами – 28...32%, алевролітами – 30...34%, пісковиками – 22...24%, вапняками – 16...18% і горючими компонентами (вугілля і вуглисті аргіліти і алевроліти) – 2...3,5%. Мінімальні втрати вугілля і потрапляння його у відвальну масу складають 7,4% від маси породи або 2,5% від кількості видобутого вугілля, але іноді досягають 15...18% [10, 11].

До того ж, в процесі горіння породних відвалів утворюються нові невідомі природі мінерали, наявність яких слід враховувати при використанні горілих порід. За даними роботи [12] виявлено і вивчено 37 високотемпературних мінералів (за винятком продуктів випалу металевих предметів), з яких 19 відносяться до оксидів і 18 до силікатів. Така різноманітність мінералів при обмеженому числі кристаллохімічних типів з'єднань (безводні оксиди і силікати) обумовлено різноманітністю хімічного складу відвальних порід і нерівномірністю розподілу температур в відвалах.

Також одним з визначальних чинників при використанні відвальних порід в якості сировини для будівельних матеріалів є висока вологість відвальних порід, що неприйнятно для деяких технологічних операцій. Так при виробництві стінової кераміки цей фактор дуже важливий, оскільки виникає необхідність в сушці сировинного матеріалу, що веде до додаткових витрат на енергоносії [13 - 15].

З іншого боку, відходи енергетичного комплексу, зокрема горілі відвальні породи і золошлакові відходи ТЕС, мають підвищений вміст оксидів заліза, кальцію і лугів, що сприяє спіканню керамічних матеріалів при більш низьких температурах випалу. Температура спікання знижується до 950...1100°C. Також відходи від спалювання вугілля є отощающою добавкою, введення якої в керамічну шихту скорочує час сушіння і усадочні напруги в цеглі [16 - 18].

В даний час одним з перспективних напрямків у промисловості будівельних матеріалів є виробництво великорозмірних виробів, які по

теплотехнічних характеристиках відносяться до групи виробів високої ефективності. Такі матеріали мають теплопровідність менше 0,2 Вт/(м·°С). Зниження густини виробів досягається за рахунок високої пористості виробів, що досягає 60%.

Зниження щільності і теплопровідності виробів тільки за рахунок збільшення пористості не ефективно. Велика пористість керамічних блоків ускладнює технологію зведення стін і призводить до зниження міцності кладки. Досягнення щільності виробів менш 800 кг/м³ і теплопровідності менше 0,2 Вт/(м·°С) найбільш доцільно здійснювати за рахунок формування пористої структури черепка і пористості виробів [19].

Підвищення масової частки відходів вуглеводобутку в шихті від 25 до 50% зумовлює плавне зниження механічної міцності виробів і підвищення їх пористості. Однак навіть при вмістові 50% відходів вуглеводобутку в шихті міцність готових виробів залишається досить високою. Реакційну здатність відходів вуглеводобутку можна підвищити завдяки механічній активації, тобто помолу в кульовому млині разом з глинистим компонентом. При цьому відходи вуглеводобутку при сушінні поведуться як звичайна глина, а при випалюванні проходять ті ж стадії, що і глинисті мінерали, – розкладання карбонатів, утворення муліту і т.п [20].

При частковій заміні глини відходами видобутку вугілля відбувається зниження щільності керамічних виробів при тій же міцності на стиск і вигин. Відходи вуглеводобутку є інтенсифікаторами спікання за рахунок вигорання частинок вугілля, а також отошуючим компонентом, введення якого дозволяє знизити усадку, пластичність і чутливість до сушіння сировинних керамічних мас [21].

Крім того, відходи видобутку вугілля можна ефективно використовувати при виробництві штучних пористих заповнювачів (керамзит, аглопорит), так як для виробництва цих матеріалів використовують різну глинисту сировину, і інші алюмосилікатні матеріали (глини, суглинки, леси, аргіліти, шлаки і т.п.), а також вигоряючі компоненти (вугілля, тонкодисперсна зола ТЕС, нафтовмісні відходи, деревна тирса, лузга гороху, соняшнику і т.п.) [22, 23].

Однак найчастіше в якості компонента, що вигоряє, використовують вугілля, тому введення відходів вуглеводобутку в сировинну шихту є економічно обґрунтованим. Використання штучних пористих заповнювачів замість важких природних наповнювачів дає можливість отримання легких бетонів, які мають меншу густину і теплопровідність [24, 25].

Горілі породи мають активність по відношенню до вапна і використовуються як гідравлічні добавки для в'язучих вапняно-пуццоланового типу, портландцементу і для автоклавних матеріалів. За даними роботи [26] в піч для випалу при виробництві цементного клінкеру можна подати до 10% відвальних порід, що містять частинки вугілля. Введення до 30% відвальних порід на стадії помелу не погіршує активність матеріалу і дозволяє отримати цемент не нижче марки М400.

Також горілі породи при додатковій активації (механічній і хімічній) можуть бути використані в якості сировини для композиційних матеріалів різного призначення зокрема гідроізоляційних і антикорозійних. Так за даними робіт [27, 28] мелена горіла порода з питомою поверхнею 3000 - 3500 см²/г в комплексі з низькомодульним рідким склом є двухкомпонентним мінеральним в'язучим повітряного твердіння. Даний композиційний матеріал може ефективно застосовуватися як гідроізоляційний шар підземних частин будівель і споруд, для гідроізоляції і антикорозійного захисту цегляних, залізобетонних, металевих конструкцій, покрівель.

1.2. Джерела отримання пустих порід і досвід використання технологій щодо оцінювання породи в комплексі підземних гірничих робіт

На сьогоднішній день актуальним залишається не тільки питання про утилізацію відвальних порід, а питання мінімізації впливу гірничодобувних робіт на природний рельєф місцевості. Однією з гострих проблем гірничодобувних регіонів є просідання поверхні землі, яке може досягати 7,5 м. Для різних районів Українського Донбасу просідання земної поверхні в середньому становить 0,5...1,5 м [29].

На території Західного Донбасу в процесі відпрацювання родовищ 10 (раніше 11) шахтами до глибини 500...600 м підроблено 538 м² території. При цьому земна поверхня осідає на 75...90% потужності вугільних пластів, які виймаються, що становить в середньому 65...70 см [30].

До того ж, не менш важливим є вплив гірничодобувних робіт на стан природних водойм, що є джерелами питної води. Для Західного Донбасу актуальною проблемою є засолення і забруднення р. Самари і її приток, що викликано збросом високомінералізованих шахтних вод. Це веде до повної зміни гідрохімічного складу і гідробіологічної структури річкової води, до осолонцювання зрошуваних нею земель. У Західному Донбасі в результаті підземної розробки виявилось затоплено і заболочено більше 6 тис. га родючих земель [31, 32].

Існує досвід використання слабких порід Західного Донбасу (аргілітів і алевролітів) в якості матеріалу для зведення захисних дамб, гребель водойм і ставків, земляного полотна автомобільних доріг і будівництва дендро- і гідропарків. Аргіліти і алевроліти добре поглинають воду і є хорошим наповнювачем. Так за період 1974-1984 рр. було використано близько 20 млн. т породи для підсипки затоплених ділянок заплави р. Самара і отримано 180 га рекультивованих земель [33, 34].

Одним з перспективних рішень щодо утилізації пустих порід є використання під породні відвали природних заглиблень (від'ємних рельєфів місцевості): балок, ярів, котлованів, зміщених річкових заплави. В такому випадку відходи видобутку і збагачення вугілля складають у штабель напівзакритого контуру, після чого вони можуть бути покриті шаром родючого ґрунту. Завдяки цим заходам земельні ділянки, відведені під породний відвал можна використовувати під сільськогосподарські угіддя або зелені зони [35].

Однак всі перераховані заходи вирішують питання застосування відвальних порід лише в тій чи іншій мірі. Породні відвали постійно поповнюються все новими об'ємами пустих порід, і кількість цих порід залежить, перш за все, від об'єктів ведення підземних робіт.

На шахтах Західного Донбасу на поверхню видається на 1 т видобутого вугілля значно більша кількість породи. У Донбасі тільки окремі шахти видають 60% породи і більше, тоді як в Західному Донбасі ця цифра становить близько 100% породи по відношенню до вугілля. Так, близько 60% порід отримують від проходки виймальних штреків, тому скоротити видачу цих порід на поверхню можна шляхом проведення цих штреків широким забоем або слідом за лавою. У більшості випадків проходка виїмкових штреків здійснюється вузьким забоем. Це пов'язано із застосуванням механізованих комплексів третього покоління (з продуктивністю 2500-11000 т/добу), які забезпечують високу швидкість проведення виробок [36].

При розробці вугільних пластів порода може утворюватися від: підривання бічних порід при проведенні виробок по пластах (штреки, бремсберги, ухили і ходки); проведення виробок по породі (польові штреки, квершлагги і т.п.); проведення камер і інших допоміжних виробок; відновлення виробок; ремонту гірничих виробок, а також з лав. Крім того, порода видається на поверхню у вигляді домішок разом з рядовим вугіллям, з якого вона може бути виділена на збагачувальній фабриці.

Основний об'єм породи утворюється від проведення виробок – 53,9%, в тому числі з виробок, що проводяться по породі, – 7,5%, з виробок, що проводяться з підриванням бокових порід, – 44,8%, з інших виробок – 1,6%. В основному порода в шахті виходить від проведення виробок з підриванням бокових порід і при ремонті підготовчих виробок. На ці два основних джерела припадає 78...85% всієї породи. Для скорочення її об'єму необхідно: переходити на спосіб проведення пластових виробок широким забоем і розширювати застосування стовпових систем розробки, при яких створюються найбільш сприятливі умови підтримки виробок в процесі експлуатації, і можливість їх повторного використання при роботі другої лави.

Вплив системи розробки на відносний вихід породи було досліджено в роботі [37] на прикладі восьми шахт Шахтинського району Донбасу, що характеризується малопотужними пластами, розробка яких ведеться суцільною системою і системою парних штреків. З результатів роботи [37] випливає, що при суцільній системі розробки видається більше породи, ніж при системі розробки парними штреками, - в основному за рахунок зниження виходу породи від ремонту. При суцільній системі розробки породи від ремонту видається приблизно на 15...20% більше, ніж від проведення. При системі розробки парними штреками вихід породи від проведення, навпаки, перевищує на 70-75% вихід породи від ремонту. Таким чином, при видобутку 1 тонни кам'яного вугілля на денну поверхню видається 0,5...1 т пустої породи, в тому числі 0,3...0,6 т від ремонту виробок. У таблиці 1.1 представлений аналіз джерел отримання пустої породи при видобутку кам'яного вугілля.

Згідно статистичної звітності по окремим виробничим об'єднанням і державним вугільним компаніям, об'єм породи, що видається досягає (у відсотках до видобутку): «Дзержинськвугілля», «Артемвугілля» - 94,2; «Донецьквугілля» - 87,6; «Макіїввугілля» - 84,6; «Оржонікідзевугілля» - 87,6; «Стахановвугілля» - 77,9; «Первомайськвугілля» - 75,3.

Таблиця 1.1

Джерела отримання пустих порід при видобутку кам'яного вугілля

Джерела отримання порід	Видача породи, % до видобутку вугілля (по масі)	У тому числі	
		на вугільних пластах	на антрацитових пластах
1. Проведення виробок з підривкою бокових порід	14,7	16,7	11,6
2. Проведення виробок по породі	3,5	4,8	0,6
3. Проведення камер та інших виробок	0,8	0,6	0,7
4. Відновлення виробок	0,5	0,5	0,4
5. Ремонт гірничих виробок	18,6	25,1	7,4
6. Порода з лав	1,3	1,8	0,5
Всього:	39,4	49,5	21,2

За період 2011...2013 рр. середній вихід породи від ведення підготовчих робіт однієї шахти Західного Донбасу досяг 300 тис.т/рік, а загальний обсяг породи від ведення очисних робіт всіх шахт досяг 40% від обсягу продукції, що видобувається, що становить 7,24 млн.т. За даний період середня зольність гірської маси досягла максимального значення 41,3%, при цьому на деяких шахтах кількість породи в гірничій масі перевищила обсяг вугілля.

У 2012 році три лави шахти «Павлоградська» працювали з зольністю 51,3...53,3%, при материнської зольності - 9,4...12,8%. Лави шахти «Тернівська» видавали гірську масу з зольністю 63; 64,7 і 50,7% в 2011; 2012; 2013 роки відповідно. Висока зольність вугілля обумовлювалася присічками більше 0,4 м і відпрацюванням лав в зонах геологічних порушень. У таблиці 1.2 представлена характеристика породних відвалів шахт Західного Донбасу [38].

При видачі породи на поверхню з'являються додаткові витрати на транспортування пустої породи як на денну поверхню, так і при відсипанні її у відвали. Ускладнюється робота рудничного транспорту і підйому. На багатьох шахтах Донбасу пропускна здатність підземного транспорту і поверхневих породних комплексів обмежена, існують серйозні труднощі з видачею породи.

До того ж, якщо технологія передбачає навантаження пустої породи на стрічковий конвеєр, яким транспортується вугілля, то зольність вугілля різко збільшується. Були здійснені витрати не тільки на транспортування пустої породи, але і на відділення цієї породи від вугілля, що здійснюється збагачувальними фабриками [39, 40].

По суті, перенесення рішення породного питання на збагачувальні фабрики не тільки погіршує екологічну обстановку, але і створює складності при збагаченні видобутої маси. Питання покращення якості палива, що добувається шляхом розширення обсягів його збагачення не можна вважати однозначним.

Практика роботи збагачувальних фабрик при підвищеному вмістові породи у гірничій масі свідчить, що при цьому зростає зольність продукції, яка відвантажується. В кінцевому підсумку це впливає на роботу головних споживачів антрацитів – теплових електростанцій [41, 42]:

- на електростанціях України при звичайному горінні 1 тонни високозольного антрациту виникає потреба збільшувати витрати мазуту на 0,5 тонни;

- підвищення зольності вугілля на 1% призводить до зниження питомої теплоти згорання вугілля на 80 ккал, антрацитів – на 107 ккал;

- при зростанні на 1% зольності антрацитових штибів к.к.д. котлів на електростанціях знижується на 0,2%;

- спалювання високозольного вугілля є основною причиною великого пошкодження котлів;

- підвищення зольності веде до збільшення викидів в атмосферу шкідливих газоподібних продуктів.

Найбільш ефективним технологічним рішенням для вугільної промисловості України є залишення отриманої породи в шахті і переробка відвальних порід, які вже розміщені на денній поверхні [43, 44, 45].

Значного зниження зольності вугілля можна досягти зворотною закладкою породи, яка утворюється при проведенні виробок, в вироблений простір. Цей спосіб (проведення виробок широким вибоєм) характеризується роздільною виїмкою вугілля і породи. Породу закладають у вироблений простір, яке прилягає до проведеної виробки, щоб не змішувати породу з вугіллям.

Повне залишення пустої породи в шахті дозволить:

- знизити зольність вугілля, що видобувається;
- зменшити шкідливий вплив підземного видобутку на навколишнє середовище;

- скоротити витрати на транспорт гірської маси в шахті і на поверхні;

- зменшити витрати на збагачення і переробку вугілля;

- підвищити якість вугілля і їх конкурентоспроможність;

- скоротити виробничі витрати в цілому по шахті і тим самим підвищити техніко-економічну ефективність роботи підприємств.

Таблиця 1.2

Характеристика породних відвалів шахт Західного Донбасу

Шахта	Найменування відвалу	Експлуатаційний стан	Конфігурація відвала	Параметри відвалу		Дата введення в експлуатацію	Дата закінчення експлуатації відвалу
				Об'єм породи, тис.м ³	Площа, га		
«Тернівська»	Відвал №1	не діючий	плоский	5000	18,2	1964	1974
	Відвал №2	не діючий		2200	12,9	1974	2001
«Степова»	Відвал №1 блока №1	не діючий	зрізаний конус	7400	21,5	1965	2012
	Відвал №2 блока №2	діючий		276	6,5	2009	2032
«Ювілейна»	Відвал №1	діючий	зрізаний конус	7200	28,6	1964	2029
	Відвал №2	не діючий		3000	10,9	1956	1997
«Західно-Донбаська»	Відвал №1	діючий	плоский	6500	29,9	1979	2030
	Відвал №1	діючий		2400	35,2	1965	2013
«Дніпровська»	Відвал №1	діючий	плоский	3900	19,5	1968	2015
	Відвал №1	не діючий		2200	16,5	1963	1984
Всього				40076	199,7		

В даний час обсяг породи, що видається на поверхню, на окремих шахтах досягає 80...100% по відношенню до товарної продукції, в той час як для нормального функціонування шахт цей обсяг не повинен перевищувати 35...40% [46]. Згідно з прогнозами обсяг видаваної породи буде і далі збільшуватися, що обумовлено переходом до відпрацювання пластів меншої потужності, зниженням стійкості бічних порід і розширенням обсягу польової підготовки, збільшенням обсягів ремонту підтримуваних виробок. Перехід гірських робіт на більш глибокі горизонти спричинив за собою збільшення площі перетину гірничих виробок за умовами вентиляції, безремонтної їх підтримки, збільшення габаритів гірничопрохідницького устаткування і рухомого складу.

Основними джерелами надходження породи з шахти є гірничі виробки, проведені польовими або по пластах вугілля з підривкою вміщуючих порід, ремонт виробок і очисні вибої (при розробці пластів складної будови, вивали і обвалення покрівлі).

Основним споживачем породи, одержуваної при будівництві та експлуатації гірничих підприємств, повинна стати безпосередньо шахта, де ця порода з успіхом може бути використана для вирішення різних завдань, зокрема, запобігання небажаних проявів гірського тиску шляхом закладання виробленого простору і в якості матеріалу для приготування твердіючих сумішей.

Основними факторами, які визначають абсолютні обсяги породи, яка надходить, є: виробнича потужність шахти, потужність і будова пластів, що розробляються, стійкість вміщуючих порід, сумарна довжина і площа поперечного перерізу проведених виробок, в тому числі дольова участь польових, матеріал кріплення, сумарна протяжність підтримуваних виробок, системи розробок, які використовуються, спосіб охорони виробок та ін.

Технологічні схеми залишення породи в шахті, що використовуються у вітчизняній і зарубіжній практиці, відрізняються різноманітністю технічних рішень, як по влаштуванню окремих елементів, так і по компоновці в схемах. Вибір схеми (в основному для закладки виробленого простору) залежить від обсягу робіт, джерела отримання породи, мережі підземних виробок (схеми розкриття та підготовки, систем розробки). Крім того, якість породи, наявність резервів продуктивності транспортного обладнання, концентрація гірничих робіт, їх глибина, потужність і кут падіння пласта, стан вміщуючих порід та інші чинники впливають на окремі ланки схеми.

Програма скорочення видачі породи з шахт, намічена ще в 1980-х роках в період найвищого розвитку вугільної промисловості, як в колишньому СРСР, так і в Україні передбачала [47, 48]:

- будівництво стаціонарних та напівстаціонарних дробильно-закладних комплексів для закладки породи у вироблений простір лав;
- зведення навколоштрекових бутових смуг при суцільній і комбінованій системах розробки з розміщенням в них породи, одержуваної від проходки і ремонту виробок (закладні установки ЗУ, дробильно-закладний комплекс «Титан»);

- закладку породи в виробки, які погашаються, за допомогою комплексу «Титан», установки ЗУ і металевих пристроїв;
- проведення спарених пластових виробок широким вибоєм між ними (комплекс КСВ, БШУ);
- відпрацювання коротких очисних вибоїв з повним закладенням виробленого простору комплексами «Титан»;
- технологічні заходи щодо запобігання обвалення нестійких порід в очисних вибоях.

У зв'язку з цим необхідно розглянути не тільки можливість використання породи для закладки виробленого простору і виробок, які погашаються, викладки бутових смуг, але і напрямки та обсяги застосування породи для виготовлення твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу.

1.3. Рецептури твердіючих сумішей для кріплення магістральних виробок вугільних шахт

Технологія проведення та кріплення підготовчих виробок вугільних шахт для забезпечення спільної роботи кріплення і навколишнього масиву рамними конструкціями кріплень передбачає наявність закріпного простору, який повинен бути ретельно забутований породним дріб'язком. Однак ця операція практично не виконується через трудомісткість процесу. У кращому випадку в капітальних і основних підготовчих виробках закріпний простір заповнюють різними тампонажними розчинами.

Однак внаслідок відставання тампонажних робіт від забою кріплення, що встановлюється в забої деякий час не має контакту з породним контуром, що значно знижує стійкість виробки. Збільшення закріпного простору від 100 до 420 мм призводить до зростання зсувів порід на контурі виробки в 5,2 рази [49].

В роботі [50] була виконана оцінка величини несучої здатності кріплення з тампонажем закріпного простору з тим же показником для того ж кріплення без тампонажу:

- несуча здатність металевого арочного кріплення після проведення тампонажу (в залежності від типорозміру кріплення і товщини затампонованого шару) зростає в 5...7 разів, а металобетонне – в 2...4 рази;
- несуча здатність металевого кріплення зі спецпрофілю з подальшим тампонажем закріпного простору в 1,2...2,6 рази вище в порівнянні зі звичайним металобетонним кріпленням з двутавра з бетонним заповнювачем;
- збільшення щільності установки металевого аркового кріплення з одного до двох арок на 1 м виробки при подальшому тампонажі закріпного простору збільшує несучу здатність кріплення всього на 16...22%.

Освоєння вугільних родовищ Західного Донбасу супроводжується погіршенням гірничо-геологічних умов, інтенсивними проявами гірського тиску. Значне зниження стійкості виробок спостерігається при їх закладенні на глибині більш ніж 300 м. Незважаючи на те, що близько 95% протяжних виробок Західного Донбасу закріплено довговічними кріпленнями, обсяги ремонтів кріплень не знижуються, а їх вартість в багатьох випадках наближається до вартості проведення нових виробок [51].

З усіх процесів прохідницького циклу кріплення знаходиться на другому місці по трудомісткості і на останньому за рівнем механізації. Близько 60% вартості і до 45% трудовитрат при спорудженні виробок витрачається на їх кріплення. У зв'язку з цим, досить гостро стоїть питання про максимальну механізацію процесу кріплення і зниження витрат на зведення кріплення [52].

Найбільш трудомісткими операціями в складі тампонажних робіт є заповнення швів між з'язками (підкотаж) і нагнітання розчину за кріплення виробки. При цьому тривалість робіт з герметизації кріплення становить 42% від тривалості всього циклу [53].

При виробництві тампонажних робіт попередньо виконують підкотаж зазорів між з'язками цементно-піщаним розчином складу 1 : 3 : 0,5 (цемент : пісок : вода). Після триденної витримки підкотажу, в закріпний простір за допомогою розчинонасосів нагнітають під тиском до 2...3 атм цементно-піщаний розчин складу 1 : 5 : 1,5 або 1 : 6 : 1,75 (цемент : пісок : вода). В якості в'язучої речовини використовують портландцемент різних марок. Витрата розчину становить від 1,8 до 4 м³ в залежності від площі поперечного перерізу, ступеня деформації виробки і способу виїмки гірської маси [54, 55].

При зміцненні порід раніше встановлене абочне кріплення з з'язкою виконує функцію опалубки, запобігаючи витіканню тампонажного розчину при тампонажі закріпного простору і забезпечуючи стійкість виробки до утворення грузонесущої оболонки зміцнених порід [56].

Також існує досвід модифікації тампонажних розчинів на основі цементу введенням в їх склад тонкомолотого піску з різною питомою поверхнею - 123; 240 і 295 м²/кг. Мелений пісок вводили до складу тампонажного розчину замість частини цементу. При цьому його кількість в суміші становила 30 і 50%. Рухливість розчинної суміші (по конусу АЗНІ) у всіх випадках була більше 25 см. Відносна в'язкість розчину на віскозиметрі СПВ-5 для різних складів становить 16...24 с. Результати досліджень [57] представлені в таблицях 1.3 і 1.4.

Збільшення питомої поверхні піску під час помелу сприяє його активації, при цьому активізується процес формування структури цементного каменю і підвищується його адгезія з цементними частинками. З даних, представлених в таблиці 2 випливає, що збільшення питомої поверхні піску до 240 і 295 м²/кг практично не впливає на підвищення міцності на стиск цементно-піщаного розчину, при цьому підвищується в'язкість розчину. Використання меленого піску в заповнюючих розчинах дозволяє знизити витрату цементу на 50% і підвищити міцність на стиск цементно-піщаного розчину в 2...2,3 рази.

Якістю тампонажної оболонки можна управляти шляхом введення поризуючих добавок – газовиділяючих (алюмінієва пудра) і піноутворюючий (алюмосульфанофтенний піноутворювач). Заміна жорсткої тампонажної оболонки на поризовану оболонку, яка має велику деформативність здатність дозволяє істотно знизити вартість кріплення виробок за рахунок зменшення матеріалоемності кріплення до 30...40%, а також до зниження трудомісткості технологічного процесу тампонажу [58].

Властивості тампонажних сумішей з добавкою тонкодисперсного піску

Склад розчину	Питома поверхня піску м ² /кг	Відносна в'язкість, с	Міцність на стиск, МПа	
			7 діб	14 діб
1. Цемент : Пісок : Вода = 1 : 0 : 0,9 (еталон)	123	16	1,9	2,5
2. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 1	123	21	3,6	4,5
3. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 0,9	123	23	3,8	5,8
4. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 0,8	123	24	5,2	9
5. Цемент : Пісок : Вода = 0,7 : 0,3 : 1	123	19	3,9	4,9

Таблиця 1.4

Властивості тампонажних сумішей з добавкою тонкодисперсного піску

Склад розчину	Питома поверхня піску м ² /кг	Міцність на стиск, МПа	
		7 діб	14 діб
1. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 0,9	123	3,8	5,8
2. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 0,9	240	4	5,9
3. Цемент : Пісок : Вода = 0,5 : 0,5 : 0,9	295	4,9	6,1

Однак при кріпленні виробок вугільних шахт також широко застосовують набризкбетоні (торкрет-бетонні) суміші. Торкрет-бетонні суміші поділяють на сухі і вологі (мокрі). Сухі представляють собою суміш сухого або злегка зволоженого піску з дрібним щебенем або цементом, вологі містять більшу кількість води. Водо-цементне відношення сухих сумішей в готовому вигляді не перевищує 0,4...0,45.

Для приготування сухих торкрет-сумішей воду, необхідну для процесу гідратації, подають безпосередньо в насадку торкрет-пушки. Переваги таких сумішей – відносно низькі витрати на торкретування, можливість транспортування на великі відстані, малі розміри і маса обладнання для нанесення покриття в порівнянні з машинами для покриття вологою сумішшю. До недоліків слід віднести підвищену витрату цементу і запиленість робочого місця, збільшений відскок матеріалу від поверхні виробки і неможливість використання вологого піску.

Використання вологих сумішей має свої переваги: дозволяє знизити витрату стисненого повітря, точно дозувати матеріал, що зменшує витрату цементу, покращити умови праці в місці проведення робіт. Вологу суміш можна приготувати заздалегідь у великій кількості, що підвищує продуктивність робіт. Зазвичай вологі суміші містять від 55 до 65% піску (по масі), при цьому до 40% повинні складати частки заповнювача крупністю від 0 до 4 мм, 25% – від 8 до 16 мм і 35% – від 4 до 8 мм.

Однією з важливих особливостей торкрет-бетонних сумішей є обов'язкове додавання прискорювачів тужавлення, представлених у вигляді спеціальних

порошків (для сухих сумішей) або рідини (для вологих), при чому маса добавок становить 1...5% загальної маси [59].

Набризкбетон нанесений на стіни та покрівлю виробки повинен створювати оболонку, що має достатню несучу здатність. Набризкбетонне кріплення може використовуватися як самостійно, так і в комбінації з анкерами, металевою сіткою, металевими арками (кріплення типу АСН-а «арка - сітка - набризк - анкер»). Для приготування набризкбетонної суміші найчастіше використовують портландцемент, дрібнозернистий пісок і мілкоподрібнений щебінь зі співвідношенням компонентів Цемент: Пісок: Щебінь = 1: 4: 2.

При нанесенні набризкбетонної суміші на стінки виробки, воду спочатку подають до сопла, яким закінчується матеріальний шланг, але через велику вологість піску (понад 20%) в шлангу можуть виникати пробки і суміш може зависати в машині. Тому при використанні сухого способу нанесення набризкбетону пісок не повинен бути вологим, інакше установка для набризкбетонування ефективно працювати не буде [60, 61].

Також має місце досвід застосування безщебеночних набризкбетонів. В роботі [62] використовували сульфатостійкий портландцемент М 400, піски з $M_{кр} = 1,1$ і $M_{кр} = 3,42$; в якості хімічних добавок застосовувалися хлористий кальцій і сульфітно-дріжджова бражка (СДБ). Результати представлені в таблиці 1.5.

Таблица 1.5

Властивості безщебеночного набризкбетону

Склад (Цемент : Заповнювач)	В/Ц	Розплив, см	Добавка, у % від маси цементу	Дрібний заповнювач		Межа міцності на стиск, МПа			
				$M_{кр} = 1,1$	$M_{кр} = 3,42$	1 діб	3 діб	7 діб	28 діб
1 : 2,5	0,48	9,4	2 % CaCl ₂ + 0,25% СДБ	-	100	7,0	11,0	17,5	23,7
1 : 2,5	0,58	9,8		30	70	-	13,5	20,8	25,9
1 : 3	0,52	8,3		-	100	5,2	10,1	14,0	18,2
1 : 3	0,6	8		30	70	5,5	12,0	16,2	23,3

Для промислового впровадження було рекомендовано бетон, міцність якого у віці 28 діб склала 23,3 МПа. Досвідом застосування набризкбетонного кріплення було встановлено доцільність використання покриття товщиною не більше 3...5 см. Застосування в таких випадках крупного заповнювача (25...30 мм) небажано через великі втрати набризкбетону у вигляді відскоку, а також через збільшення шорсткості одержуваної поверхні набризкбетону. Найбільш раціональна крупність заповнювачів повинна бути не більше 10...15 мм. Однак якщо наносити набризкбетонне покриття в два прийоми, то має сенс нанести першим шар дрібнозернистого бетону, а другим шар бетону з більшою фракцією або із введенням армуючих компонентів – різних видів фібри.

Нанесення фибробетону (суміш цементу, піску, дрібного щебеню або гравію і води зі сталевими або полімерними волокнами діаметром 0,4...0,8 мм і довжиною до 50 мм) є не менш ефективним. Цей матеріал відрізняється підвищеною міцністю при вигині і розтягуванні, добре витримує ударні навантаження. Фібра може мати різні властивості і конфігурацію. Доведено, що чим довше волокно, тим міцніше покриття.

Однак при перевищенні 50 мм спостерігається згортання відрізків в клубки. Фібру можна додавати або в готову суміш, або вводити в сопло торкрет-пушки. Фібра запобігає руйнуванню набризкбетону навіть при значних деформаціях і підвищує його міцність в 1,5...2 рази. Додаток фібри становить від 0,5 до 8% від об'єму бетону.

Для запобігання відскоку фібри спочатку наносять шар (до 4 мм) без неї, а потім фибробетон при оптимальному куті вильоту струменя і відстані між соплом і поверхнею. Однак собівартість фибробетону в 1,5 - 2 рази вище, ніж звичайного набризкбетону [63, 64].

1.4. Досвід використання відходів промисловості для приготування твердіючих сумішей

З метою зменшення витрат на сировинні матеріали для приготування твердіючих сумішей в якості компонентів часто використовують різні відходи промисловості. На шахтах Донбасу має місце досвід використання відходів металургійного виробництва – доменних шлаків, відходів енергетичної галузі промисловості – зол і золошлакових відходів ТЕС, а також відходів хімічної галузі промисловості – фосфогіпсової в'язучої речовини і т.п.

Ці відходи не є дорогою і дефіцитною сировиною, тому єдиною вимогою, яка пред'являється до них, є їх придатність до використання для приготування твердіючих сумішей з точки зору екологічної безпеки, а також можливість отримання на їх основі матеріалу, що володіє задовільними технологічними та фізико-механічними характеристиками.

З усіх можливих відходів промисловості найбільш широке використання отримали гранульовані доменні шлаки, так як вони є гідравлічно активними речовинами. На їх основі можливе приготування безцементних твердіючих сумішей, які використовують, як при кріпленні капітальних виробок вугільних шахт, так і для заповнення підземних пустот при ліквідації шахт, що закриваються, з метою мінімізації провалів земної поверхні в гірничодобувних регіонах [65, 66].

Гранульований шлак, розмелений до питомої поверхні 2400...3000 см²/г, застосовується в якості в'язучої речовини. Однак тонкомолотий шлак взаємодіє з водою дуже слабо, набираючи міцність в перші три доби твердіння 1...3 кгс/см² і до 28 діб – до 40 кгс/см². Тільки при впливі лугів на склоподібну фазу граншлака відбувається їх розчинення та утворення гелю кремнекислоти, в результаті чого виходять стійкі кристалічні новоутворення у вигляді низькоосновних гідросилікатів кальцію і складних натрієво-кальцієвих гідросилікатів. Ці новоутворення, які мають властивості колоїдних частинок,

надалі зростають, пронизують гелювидну масу, і зв'язують в каменеподібне тіло наповнювачі, забезпечуючи високу міцність і стійкість матеріалу [67].

Як солі лужних металів можна застосовувати розчинні силікати, лужні карбонати, їдкі луги, сульфіти і т.д. у вигляді технічних продуктів або відходів виробництва, які їх містять. Найбільш доцільно використовувати для цих цілей сполуки натрію і калію, так як вони мають високу реакційну здатність і є найбільш поширеними у природі.

Міцність шлаколужного бетону багато в чому залежить від виду лужного компонента і його процентного вмісту. Чим вище щільність водного розчину лужного компонента, тим вище міцність бетону, тому, залежно від ступеня вологості заповнювача (піску, щебеню, гравію), необхідно змінювати розрахункову густину води зачнення. Вона повинна бути такою, щоб при змішуванні з вологою заповнювача вийшла контрольна густина, тобто як для абсолютно сухих наповнювачів. При цьому витрата лужного компонента для замішування суміші відповідно зменшується на об'єм води, яка міститься в заповнювачі.

З метою хімічної активації доменного гранульованого шлаку часто застосовують добавку рідкого скла. На основі шлакосилікатної в'язучої речовини і дрібного заповнювача (пісок, відходи гірничо-збагачувальних комбінатів і гранітний відсів) Є.Г. Івановим [68] були досліджені різні співвідношення компонентів (питома поверхня шлаку $S = 2200 \text{ см}^2/\text{г}$, силікатний модуль рідкого скла – 3..2,7).

Однак при зберіганні шлаку більше двох місяців терміни схоплювання в'язучої речовини збільшуються в зв'язку з утворенням карбонатної плівки на поверхні частинок, що перешкоджає активній взаємодії з рідким склом. У цьому випадку доцільно вводити добавку 2% полуводного гіпсу або цементу не нижче марки 200. Шлакосилікатний набризкбетон добре наноситься на суху, зволожену поверхню, а також на поверхню, що омивається водою, через 7...15 хв. набуває міцності на стиск 4...5 кгс/см².

При приготуванні твердіючих сумішей доменні шлаки можуть використовуватися не тільки в якості в'язучої речовини, але і в якості наповнювачів. Дослідженнями А.П. Максимова [69] встановлено, що міцність шлакобетону залежить від об'ємної маси наповнювачів та міцності шлакового зерна. Необхідної міцності шлакобетону для кріплення гірничих виробок можна досягти тільки при використанні гранульованих шлаків з об'ємною масою не нижче 900 кг/м³ і шлакової пемзи з об'ємною масою не нижче 800 кг/м³.

Шлакобетонні суміші мають підвищений вміст води, так як шлакові наповнювачі мають досить розвинену поверхню і мають здатність відсмоктувати воду з цементного тіста. Найбільшою міцністю (300 кгс/см²) і найменшою пористістю (8...12%) мають зразки з речовинами Цемент : Граншлак : Шлакова пемза = 1 : 2 : 1 і Цемент : Граншлак : Шлакова пемза = 1 : 2 : 1 + 3% тонкомолотого спеку глиноземних заводів з В/Ц = 0,6. Отриманий шлакобетон має об'ємну масу 2000...2200 кг/м³.

Умовам тривалого транспортування без помітного зниження рухливості бетонної суміші задовольняють бетонні суміші на основі меленого доменного гранульованого шлаку з додаванням меленої силікат-брили і хлористого кальцію. У дослідженнях А.П. Максимова, Г.В. Лебедевої [70] силікат-брила застосовувалася содово-сульфатна з модулем 3...2,7, подрібнена до питомої поверхні 7000 см²/г. Можна також застосовувати силікат-брилу з силікатним модулем 3 і нижче (содово-сульфатну). Водний розчин хлористого кальцію мав густину 1,34 • 10³ кг/м³.

В результаті досліджень [71] був підібраний наступний склад бетону на 1 м³ (в кг): шлаку – 572; силікат-брили – 8,3; хлористого кальцію – 12,4; піску – 550; щебеню – 940; води – 210. набризкбетон такого складу через 28 діб мав міцність на стиск 200 кгс/см², осадку конуса після приготування 15 см і через 4 години – 5 см. Середня густина свіжо приготованої суміші – 2360 кг/м³.

Не менш поширеним компонентом для твердіючих сумішей, що використовуються при кріпленні виробок вугільних шахт, є зола-виносу ТЕС. Зола-виносу надає розчинові легкоукладальність, хорошу зв'язність, незважаючи на велику площу питомої поверхні, має малу водопотребу, і характеризується гідравлічною активністю. Розчини на її основі мають невелику усадочну деформацію і низьке виділення тепла у процесі твердіння, що знижує небезпеку виникнення в масиві закладки тріщин. Міцність на стиск через 1 добу складу Цемент : Зола : Граншлак = 1 : 2 : 4 склала 16 кгс/см², складу Цемент : Зола : Граншлак = 1 : 12 : 24 – 3 кгс/см².

Також існує досвід застосування штучного ангідриту і фосфогіпсу для приготування твердіючих сумішей як для тампонажних, так і для набризкбетонних. Ангідридні і фосфогіпсові в'язучі речовини є білим порошком з об'ємною масою у насипному стані 1,18...1,2 т/м³, у затверділому стані – 1,62...1,66 т/м³.

Штучний ангідрит (CaSO₄) – це безводна модифікація природного гіпсу. Ангідрит у звичайних умовах практично інертний до води, однак при додаванні речовин, що містять загальний іон з сульфатом кальцію, ангідрит набуває здатності гідратуватися. Як активатори для ангідриту можуть застосовуватися алюмокалієві квасці, сульфати калію, натрію, заліза.

Фосфогіпс за своєю природою близький до штучних ангідритів, але його в'язучі властивості задаються заводською переробкою фосфогіпсової сировини. Фосфогіпс – це реакційноздатний напівгідрат сульфату кальцію (CaSO₄•0,5H₂O). У складі фосфогіпсу переважає SO₃ (36...48%) і CaO (28...32%), в невеликих кількостях містяться P₂O₅, MgO, SiO₂, луки і фтор. Собівартість в'язучої речовини з фосфогіпсу на 25...30% менше, ніж з природного гіпсу. Терміни схоплювання і твердіння залежать від водотвердого співвідношення і складають при В/Т = 0,35 – 12...15хв.; 0,4 – 13...18 хв.; 0,5 – 13...20 хв. і 1 – 39...55 хв. Однак час протягом якого зачинений фосфогіпс піддається транспортуванню насосами ще менше.

У роботах [71-74] було встановлено, що додавання у розчин триполіфосфату натрію Na₃PO₄ дозволяє сповільнити терміни схоплювання і твердіння суміші до 40...60 хв. При цьому встановлено, що можливе

використання піску в якості інертного заповнювача в об'ємному співвідношенні не більше 1 по відношенню до фосфогіпсу, при В/Т, що не перевищує 0,25. В такому випадку міцність матеріалу в віці 3 діб становить 7,2 МПа, у віці 28 діб – 16 МПа. При більшому В/Т і вмістові піску міцність матеріалу різко падає. Так, при співвідношенні компонентів Фосфогіпс : Пісок : Вода = 1 : 1 : 1 кінцева міцність матеріалу складає 2,4 МПа, а при Фосфогіпс : Пісок : Вода = 1 : 3 : 1 – всього 0,7 МПа.

Ангідрит і фосфогіпс не можна застосовувати в обводнених виробках. При вологості навколишнього середовища 90...100% міцність матеріалу падає до 10 МПа при В/Т = 0,35 і до 1,3 МПа при В/Т = 1. Для підвищення стійкості гіпсових в'язучих (гіпс, ангідрит, фосфогіпс) застосовують комбінацію гіпсового в'язучого з високою міцністю і гранульованого доменного шлаку [75, 76].

Слід зазначити ряд переваг ангідриту і фосфогіпсу перед традиційним складом набризкбетону: швидкість схоплення і твердіння матеріалу, яка виключає його опливання; значне зменшення відскоку і створення гладкого покриття; склад суміші не дозується; виробка після нанесення покриття не потребує побілки.

Однак замазування щілин в затяжці ангідритним і фосфогіпсовим в'язучими вручну не завжди є ефективним так як матеріал в місцях штукатурки розмивається фільтрується водою при подальшому нагнітанні суміші за кріплення. Однак пікотаж щілин фосфогіпсом під час нагнітання розчину в місцях протікання значно ефективніше, ніж цементом, так як його схоплення відбувається за 1 - 2 хв.

ВИСНОВКИ:

1. В Україні існує необхідність утилізації відвальних порід – відходів видобутку кам'яного вугілля, так як ці відходи створюють серйозну екологічну загрозу для навколишнього середовища.

2. При зведенні гірничих кріплень для приготування твердіючих сумішей використовують традиційні природні наповнювачі в кількості до 85% від маси сухої суміші, застосування яких в технологічному циклі вимагає витрат на їх закупівлю і доставку як від видобувного кар'єру до шахти, так і на їх спуск безпосередньо до місця проведення робіт.

3. Впровадження технології подрібнення вуглевміщуючих порід в підземних умовах для приготування твердіючих сумішей дозволить розвантажити підйом ствола і транспортну систему шахти, а також знизить собівартість робіт зі зведення та ремонту гірничих кріплень.

РОЗДІЛ 2

СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВУГЛЕМІЩУЮЧИХ ПОРІД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

2.1. Стан гірничих виробок шахти ім. Героїв Космосу ПАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля»

Для оцінки стану гірничих виробок шахти ім. Героїв Космосу та визначення можливих напрямків використання пустих порід при кріпленні і підтримці капітальних магістралей був проведений комплекс досліджень, що включає візуальне обстеження протяжних виробок і ділянок ремонту та перекріплення, аналіз причин деформацій і руйнувань кріплення і способів їх зниження.

В ході обстеження комплексу магістральних виробок гор. 350 і гор. 370 м шахти ім. Героїв Космосу істотних проблем зі стійкістю виробок і станом кріплення не виявлено. Виробки закріплені кріпленням профілю СВП 22, СВП-27. Кріплення – в основному КШПУ, на окремих ділянках застосовувалася КШПУ зі зворотним сводом або кільцева. Типи замків кріплення: «пряма планка» М-24, ЗПК з хомутом М-24, ЗПКм – «Донбасскрепь». Прогин порід при моніторингу не зафіксований. Кількість замків кріплення відповідає вимогам. На більшій протяжності обстежених ділянок проведено тампонаж закріпного простору.

На ділянках перекріплення висота зміщення покрівлі досягала 1...1,5 метра, зміщення боків 0,5...1,0 м. Зміщення порід відбувається з вигином до центру виробки, в деяких випадках зазначалося збереження паралельності шарів у покрівлі і боках, в інших – утворення «клинів» (рис. 2.1, 2.2).

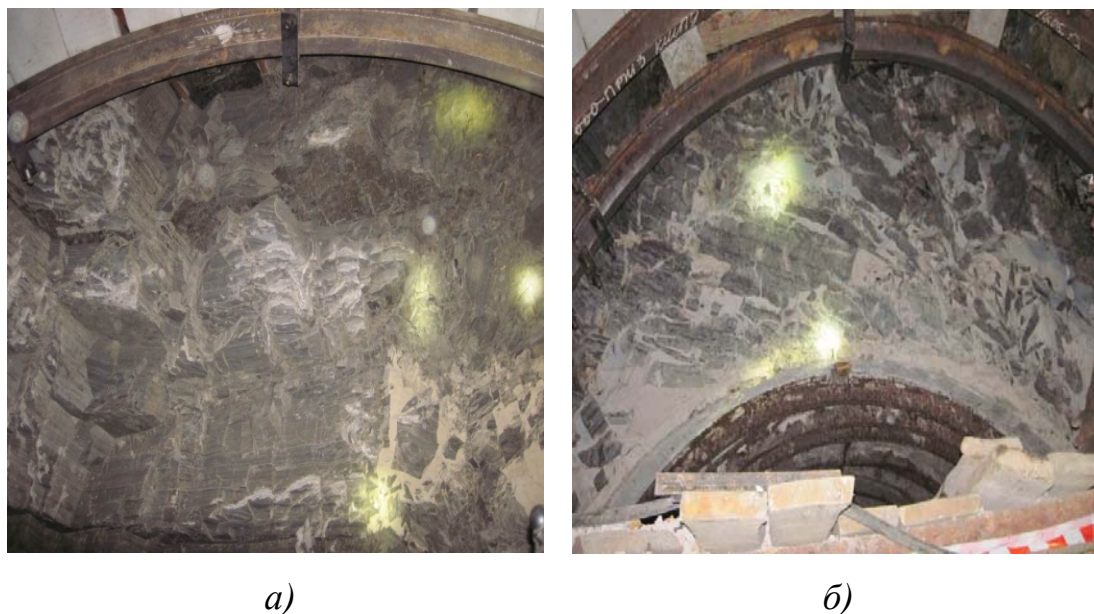


Рис. 2.1. Видавлювання порід покрівлі виробки

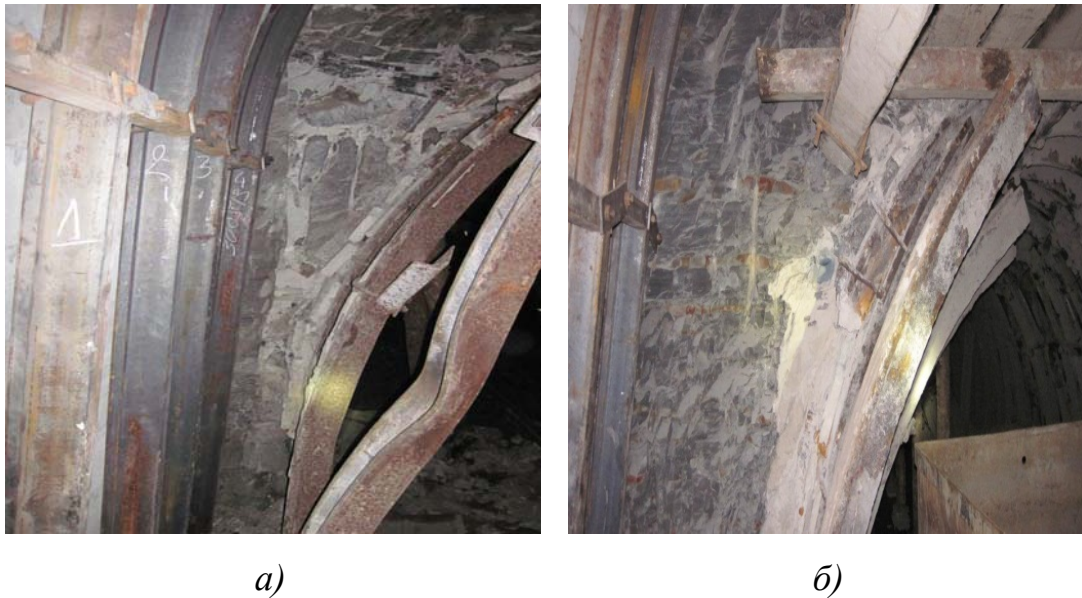


Рис. 2.2. Видавлювання порід у боках виробки

Ступінь розшаровування приконтурного масиву порід видно по більш світлому кольору тампонажного розчину, який проник у тріщини, які утворилися після проведення виробки. Глибина проникнення тампонажного розчину у тріщини досягає в окремих випадках 1 м, а зона затампованих порід охоплює весь периметр виробки, що говорить про відставання тампонажу від забою при спорудженні виробки і виникненні надмірного навантаження на металеве кріплення. Така ситуація призводить до того, що кріплення працює на межі своєї несучої здатності і при появі додаткового навантаження, наприклад при підробці/надробці, деформується і вимагає проведення робіт з ремонту або перекріплення.

Велике відставання тампонажу від забою виробки пов'язано, в першу чергу, з великою трудомісткістю і низькою продуктивністю робіт з ручного пікотажу щілин. Слід зазначити при цьому високу якість пікотажу, як боків, так і покрівлі виробки (рис. 2.3).

Висока трудомісткість, низька продуктивність ручного пікотажу призводить до того, що проведення тампонажу виробки проводиться з відставанням від забою, яке в окремих випадках (північний конвеєрний ухил гор. 370 м, північний відкаточний квершлаг гор. 470 м.) досягає 300 ... 400 м.

Тим часом, активні зміщення приконтурних порід, навантаження на кріплення, деформація і поломка залізобетонної зтяжки відбувається вже на відстані 15...20 м від вибою (рис. 2.4). Зважаючи на це, при проведенні робіт з пікотажу щілин безпосередньо перед закачуванням тампонажного розчину, доводиться робити заміну зруйнованої залізобетонної зтяжки, випускати породу, замазувати тріщини, що утворилися у зтяжці, що додатково збільшує час і трудомісткість ручної чеканки швів (рис. 2.5).



а)



б)

Рис. 2.3. Якість ручної чеканки стін виробки

Загальні висновки по обстеженню виробок шахти ім. Героїв Космосу:

Для магістральних виробок характерні порушення:

- рівномірне стиснення;
- «виположування» верхняка, внаслідок чого трапляються пориви нижніх замкових з'єднань;
- вивали порід покрівлі.



а)



б)

Рис. 2.4. Поломка залізобетонної затяжки

Переважаючі види деформування перерізу і кріплення виробки:

- зменшення перерізу виробки у горизонтальному напрямку;
- зменшення перерізу виробки у вертикальному напрямку;
- вдавнення кріплення у ґрунт;
- здимання підшви;

- руйнування затяжки виробки;
- деформування стійок кріплення.



а)

б)

Рис. 2.5. Чеканка стін виробки з деформованою затяжкою

Найбільш інтенсивні деформації приконтурних порід спостерігаються у покрівлі і підшві виробки і проявляються у вигляді прогину порід у виробку зі зминанням і зрушенням шарів. Найбільш деформований верхняк кріплення. Практично на всьому протязі магістральних виробок відзначається вплив відпрацьованих лав, незважаючи на залишені цілики. Внаслідок відпрацювання запасів в напрямку від ствола, залишається актуальною проблема підтримки магістральних виробок, що підтверджується постійною необхідністю перекріплення діючих виробок.

Виробки шахти ім. Героїв Космосу ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» підтримуються в задовільному стані завдяки різного ступеня інтенсивності робіт по забезпеченню їх стійкості в залежності від основних гірничо-геологічних факторів – глибини розташування виробки, міцності порід і обводнення.

Вплив гірського тиску в достатній мірі компенсується кріпленням, встановленим відповідно до паспорта кріплення без порушення технології кріплення. Перерахованими вище факторами зумовлений різний ступінь деформацій гірських порід і кріплення. За час експлуатації багато з обстежених магістральних виробок були перекреплені через втрату перерізу і незадовільного стану кріплення.

Основний вид деформації порід в магістральних виробках – здимання порід підшви різної інтенсивності в залежності від зазначених вище гірничо-геологічних факторів. Здимання порід є причиною зменшення перерізу виробки до незадовільного стану, порушення рейкового шляху. На значних ділянках виробок виконується підбивка ґрунту комбайном.

Найбільший ступінь деформацій кріплення має місце в зонах впливу суміжних капітальних, підготовчих і очисних виробок. Відзначено деформації верхняків кріплення, а також деформації в горизонтальному напрямку – прогин

ніжок, руйнування зтяжки і т.д. Часто простежується занурення ніжок стійок кріплення у ґрунт (ефект «гармошки» зтяжки).

Величина вертикальної конвергенції в складних гірничо-геологічних умовах досягає 1...1,5 метра. Мають місце прогини порід у виробку зі зминанням і надвигом шарів, а також вивали порід покрівлі висотою до 1 м. Характерним є «виположування» верхняка, внаслідок чого виявляються пориви нижніх замкових з'єднань утворення характерних «ротів» без помітного прослизання елементів кріплення.

Результати обстеження корелюють з даними про обсяги ремонтів, виконуваних на шахтах. На шахтах зі складними гірничо-геологічними умовами підривка ґрунту і перекріплення магістральних виробок є основними видами ремонтних робіт. Так, наприклад для шахти ім. Героїв Космосу перекріплення складало 89% всіх ремонтних робіт для магістральних виробок, а підривка – 11%.

Комплексні дослідження (візуальне обстеження, інструментальні вимірювання) в капітальних і основних підготовчих виробках: північному конвеєрному ухилі гор. 370 м, північному конвеєрному квершлягу гор. 470 м, 2-му західному магістральному відкаточному штреку гор. 370 м дозволили встановити, що зона найбільш активних зрушень масиву гірських порід знаходиться в межах 15...30 м від вибою виробки. Деформації і поломка залізобетонної зтяжки призводять вже на стадії проведення виробки до необхідності виконання ремонтних робіт, збільшує трудомісткість пікотажних і тампонажних робіт.

Формування навколо виробок значних за обсягом деформованих породних структур обумовлено неякісним заповненням закріпного простору і відсутністю розклинювання кріплення між породним контуром, а також несвоєчасним виконанням тампонажних робіт (великим відставанням від вибою виробки).

Крім цього слід зазначити ще один недолік рамного металевих кріплення, що робить істотний вплив на його працездатність і, в кінцевому рахунку, на стан виробки в цілому.

В даний час в якості несучої конструкції на шахтах Західного Донбасу в основному застосовується кріплення КШПУ-17.7 зі зворотним сводом, що встановлюється, як правило, з кроком 0,5 м (в найбільш складних умовах, наприклад, в зоні геологічних порушень – через 0,33 м). Зтяжка кріплення – плоска залізобетонна, яка, після проведення пікотажних робіт, виконує функції опалубки при виконанні тампонажних робіт. Тампонаж закріпного простору при спорудженні капітальних і основних підготовчих виробок в складних геомеханічних умовах глибоких шахт Західного Донбасу є обов'язковим.

Залізобетонна зтяжка як несучий елемент в конструкції кріплення, є малоефективною, оскільки має низьку несучу здатність, ресурсомісткість, в технологічному плані має цілу низку недоліків – багатоелементна, трудомістка в установці, формує велику кількість стиків після укладання на профіль кріплення.

Встановлені у виробці рами металевого кріплення з залізобетонною затяжкою не перешкоджають розшаруванню і обваленню приконтурного масиву. Більше того, технологія установки залізобетонної затяжки передбачає наявність деякого простору за кріпленням, що у подальшому провокує безперешкодне відшаровування приконтурного масиву, обвалення покрівлі.

Необхідна в цьому випадку ретельна заготовка закріпного простору, як правило, не виконується, оскільки представляє трудомістку, немеханізовану операцію. У зв'язку з цим, перспективним і ефективним рішенням в удосконаленні конструкції металевого рамного кріплення, є заміна традиційної залізобетонної затяжки шаром набризкбетону, що укладається на металеву сітчасту затяжку.

Ефективне виконання тампонажу виробок, а також впровадження набризкбетонної технології замість залізобетонної затяжки, можливо тільки при своєчасній доставці великого об'єму матеріалів для приготування твердіючих сумішей: цементу, піску, щебеню. Однак продуктивність підйому по стволу і транспорту по горизонтальних виробках не забезпечують безперебійну поставку цих компонентів. Використання пустої породи, що залишається в шахті, для приготування твердіючих сумішей дозволить вирішити і цю проблему.

2.2. Оцінка придатності вуглевміщуючих порід Західного Донбасу для приготування твердіючих сумішей на їх основі

Вміщуючі породи Західного Донбасу представлені аргілітами - 32,8%; алевролітами - 43,5%; пісковиками - 20% і вапняками - 0,4%. Аргіліти і алевроліти відносяться до категорії дуже нестійких і нестійких порід. Пісковики мають потужність від 5 до 50 м і містять статичні запаси води. Аналіз масового визначення фізичних властивостей вуглевміщуючих порід показав, що їх питома вага знаходиться в межах 2,25...2,85 г / см³, пористість становить 5...27% [76, 77].

На стійкість виробок Західного Донбасу дуже несприятливо впливає зволоження порід. Навіть на невеликих глибинах ведення гірських робіт (140 ...200 м) у виробках, де є водоприток, збільшується інтенсивність прояву гірського тиску, спостерігається руйнування замків, деформація елементів кріплення і затяжки, зміщення ніжок кріплення у виробку. Основна причина цього – розущільнення порід при зволоженні (міцність знижується в 5...8 разів) і, як наслідок, розвиток вивалоутворення з покрівлі і здимання підшви виробок [78].

Комплекс наукових досліджень, описаний в даній роботі, був виконаний для умов шахти ім. Героїв Космосу ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» як для промислового об'єкта зі складними гірничо-геологічними умовами та великими глибинами розробки (до 470 м, а в перспективі до 700 м) з метою мінімізації витрат на зведення кріплень гірничих виробок та їх ремонт.

Промислова вугленосність шахти ім. Героїв Космосу приурочена до Самарської свити – C_1^3 верхневізейського ярусу, укладеної між маркованими вапняками C_1 і D_1 . Свита представлена товщею аргілітів, алевролітів, рідше пісковиків, які перешаровуються, та включає в себе 48 пластів і прошарків кам'яного вугілля потужністю від 0,05 до 1,25 м. Промислове значення мають 7 вугільних пластів: C_{11} , C_{10}^B , C_9 , C_8^H , C_7^H , C_5 , C_1 . У даний час розробляються пласти C_{11} , C_{10}^C , C_9 , характеристика яких наведена в табл. 2.1.

Для підготовки нових горизонтів і очисних вибоїв проводяться капітальні та підготовчі виробки, площа поперечних перерізів і тип кріплень наведені в табл. 2.1. Обрушена порода від проведення виробок видається на поверхню і вивозиться у відвали.

З метою зменшення кількості відвальних порід А.В. Безазьяном, Т.А. Павліченко та Т.І. Чередниченко були проведені дослідження щодо можливості використання відвальних порід Західного Донбасу в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів.

У лабораторних і напівзаводських умовах були відібрані середні (змішані) проби з породних відвалів п'яти шахт Західного Донбасу. При цьому пісковики в змішаних пробах (міцністю 12...30 МПа) були представлені літологічними різницями на глинисто-слюдиному, рідше кремнисто-глинистому цементі. Органічні домішки присутні у вигляді включень мінералізованого або чистого вугілля. Відомості роботи [79] про фізико-механічні властивості і хімічний склад порід наведено в табл. 2.2 і 2.3.

Лабораторні дослідження середніх проб з породних відвалів показали, що за мінералогічним складом і технологічним властивостям шахтні породи дуже близькі до глин. Суміш аргілітів і алевролітів – це помірно пластична, середньодисперсна, малочутлива до сушіння сировина, зольність якої становить 80...90%. Природна мінливість речовинного складу порід допустима і не має істотного впливу на якість матеріалів, виготовлених на основі вуглевміщуючих порід.

Ю.М. Халимендик і Р.А. Южакова дослідили можливість використання вуглевміщуючих порід Західного Донбасу в якості сировинного компонента для приготування породобетонних сумішей при зведенні шахтних конструкцій на шахті «Західнодонбаський» ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Як матеріал для сумішей використовувався аргіліт з межею міцності на одноосьовий стиск $R_{сж} = 15$ МПа.

Результати досліджень [80] щодо хімічного складу порід в цілому збігаються з даними, отриманими Київським НДІБМВ [79]. Відзначається, що до складу аргілітів входять хімічні сполуки, які мають властивості в'язучої речовини, наприклад, гіпс, портландіт і ін. Порода подрібнювалася на щоківній дробарці з зазором 10 мм. Деякі фракції були об'єднані і в подальшому використовувалися такі: 0...3, 3...7 і 7 мм, які становили 26, 37 і 37% від кількості подрібненого матеріалу відповідно.

Таблиця 2.1

Гірничо-геологічні і гірничотехнічні ситуації по шахті ім. Героїв Космосу ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

№	Індекс пласта	Потужність (переважаюча) вугільних пластів, м	Глибина ведення робіт (середня), м	Характеристика вміщуючих порід		Переріз капітальних / магістральних виробок, м ²
				Кровля пласта	Підшва пласта	
1	С11 Відносно витриманий. Складної 3-х пачечної будови	Блок 1 06-0,9 (0,75) Блок 2 забалансовий (0,2-0,55) Блок 3 0,6-0,95 (0,8-1,0) Блок 3а 0,6-1,15 (0,9-1,0)	105-760	Алевроліт (48%) Аргіліт (30%) нестійкий, R _{сж} =11-14МПа Піщаник (22%) малостійкий R _{сж} =17-42МПа	Алевроліт (70%) Аргіліт (29%) дуже нестійкий, R _{сж} =11-12МПа Піщаник (1%)	14,4-23,8 КШПУ-14,4 КШПУ-17,7 КШПУ-14,4 (+звор. звід) КШПУ-20,2 КМК-4-15,9 КМК-4-23,8
2	С10В Переважно складної 2-х пачечної будови	Блок 1 09-1,25(0,95) Блок 2 0,9-1,0 забалансовий (045-0,55) Блок 3 0,8-1,0		Алевроліт (75%) Аргіліт (21,5%) нестійкий, R _{сж} =4-24МПа Аргіліт.(0,5%) Піщаник(3%) Малостійкий R _{сж} =9-19МПа	Алевроліт (55%) Аргіліт (44%) вельми нестійкий, R _{сж} =13-15МПа Піщаник (1%)	
3	С9 Відносно витриманий.	Блок 1 09-1,1 Блок 2 0,9-1,0 забалансовий (045-0,55) Блок 3, 3а 0,9-1,0		Алевроліт (50%) нестійкий, R _{сж} =3-28МПа Аргіліт (35%) нестійкий, Аргіліт уг.(5%) Піщаник (10%) малостійкий R _{сж} =8-29МПа R _{сж} (линз)≤102 МПа	Аргіліт вельми нестійкий, R _{сж} =1,5-28МПа Піщаник (1%)	

Таблиця 2.2

Хімічний склад порід шахт Західного Донбасу

Шахти	Втрати при проколюванні, %	Хімічний склад змішаних проб (валова шихта), %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	R ₂ O	Всього
Дніпровська	9,42	60,20	16,2	7,06	0,96	0,78	1,75	0,63	0,55	2,40	99,95
Тернівська	15,88	56,56	15,1	5,83	0,84	0,74	1,62	0,68	0,53	2,23	100
Самарська	7,7	63,61	15,6	6,20	0,85	0,60	1,66	0,70	0,80	2,30	100
Павлоградська	12,8	53,08	19,8	7,90	0,80	0,64	1,75	0,53	0,27	2,59	100
Західно-донбаська	18,3	50,23	17,6	7,36	0,76	0,65	2,03	0,43	0,40	2,24	100

Таблиця 2.3

Фізико-механічні властивості порід шахт Західного Донбасу

Углевміщаючі породи	Речовий склад порід, %		Модуль пружності E, 10 ² МПа	Предел прочності при сжатті, МПа	
	Глиниста речовина	Кластеричний матеріал		у сухому стані	у водонасиченому
Аргіліт	90-98	2-10	7-15	4-11	1,4-2,8
Аргіліт піщанистий	85-95	5-15	10-40	8-16	2-6
Аргіліт алевритистий	75-80	20-25	30-75	12-20	4-10
Аргіліт піщаний	70-75	25-30	70-90	18-27	9-12
Аргіліт алевролітовий	65-75	25-35	65-100	22-30	10-17
Алевроліт	60-70	30-40	80-130	26-37	12-22

Слід зазначити, що результати випробувань [80] з визначення межі міцності зразків породобетону, які наведені у статті, викликають сумнів, оскільки отримані значення - $R_{сж} = 26,8...28,1$ МПа для суміші співвідношення Цемент: Порода = 1: 3 істотно перевищують міцність заповнювача – аргіліту, з межею міцності на стиск $R_{сж} = 15$ МПа. Проте, автори відзначають позитивні результати шахтних випробувань матеріалу на основі шахтної породи при зведенні вентиляційних перемичок. Як доцільною областю застосування рекомендується застосування породобетону в умовах, де не потрібна висока несуча здатність конструкцій. Зокрема, для виготовлення затяжок кріплення, блоків, вентиляційних перемичок і тампонажних розчинів.

Класифікація осадових порід, придатних для застосування в тампонажних розчинах на основі дисперсних суспензій

Число пластичності	Група осадових порід	Порода	Переважаючий хімічний склад	Мінімальна густина суспензії, кг/м ³	Рекомендована область застосування
16...120	Глинисті	Глини монтмориллонітові, каолінітові, гідрослюдисті	Алюмосилікати	1020 – 1200	Тампонаж тонкотріщинуватих та тріщинуватих порід
13	Глинисті	Аргіліти	Алюмосилікати	1260	Тампонаж тріщинуватих порід
9	Карбонатно-глинисті	Мергелі	Алюмосилікати, карбонати кальцію та магнію	1380	Тампонаж тріщинуватих порід та крупних розломів
5,9	Карбонатні	Доломіти	Карбонати кальцію	1500	Заповнення карстових пустот, попередження просідання денної поверхні, закладка виробленого простору
3,4	Карбонатні	Кальцити	Карбонати кальцію	1750	

У дослідженнях Є.Г. Цапліна, виходячи з початкової міцності тампонажної суспензії, розглядається можливість застосування різних порід в якості матеріалу для твердуючої суміші. В роботі [81] було запропоновано класифікацію порід за ступенем придатності їх для тампонажних розчинів, яка представлена в таблиці 2.4.

Таким чином, породи містять алюмосилікати, карбонати кальцію і магнію, можуть застосовуватися в якості наповнювачів для твердіючих сумішей, які використовують для заповнення закріпного простору і зміцнення тріщинуватих масивів при спорудженні та підтримці гірських виробок.

2.3. Подрібнення вуглевміщуючих порід. Гранулометричний склад заповнювача для твердіючих сумішей і оцінка можливого виходу поліфракційного заповнювача в процесі подрібнення

Процес подрібнення порід може здійснюватися чотирма основними способами: роздавлювання, розколювання, стирання і удар. Наявність тріщинуватості зменшує опір кусків породи руйнуванню. Найбільший спротив порода чинить роздавлюванню, менший – вигиніві і найменший – розтягуванню. З міркувань конструктивного характеру найчастіше використовуються дробарки, які працюють на роздавлювання і удар при додаткових стираючих і згинаючих впливах на матеріал.

Для подрібнення порід застосовуються дробарки різної конструкції: щокові, конусні, валкові, ударні (роторні, молоткові і дезінтегратори) або барабанні. Основна подрібнювальна дія конусних дробарок – розчавлювання, але має місце і розлом шматків при вигині, який виникає, коли шматок затискається між увігнутою поверхнею чаші і опуклою поверхнею конуса. У валкових дробарок основна дія – це розчавлювання при обмеженому стиранні. У дробарках ударної дії матеріал руйнується ударом за рахунок кінетичної енергії рухомих тіл. Для попереднього подрібнення особливо придатні щокові дробарки, які при порівняно невеликих габаритах дозволяють приймати шматки породи розміром 600×900 мм при максимальному коефіцієнті міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова 10...12 [82].

Широке застосування отримали молоткові дробарки, які мають невеликі габаритні розміри і невисоку вартість. Ці дробарки нечутливі до сторонніх включень, дають матеріал кубічної форми. Основний принцип їх роботи полягає в тому, що матеріал захоплюється валками, які швидко обертаються в кожусі з ударними брусками і, відкидаючи його до пружних плит, матеріал подрібнюється. Таким чином, при подрібненні долається опір не на стиск, а на удар, що вимагає менших витрат енергії. При цьому зміною окружної швидкості обертання ротора і перестановкою оточуючих плит можна регулювати крупність шматків породи на виході.

Залежно від необхідної крупності подрібненого матеріалу дробильні комплекси можуть бути з одно- або двох стадійним подрібненням. Якщо найбільша крупність шматка в вихідному матеріалі не перевищує 500 мм, а продуктивність установки становить 70...100 т/год, то зазвичай обмежуються одностадійним подрібненням, для більших підготовчих комплексів застосовують дво- і навіть трьохстадійну схему подрібнення [83].

У відомих дробарках подрібнення порід проводиться за рахунок навантаження їх стисненням (валкові), ударом/розколюванням (молоткові), зламом між щоками (щокові), конусами, валками і іншими робочими органами дробарок. З відомостей про фізико-механічні властивості порід слідує, що руйнування стисненням вимагає в 10...12 разів більших зусиль, ніж на руйнування розтягуванням і в 3...5 разів – ніж на руйнування сколюванням і кручення, тобто в сучасних дробарках використовується найменш ефективний з точки зору енерговитрат спосіб впливу на подрібнюваність породи. Тому

зниження енерговитрат може бути досягнуто використанням дробарок з іншими видами навантаження порід, наприклад, використовують сколювання і кручення [84].

Також при підборі наповнювачів для твердіючих сумішей, що використовуються при кріпленні виробок вугільних шахт, слід звернути особливу увагу на відходи виробництва високоякісного щебеню з порід з високою міцністю. Основною проблемою виробництва щебеню з міцних гірських порід є утворення великого (понад 35%) об'єму фракції 0...5 мм, яка, по суті, є відходом виробництва і має специфічну назву – відсів, а також труднощі з будь-яким економічно обґрунтованим її використанням.

Крім того, в більшості дробильно-сортувальних підприємств будіндустрії додатково вивозиться у відвали кар'єрна дрібниця крупністю 0...20 мм, яка утворюється при вибуховій відбійці гірської маси і відсів перед первинним подрібненням. Ця операція є вимушеною, оскільки при попаданні в процесі переробки кар'єрної дрібниці, представленої переважно вологою глинистою різницею, істотно погіршуються технологічні показники подрібнення і просіювання, знижується продуктивність [85].

Гранітний відсів можна ефективно використовувати в процесі проведення набризкбетонних робіт при кріпленні магістральних виробок вугільних шахт для нанесення другого шару розчину, який повинен мати достатню міцність тоді, як перший шар буде заповнюючим, тобто досить пластичним для того, щоб відскок гранітного відсіву був мінімальний. Для нанесення першого шару ідеально підходять твердіючі суміші на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу (суміші аргілітів та алевролітів).

У даній роботі подрібнення здійснювалося на лабораторній шоковій дробарці в межах фракцій від «1,6 мм і менше» до «20 мм». Процес подрібнення виконувався в 3-4 підходи. До недоліків прийнятої шокової дробарки варто віднести одержувану в результаті подрібнення лещадну форму великих фракцій заповнювача (10...20 мм). У породах більш дрібних фракцій (5...10 мм і 1,6...5 мм) в меншій мірі виявилася лещадність подрібненого матеріалу.

В результаті аналізу наданої шахти ім. Героїв Космосу зразків гірських порід, які в результаті подрібнення повинні були стати сировиною для виробництва робіт по тампонажу, торкретування і набризкбетонуванню, було визначено, що порожня порода містить аргіліти або алевроліти в чистому вигляді, а також масові включення у вигляді переслаиваючихся порід обох типів.

Для даних різновидів і складів порід були проведені випробування по мірі їх подрібнення. Породи кілька разів піддавалися подрібнення, після чого отримана багатофракційне суміш була розділена на окремі фракції, і кожна з фракцій зважувалася. В результаті цього було визначено вихід різних фракцій для кожного з цих типів порід, який представлений в табл. 2.5.

З табл. 2.5 випливає, що більш міцний алевроліт в меншій мірі піддається подрібненню в процесі дроблення, в результаті чого кількість подрібненого матеріалу зростає зі збільшенням розміру фракцій. На відміну від алевроліту в

Аргілл спостерігається тенденція отримання в результаті дроблення більшої кількості найдрібнішої (1,6 - 5 мм) і найбільшої (10-20 мм) фракцій. Дана таблиця показує ступінь подрібнюваністю порід обох типів. Отримані дані можуть бути корисні для визначення виходу окремих фракцій в результаті подрібнення, коли у вихідній сировині буде превалювати той чи інший тип порід.

Таблиця 2.5

Вихід продуктів подрібнення по фракціям

Аргіліт			Алевроліт		
1,6 – 5 мм	5 – 10 мм	10 – 20 мм	1,6 – 5 мм	5 – 10 мм	10 – 20 мм
29,97 %	32,81 %	37,22 %	22,75 %	34,29 %	42,96 %

В реальних умовах часто зустрічається випадок, коли у вихідній сировині присутні обидва типи порід, або породи представлені пропластками аргілітів та алевролітів. Для цього випадку також були проведені дослідження і отримані результати, які представлені в табл. 2.6.

В результаті подрібнення не відсортованих порід і подальшого поділу отриманого матеріалу на фракції було відзначено значний вихід дрібної фракції породи (1,6...5 мм). Дана фракція найбільш придатна для приготування тампонажних розчинів.

Решта фракцій можуть бути використані для приготування твердіючих сумішей для торкретування і набризгбетонування. Беручи до уваги, що подрібнення відбувається в кілька етапів до отримання необхідного ступеня подрібнення, розділення отриманого подрібненого продукту на окремі фракції (1,6...5 мм; 5...10 мм і 10...20 мм) здійснюється на останній стадії подрібнення за допомогою грохотів .

Таблиця 2.6

Вихід продуктів подрібнення по фракціям

Ординарна суміш порід (аргілітів та алевролітів)		
1,6 – 5 мм	5 – 10 мм	10- 20 мм
38,42 %	28,33 %	33,25 %

Однак можливий варіант, коли на виході з першої стадії подрібнення виконується процес просівання, і кондиційний продукт відправляється в окремі вагонетки, а недоподрібнений матеріал відправляється стрічковим конвеєром на другу стадію подрібнення.

Аналіз форми окремих частинок великої фракції свідчить про те, що для робіт, пов'язаних з подрібненням порід на шахті найбільш доцільним є використання відцентрових, роторних і молоткових дробарок. На користь цього вибору говорять невеликі розміри даних видів дробарок, а також можливість отримання «щебеню» кубовидної форми.

Для подальшого проведення лабораторних робіт з використанням подрібнених порід як заповнювача спочатку було виконано розсівання

отриманого подрібненого продукту і вже після цього здійснювався підбір різних фракцій для отримання найбільш оптимального складу твердіючих сумішей.

Існує велика кількість рекомендацій щодо визначення оптимального зернового складу заповнювача. Одні вважають більш ефективним безперервний зерновий склад заповнювача, так як він більш економічний по витраті цементу, інші віддають перевагу переривчастим, що забезпечує меншу пустотність. Слід враховувати, що для отримання реальних переривчастих сумішей необхідно, щоб розміри сусідніх фракцій відрізнялися приблизно в 6 разів, що не завжди можливо на місці проведення робіт, і такі суміші схильні до розшарування при транспортуванні.

Для вибору безперервного складу заповнювача пропонується цілий ряд «ідеальних» кривих просіювання, запропонованих різними авторами (Фуллер, Боломей, Болдирєв, Александрін та ін.). Їх підбирають з умови, щоб кількість пустот в суміші і сумарна поверхня зерен потребували мінімальної витрати цементу для отримання певної рухливості і міцності бетону.

В цьому випадку виходять більш рухливі суміші при однаковій витраті цементу, менш схильні до розшарування [86, 87]. Відповідно до кривих, представлених на рис. 2.6, були розраховані рекомендовані склади заповнювача для набризкбетону і токрет-бетонних сумішей, які представлені в таблицях 2.7 і 2.8 відповідно. У випадку з токрет-бетоном кількість фракцій обмежувалося розміром 10 мм.

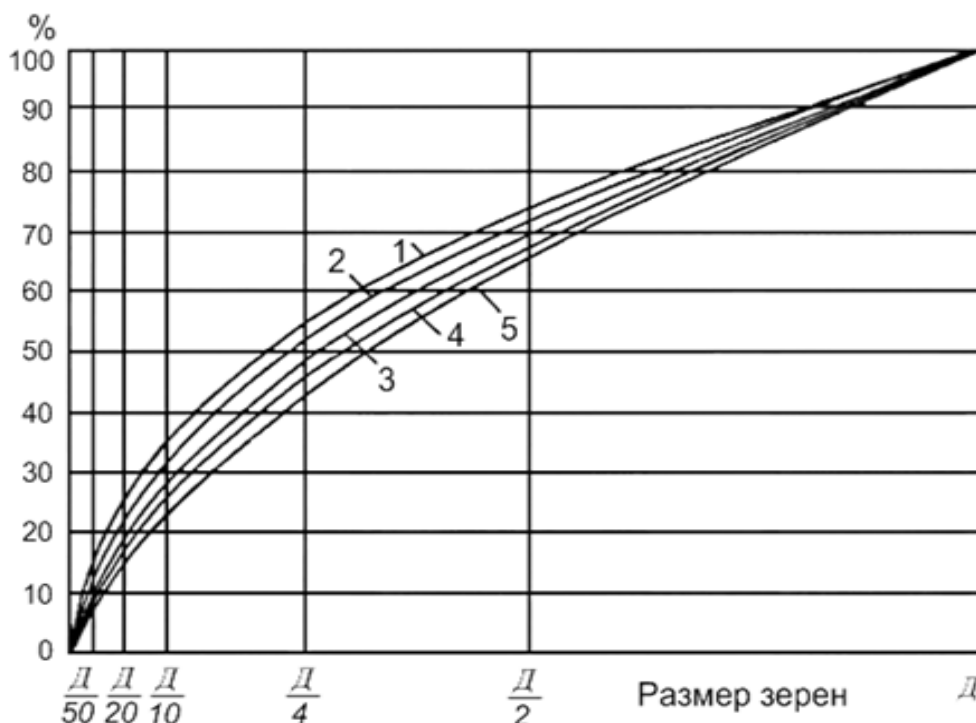


Рис. 2.6. Криві оптимального гранулометричного складу суміші піску і щебеню, по І.А. Александріну. Витрата цементу: 1 – 230 кг/м³; 2 – 270 кг/м³; 3 – 320 кг/м³; 4 – 400 кг/м³; 5 – 500 кг/м³

Таблиця 2.7

Рекомендований склад заповнювача для приготування набризкбетону

Тип заповнювача	Вміст фракцій заповнювача, %			
	менше 1,6 мм	1,6 – 5 мм	5 – 10 мм	більше 10 мм
мілкий	32	23	20	25
оптимальний	25	23	22	30
крупний	19	24	23	34

Таблиця 2.8

Рекомендований склад заповнювача для приготування торкрет-бетону

Тип заповнювача	Вміст фракцій заповнювача, %		
	менше 1,6 мм	1,6 – 5 мм	5 – 10 мм
мілкий	43	32	25
оптимальний	37	33	30
крупний	30	36	34

Відомо, що в результаті подрібнення виходить розсів фракцій, який є далеким від ідеального гранулометричного складу. Це не дозволяє отримати зразки з найбільш можливою міцністю. Щоб крива зернового складу по можливості наближалася до ідеальної кривої, при проведенні лабораторних досліджень здійснювався підбір фракцій відповідно до рекомендованих значень.

2.4. Властивості твердіючих сумішей

В рамках виконаних робіт був проведений комплекс лабораторних досліджень з метою визначення властивостей твердіючих сумішей на основі шахтних порід Західного Донбасу. При цьому було виконано розділення твердіючих сумішей на тампонажні, набризкбетонні і торкрет-бетонні в залежності від призначення.

На рис. 2.7 наведено класифікацію твердіючих сумішей на основі шахтних порід Західного Донбасу в залежності від їх призначення при кріпленні гірничих виробок вугільних шахт. Обґрунтування рецептур і подальша їх оптимізація проводилися з метою досягнення необхідних якісних показників твердіючих сумішей.

2.4.1. Тампонажні суміші

У процесі приготування і твердіння тампонажних матеріалів на основі цементної в'язучої речовини можна виділити два періоди, коли для матеріалу характерна наявність різних властивостей і станів – до схоплювання цементу і перетворення тампонажного матеріалу в тверде тіло – тампонажна суміш або

розчин, і період твердіння та експлуатації матеріалу, який має всі властивості твердого тіла.

Властивості свіжо приготованої тампонажної суміші називаються реологічними. До реологічних властивостей відносяться розплив (консистенція), густина і в'язкість розчину. З урахуванням реологічних властивостей тампонажних розчинів виконують розрахунок параметрів їх нагнітання і режимів руху в нагнітальних трубопроводах та породах, які тампонуєть.

Цементний камінь з високою міцністю можна отримати при введенні 20...25% води замішування (від маси цементу). Однак в'язкість таких сумішей настільки велика, що транспортування їх простір, який тампонується, неможливо. У зв'язку з цим при приготуванні тампонажних розчинів в їх склад доводиться вводити більшу кількість води замішування, ніж необхідно для процесу гідратації цементу.

Використовувалися такі методи досліджень:

1. Дослідження реологічних властивостей цементних розчинів виконували згідно ДСТУ Б В.2.7 – 239:2010. Розчини будівельні. Методи випробувань.

2. Характеристики міцності були визначені відповідно до ДСТУ Б В.2.7 – 214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

3. Характеристики міцності готового каменю неруйнівним методом контролю визначали згідно ДСТУ Б В.2.7 – 220:2009. Бетони. Методи визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.

4. Фізичні властивості готового каменю визначали згідно ДСТУ Б В.2.7 – 170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

При виконанні комплексу лабораторних досліджень використовувалися наступні сировинні компоненти – цемент марки ПЦ І 500 Н, природний кварцовий пісок (модуль крупності $M_k = 1,74$), порода шахти ім. Героїв Космосу ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля», подрібнена до фракцій: менше 1,6 мм; 1,6 - 5 мм; 5 - 10 мм; 10 - 20 мм. У випадку з тампонажними розчинами була використана тільки фракція породи менше 1,6 мм.

Реологічні властивості тампонажних розчинів характеризують їх здатність прокачуватися насосними установками, проникати в тріщини породного масиву. Одним з важливих параметрів тампонажних розчинів є в'язкість. В'язкість рідин – це міра внутрішнього тертя між її шарами. Ця величина характерна як для розчинів і рідин, які не мають структури - це так звані ньютонівські рідини, так і для в'язкопластичних тіл.

Тампонажні розчини (глинисті, цементно-піщані, глинисто-цементні та ін.) Не підпорядковуються закону Ньютона, так як вони є структурованими дисперсними системами.

Після змішування з водою в цементних тампонажних розчинах починають відбуватися процеси структуроутворення, в даному випадку це процес гідратації цементу, а також в меншій мірі з'єднання глинистих (породних) часток одна з одною.

Для того щоб повернути розчину текучість необхідно знизити його в'язкість, тобто зруйнувати його структуру. Це так зване явище тиксотропного розрідження, характерне для цементних розчинів. В'язкість розчину залежить від його стану (спокій, рух), тому існує поняття структурної в'язкості, яка залежить від величини механічного впливу на розчин [88].

У зв'язку з цим в ході лабораторних досліджень були визначені такі параметри тампонажних сумішей на основі шахтних порід як розплив, густина розчину, статичне напруження зсуву, пластична міцність і міцність на стиск тампонажного каменю. Розплив тампонажних розчинів визначають за допомогою конуса АзНП. Розчинонасоси, які використовують при тампонажі приконтурного масиву порід можуть перекачувати тампонажні розчини з мінімальним розпливом 16...20 см і мінімальною умовною в'язкістю 45...50 с (за приладом СВП - 5) [89].

Статична напруга зсуву визначалася за допомогою приладу СНС-2, густина свіжого розчину була визначена за допомогою ареометра АГ-3ПП згідно зі стандартними методиками [90 - 93]. Реологічні властивості тампонажних розчинів на основі шахтних порід представлені в таблиці 2.9.

З отриманих даних випливає, що розчини, які містять велику кількість подрібнених шахтних порід, мають дещо меншу густину у порівнянні з рецептурами, які містять велику кількість природного кварцового піску. Розчини на основі шахтних порід (суміші аргілітів і алевролітів) мають деякі переваги перед традиційними цементно-піщаними розчинами, зокрема, завдяки глинистій природі заповнювача вони є більш однорідними і стійкими до процесу седиментації, мають меншу структурну в'язкість і, отже, хорошу проникаючу здатність.

Таблиця 2.9

Реологічні властивості тампонажних розчинів
на основі шахтних порід

Склад	В/Т	Розп-лив, см	Густина розчину, кг/м ³	Статичне напруження зсуву, Па
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	0,45 СП	19	1730	45
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	0,4	22	1850	40
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	0,35 СП	18	1780	53
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	0,35 СП	18	1800	33
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	0,55	18,5	1710	37
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	0,55	22	1750	30

Примітка: СП – суперпластифікатор у кількості 0,06% від маси цементу

Згідно з дослідженнями В.В. Євтушенко [94] цементно-піщані розчини, будучи грубо дисперсними суспензіями вкрай нестійкі до процесу седиментації

навіть при наявності в їх складі тонко дисперсної фази. Час повного осідання твердих складових цементно-піщаних розчинів зі співвідношенням піску та цементу більше трьох дорівнює 3...5 хв. Основна маса піску та цементу осідає в більш короткі терміни, що не забезпечує нормальних умов роботи тампонажного обладнання. При використанні для тампонажних робіт цементно-піщаних розчинів необхідно постійне перемішування суміші в розчиномішалках, а також рекомендується введення порошкових глин в кількості до 10% від маси цементу.

Тампонажні розчини на основі шахтних порід вимагають більшої кількості води замішування для досягнення оптимальної консистенції, тобто розпливу 18...22 см, що вважається оптимальним для прокачування тампонажного розчину насосною установкою. Для зменшення водопотреби при проведенні лабораторних робіт до складу тампонажних розчинів додавали суперпластифікатор «Віматол» в кількості 0,06%. В ході роботи стало очевидно, що суперпластифікатор не працює з породним заповнювачем. Подрібнена порода поглинає його разом з водою замішування, але наявність суперпластифікатора стає доцільною, коли в суміші присутня мінімальна кількість піску (11...20% від маси сухої суміші). У такому випадку використання суперпластифікатора є обґрунтованим, так як необхідна менша кількість води замішування.

С точки зору параметрів течіння тампонажні розчини на основі цементної в'язучої речовини та інертних наповнювачів (пісок, порода, глина і т.п.) відносяться до тіл Бінгама - Шведова. Процес течіння подібних дисперсних систем описується рівнянням Бінгама - Шведова [95, 96]:

$$\tau_p = \tau_0 + \eta \frac{du}{dn} \quad (2.1)$$

де τ_p – дотичне напруження у розчині, відповідне градієнту швидкості $\frac{du}{dn}$,

гс/см²;

τ_0 – напруга початку текучості або гранична динамічна напруга зсуву, гс/см²;

η – структурна в'язкість розчину, гс/см².

Графічно рівняння Бінгама-Шведова є пряму лінію, відсікає на осі напруг відрізок рівний τ_0 , а її кутовий коефіцієнт β визначає постійну пластичну в'язкість η ($\eta = \text{tg}\beta$). При малих дотичних напруженнях через наявність опору структури тампонажний розчин не тече. Коли напруга досягає величини граничного статичної напруги зсуву починається руйнування структури і повільний плин розчину.

Зі збільшенням швидкості зсуву відбувається все більше руйнування структури, однак повного руйнування структури рухомого розчину не відбувається, так як деяка частка зв'язків встигає відновитися назад в потоці навіть при великих швидкостях течіння. Таким чином величина статичного напруги зсуву характеризує напругу, необхідну для початкового руйнування структури.

При проведенні тампонажних робіт дуже важливо знати як швидко наростає міцність структури тампонажного каменю. Пластична міцність характеризує міцність структури розчину при пластично-в'язкому руйнуванні, вимірюється на приладі Віка за методом П.А. Ребиндера, вдосконаленому М.С. Винарським. Замість голки прилад забезпечується комплектом конусів зі сталі, алюмінію або органічного скла з кутами 30°, 45°, 60°, 90°. Прилад Віка з набором конусів і зразки тампонажних розчинів на основі шахтних порід представлені на рис. 2.8.

Пластическая прочность определяется по формуле P_m (Па):

$$P_m = K_a \times \frac{F}{h^2} \quad (2.2)$$

де F – маса системи, яка занурюється, Н;

h – глибина занурення конуса у тампонажний розчин, м;

K_a – коефіцієнт, який залежить від кута конуса, визначається по формулі:

$$K_a = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (2.3)$$

де α – кут при вершині конуса.

Результати досліджень представлені в таблиці 2.10. Залежність пластичної міцності тампонажних розчинів від часу твердіння представлена на рис. 2.9.



Рис. 2.8. Прилад Віка з набором конусів і зразки тампонажних розчинів на основі шахтних порід

В ході виконання експерименту були отримані закономірності зростання пластичної міцності у часі для 2-х і 3-х компонентних тампонажних сумішей. З отриманих результатів стало очевидно, що найбільш раціональним є склад Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2, оскільки цей склад має не тільки гарні реологічні властивості, але і забезпечує достатню міцність на стиск – 17,68 МПа, що не поступається традиційному складу Цемент : Пісок = 1 : 3 (16,74 МПа).

Відповідно до проведених досліджень, залежність пластичної міцності (P_m) від часу (t) для оптимального складу (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2) поліноміальна 4 ступеня і описується рівнянням:

$$P_m = -4,17t^4 + 4t^3 - 5,38t^2 + 5,63t - 1,32; \quad 0 < t < 3 \quad (2.4)$$

Рівняння регресії для досліджених складів представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.10

Пластична міцність тампонажних розчинів

Склад тампонажного розчину	Пластична міцність, кПа						
	2 год.	4 год.	6 год.	8 год.	1 доба	2 доби	3 доби
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	3,4	11	176	367	3183	12732	13932
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	4,2	9,8	313	468	1634	14706	15406
3. Цемент : Пісок : Порода = 1:1,5:1,5	5,3	16,7	291	366	1376	12387	12914
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	-	6,4	293	311	2376	12387	13285
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	4,5	16,8	57,5	572	995	14141	15141
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	-	4,5	14,5	78,3	1887	12387	13196

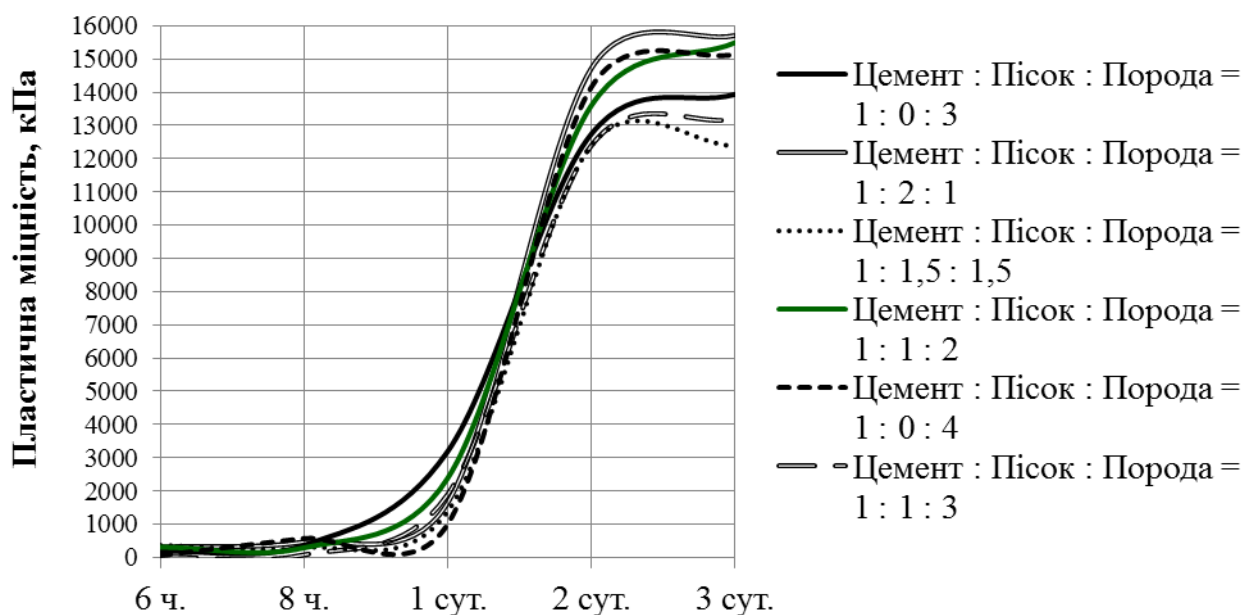


Рис. 2.9. Залежність пластичної міцності тампонажних розчинів від часу твердіння

З отриманих даних щодо залежності пластичної міцності від часу слідує, що найбільший приріст пластичної міцності спостерігається через 8 годин після замішування, що не обмежує проведення тампонажних робіт у часі, однак не завжди є прийнятним, оскільки існує необхідність у більш швидкому прирості пластичної міцності при проведенні робіт.

У зв'язку з цим, до складу визначеного як найбільш раціональний, разом з водою замішування вводилася добавка рідкого скла в кількості 2, 3, 4, 5, 6%. Добавка рідкого скла є ефективним прискорювачем схоплювання для цементної в'язучої речовини і ефективно підвищує стабільність розчинів. При введенні рідкого скла до складу суміші відзначається підвищення швидкості процесу гідратації в 1,5...2 рази [97].

Таблиця 2.11

Рівняння регресії і величини показника
достовірності апроксимації

Склад	Рівняння регресії	R ²
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	$P_m = -4,07t^4 + 3,57t^3 - 2,07t^2 + 3,48t - 2,71$	0,99
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	$P_m = -7,58t^4 + 8,07t^3 - 1,78t^2 + 1,39t - 8,01$	0,99
3. Цемент : Пісок : Порода = 1:1,5:1,5	$P_m = -6,4t^4 + 6,81t^3 - 1,5t^2 + 1,17t - 6,46$	0,99
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	$P_m = -4,17t^4 + 4t^3 - 5,38t^2 + 5,63t - 1,32$	0,99
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	$P_m = -8,29t^4 + 9,05t^3 - 2,13t^2 + 1,53t - 9,38$	0,99
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	$P_m = -4,57t^4 + 4,38t^3 - 5,63t^2 + 2,51t - 4,29$	0,99

Однак при цьому спостерігається зниження міцності тампонажного каменю в віці 28 діб. Результати досліджень представлені в таблиці 2.12. Залежність пластичної міцності тампонажних розчинів з добавкою 0, 2, 3, 4, 5, 6% рідкого скла від часу твердіння представлена на рис. 2.10.

Як видно з рис. 2.8, оптимальною є добавка рідкого скла 4% від маси в'язучої речовини. Введення рідкого скла в більшій або меншій кількості є недоцільним.

Таблиця 2.12

Пластична міцність тампонажних розчинів
з добавкою рідкого скла

Склад тампонажного розчину	Пластична міцність, кПа						
	2 год.	4 год.	6 год.	8 год.	1 доба	2 доби	3 доби
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	3,4	11	11,01	16,68	1377	14905	16107
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 2% рідкого скла	2,6	3,4	12,53	34,8	1018	12387	13387
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% рідкого скла	-	6,4	34,8	44,04	1634,1	12732	13745
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 4% рідкого скла	2,8	15,1	313	2291	14707	16107	16901
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 5% рідкого скла	7,1	11	50	853	12732	13732	14336
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 6% рідкого скла	62,4	4,5	113	1377	12732	13900	15402

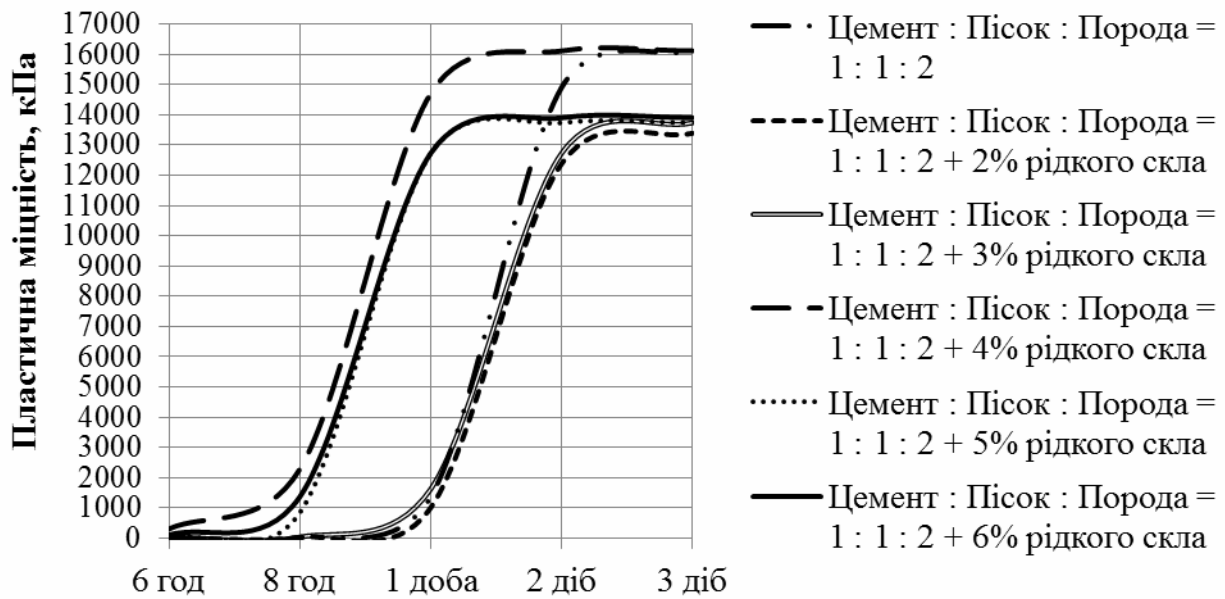


Рис. 2.10. Залежність пластичної міцності тампонажних розчинів з додавкою 0, 2, 3, 4, 5, 6% рідкого скла від часу

Залежність пластичної міцності (P_m) від часу (t) для досліджених складів є поліноміальною 4-го ступеня. Для складу Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 4% рідкого скла описується рівнянням:

$$P_m = 1,17t^4 - 2,18t^3 + 7,98t^2 - 2,74t + 2,44 \quad (2.5)$$

Рівняння регресії для досліджених складів представлені в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Рівняння регресії і величини показника достовірності апроксимації

Склад	Рівняння регресії	R^2
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	$P_m = -4,17t^4 + 4t^3 - 5,38t^2 + 5,63t - 1,32$	0,99
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 2% рідкого скла	$P_m = -6,28t^4 + 6,55t^3 - 1,29t^2 + 6,34t - 2,71$	0,99
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% рідкого скла	$P_m = -5,27t^4 + 5,24t^3 - 8,27t^2 + 3,77t - 3,6$	0,99
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 4% рідкого скла	$P_m = 1,17t^4 - 2,18t^3 + 7,98t^2 - 2,74t + 2,44$	0,99
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 5% рідкого скла	$P_m = 1,59t^4 - 2,15t^3 + 8,1t^2 - 4,03t + 1,55$	0,99
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 6% рідкого скла	$P_m = 1,51t^4 - 2,04t^3 + 7,57t^2 - 3,28t + 9,83$	0,99

При підборі рецептур тампонажного розчину з необхідними технологічними і фізико-механічними властивостями на стадії планування експерименту були складені пропорції компонентів розчину. Основним критерієм при підборі оптимальної рецептури був максимальний вміст подрібненої шахтної породи при мінімальному вмістові інших можливих наповнювачів (в нашому випадку

піску). Властивості твердіючих сумішей цілком і повністю залежать від властивостей компонентів, що входять до їх складу і їх кількісного співвідношення, тобто цементу, породи і піску.

У даній роботі була визначена залежність міцності тампонажних розчинів на стиск від кількості в їх складі подрібненої шахтної породи і природного піску. У зв'язку з цим розробка рецептури була проведена за методикою планування повного факторного експерименту на двох рівнях [98, 99].

Для загального випадку рівняння математичної моделі двохфакторного експерименту має вигляд:

$$R_{сж} = b_0 + b_1 C_{нес} + b_2 C_{пор}$$

де b_0, b_1, b_2 - параметри регресії;

$C_{нес}, C_{пор}$ - приведені значення факторів, які змінюються від -1 до $+1$:

$$\overline{C}_{нес} = \frac{C_{нес} - C_{нес}^0}{\Delta C_{нес}}$$

$$\overline{C}_{пор} = \frac{C_{пор} - C_{пор}^0}{\Delta C_{пор}}$$

де $C_{нес}, C_{пор}$ - натуральні значення змінних;

$C_{нес}^0, C_{пор}^0$ - середні значення факторів;

$\Delta C_{нес}, \Delta C_{пор}$ - шаг варьовання.

Матриця повного факторного експерименту має вигляд:

Таблиця 2.14

Матриця повного факторного експерименту (2^2)

№ точок плану	Кодові значення факторів				Міцність на стиск, МПа
	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	
1	+	+	-	-	$R_{сж}^1$
2	+	-	+	-	$R_{сж}^2$
3	+	-	-	+	$R_{сж}^3$
4	+	+	+	+	$R_{сж}^4$

Рівняння отриманої математичної моделі та її статистична оцінка представлені в табл. 2.16.

Результати досліджень фізико-механічних характеристик тампонажних матеріалів представлені в таблиці 2.17. Кінетика твердіння тампонажних матеріалів представлена на рис. 2.11.

Як видно з рис. 2.11 залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) тампонажного каменю на основі шахтних порід Західного Донбасу від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) залежністю. Для оптимального складу Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) тампонажного каменю на основі шахтних порід від часу твердіння (t) описується рівнянням:

$$R_{сж} = \frac{a}{1 + be^{-ct}} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.15

Результати експериментальних досліджень по підбору раціонального складу тампонажних сумішей на основі шахтних порід

№	Фактори		Міцність на стиск, МПа, $R_{сж}$ (y)
	Вміст піску, $C_{пес.}, \%$, (x_2)	Вміст породи, $C_{пор.}, \%$, (x_3)	
1	0	100	4,65
2	0	100	5,93
3	25	75	7,0
4	33,4	66,6	17,68
5	50	50	15,08
6	66,6	33,4	12,49
7	100	0	16,74

Таблиця 2.16

Залежність міцності твердіючої суміші від складу заповнювача і її статистична оцінка

Оптимізуєма величина	Статистична модель	Дисперсія адекватності	Значення критерію Фішера
Тампонажні суміші			
$R_{сж}$ (y)	$R_{сж}$ (y) = 0,18 x_1 + 0,07 x_2	0,047	6,87

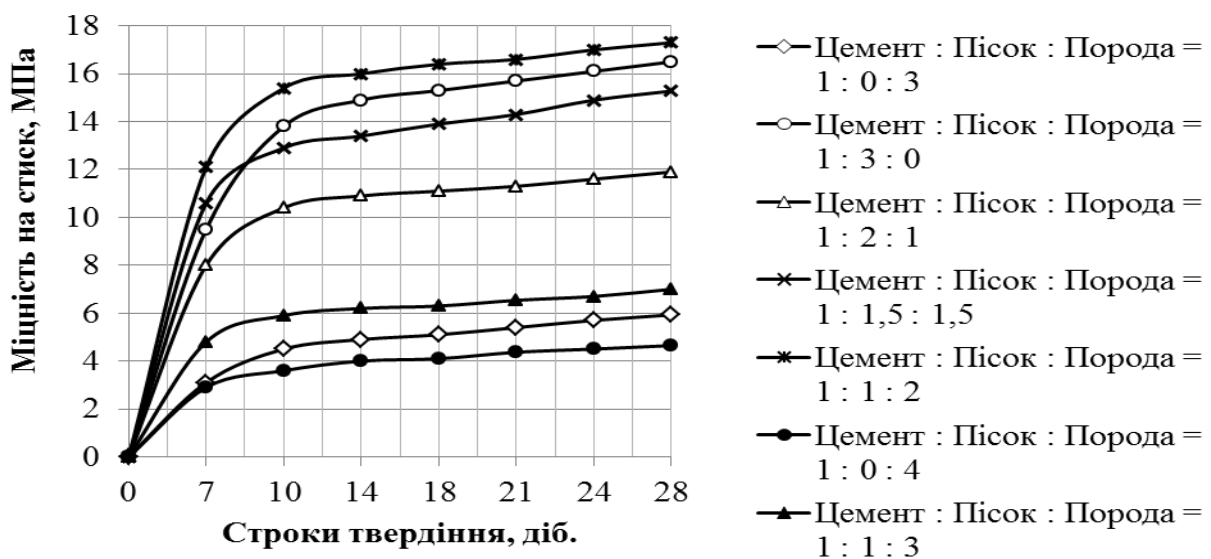


Рис. 2.11. Кінетика набору міцності тампонажних матеріалів на основі шахтних порід

Таблиця 2.17

Фізико-механічні характеристики тампонажних матеріалів

Склад	В/Т	Густина матеріалу, кг/м ³	Міцність на стиск, МПа			
			7 діб	14 діб	21 діб	28 діб
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	0,4	2030	3,1	-	5,06	5,93
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0	0,19	1845	11,2	-	13,02	16,74
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	0,25	2200	7,89	9,45	11,45	12,49
4. Цемент : Пісок : Порода = 1:1,5:1,5	0,23	1795	10,0	12,47	14,33	15,08
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	0,23	1910	12,1	13,62	17,21	17,68
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	0,35	1846	-	4,29	4,37	4,65
7. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	0,25	1787	-	5,57	6,54	7,0

Таблиця 2.18

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R ²
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	5,2	1,3	3,7	0,97
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0	1,4	2,9	9,8	0,97
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	1,7	9,2	8,0	0,98
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	1,4	8,3	7,5	0,98
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	1,9	6,1	5,6	0,89
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	6,7	1,7	3,5	0,99
7. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	4,4	2,6	9,0	0,99

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 2.18.

З отриманих результатів випливає, що найбільшу міцність і густину має склад Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2, міцність на стиск у віці 28 діб становить 17,7 МПа, густина готового матеріалу 1910 кг/м³, тоді як контрольний склад Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0 має приблизно такі ж характеристики: міцність на стиск у віці 28 діб становить 16,7 МПа, густина готового матеріалу 2030 кг/м³. Склад Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 є оптимальним, тому що має максимальні показники міцності і значно більшу витрату подрібненої шахтної породи.

В ході проведення експерименту стало очевидно, що повністю відмовитися від використання піску неможливо, оскільки порода, особливо фракція менше 1,6 мм, має високу адсорбційну здатність – вона добре вбирає і утримує воду. Тампонажні розчини на основі фракції породи менше 1,6 мм вимагають більшої кількості води, ніж тампонажні розчини, які містять і породу, і пісок. У зв'язку з цим були досліджені склади тампонажних розчинів з різними співвідношеннями піску і породи при постійній кількості цементу.

2.4.2. Набризкбетонні суміші

Для виготовлення набризкбетонних матеріалів застосовували такі фракції заповнювача – менше 1,6 мм; 1,6 - 5 мм; 5 - 10 мм; 10 - 20 мм. При підборі гранулометричного і кількісного складу заповнювача використовувалися криві розподілу фракцій заповнювача [87].

Характеристики міцності досліджених набризкбетонних матеріалів представлені в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19

Характеристики міцності набризкбетонних матеріалів

Склад набризкбетону	В/Ц	Міцність на стиск, МПа			
		7 діб	14 діб	21 діб	28 діб
1. Цемент : Пісок : Щебень = 1 : 1 : 2	0,4	33,7	41,11	44,08	45,19
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0,75 : 2,25	0,5	11,93	13,93	17,6	18,13
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	0,55	6,5	8,09	9,86	9,69

У широкому розумінні набризкбетонні і торкрет-бетонні (від амер. *shotcrete* – бетон, який наноситься з пушки, або *sprayed concrete* – бетон, що наноситься методом розпилення) суміші – це один і той же вид твердіючих сумішей, тільки у випадку з набризкбетоном можливе загальноприйняте трактування як матеріалу, приготування якого допускає використання фракції заповнювача 10 - 20 мм.

Насправді ж багато джерел говорять про те, що можливе використання фракції заповнювача не більше 16 мм. Також існують окремі рекомендації у вигляді кривих гранулометричного складу заповнювача окремо для максимальної фракції 16 мм і 8 мм відповідно [100]. У зв'язку з цим має місце неточність в тлумаченнях. В даній роботі було зроблено невелике формальне розділення твердіючих сумішей для кріплення гірничих виробок на набризкбетонні і торкрет-бетонні.

Для оцінки ступеня впливу шахтних порід на міцність набризкбетону, були виготовлені контрольні зразки матеріалу із застосуванням гранітного щебеню з фракціями 5 - 10 мм; 10 - 20 мм; насипною щільністю у сухому стані 1400 кг/м³ і маркою за міцністю 1200 кг/м² та піску з модулем крупності $M_k = 1,74$.

Для проведення лабораторних випробувань були розглянуті варіанти, в яких використовувалися всі фракції подрібнених порід, а також варіанти, коли найдрібніша фракція (0...1,6 мм) була замінена природним піском. Гранулометричний склад використаного природного піску представлений в таблиці 2.20.

У цій частині досліджень був виконаний порівняльний аналіз показників міцності традиційно застосовуваних матеріалів, а саме набризкбетону на гранітному щебені зі складом Цемент : Пісок : Щебень = 1 : 1 : 2 і набризкбетону на основі шахтних порід – аргилітів та алевролітів. При приготуванні складу 3 (табл. 2.19) були використані фракції порід менше 1,6 мм; 1,6 - 5 мм; 5 - 10 мм; 10 - 20 мм в кількостях визначених у пункті 2.2.

Гранулометричний склад піску

Отвори сит, мм	Частні залишки, г	Частні залишки, %	Повні залишки, %
2,5	-	-	-
1,25	1	0,1	0,1
0,63	13,9	1,39	1,4
0,315	353	35,3	36,8
0,14	512	51,2	88
Дно	121	12,1	100

Перед випробуванням на міцність на стиск і вигин зразки оглядалися, перевірялася рівність поверхонь і відсутність тріщин і раковин. Невеликі нерівності глибиною до 2 мм вирівнювалися швидко твердіючим цементно-піщаним розчином. Зразки обміряли з похибкою не більше ± 1 мм і зважувалися з похибкою не більше 1 г.

Випробування проводилися за допомогою преса «Tecnotest KL 200/CE» (рис. 2.12) який призначений для визначення в лабораторних умовах міцності на стиск зразків бетону, гірських порід та інших матеріалів. Зразки стандартних розмірів розміщувалися між нажимними плитами і піддавалися контрольованому поступовому стиску до моменту руйнування. Навантаження на зразок при випробуванні збільшували безперервно і рівномірно зі швидкістю 0,4...0,8 МПа/с до руйнування зразка. Технічні характеристики гідравлічного пресу наведені в табл. 2.21.

Перед установкою зразка на прес ретельно очищалися і протиралися сухою тканиною робочі поверхні плит преса і зразка. Зразок встановлювали так, щоб напрямок навантаження був паралельно шарам укладання бетонної суміші, тобто зразки були випробувані в положенні «на боку». При випробуванні в такому положенні міцність зразків може бути на 20 - 30% нижче, ніж при випробуванні в тому положенні, в якому зразок формувався. Зразки випробували в такому положенні, щоб мати певний запас міцності [101].



Рис. 2.12. Прес Tecnotest KL 200/CE»

Технічні характеристики преса «Tecnotest KL 200/CE»

Показник	Одиниці вимірювання	Кількість
Максимальна потужність преса	тонн	200
Потужність	Вт	1130
Параметри електроживлення	В/Гц	220, 50
Маса нето	кг	585
Плити сталеві дистанційні. Товщина/діаметр	мм	20/150

Машина для випробувань зразків має підвісну сферичну плиту, що забезпечує рівномірний розподіл прикладеного навантаження на зразок. Після установки зразка виконують введення вихідних даних в блок управління "Eurotronic" (рис. 2.13). Випробувальна машина під час лабораторних випробувань працювала з максимальним навантаженням в 300 кН. Навантаження виконувалося рівномірно. Тест проводили до тих пір, поки навантаження на зразок не впаде на 5% в порівнянні з максимальною позначкою. Після цього випробувальна машина припиняла запис даних і видавала на екран максимальне значення, а також міцність зразка в Н/мм².



Рис. 2.13. Блок управління випробувальної машини

В результаті проведених досліджень стало очевидно, що найбільший вплив на властивості набризкбетонної суміші мають фракції: 10 - 20 мм і, в меншій мірі, фракції менше 1,6 мм. Наявність в суміші фракції менше 1,6 мм погіршує технологічні властивості суміші, так як частинки породи дрібної фракції мають найвищу адсорбційну здатність серед всіх використаних фракцій. Фракція породи менше 1,6 мм, внаслідок значного збільшення сумарної площі поверхні частинок глинистого матеріалу, що включає породу, різко збільшує здатність поглинати і утримувати воду. Значна частина об'єму води замішування переходить в категорію зв'язаної. Цей ефект спостерігається навіть після вібрації набризкбетонної суміші на віброплощині. Тоді як звичайним бетонним сумішам властиво відділяти воду, яка не бере участь в хімічних реакціях утворення цементного каменю.

Під час вібрування бетонної суміші спостерігається процес седиментації бетону – тверді компоненти опускаються вниз, а вода йде нагору. Набризкбетонну суміш на основі породи при тому ж водоцементному відношенні не відокремлює воду. Для того щоб отримати набризкбетону суміш з необхідними технологічними властивостями по легкоукладальності, необхідно додавати більшу кількість води замішування, що в кінцевому

рахунку призведе до збільшення пористості бетону і зниження його міцності. Для складу 3 (табл. 2.19) використовувалося В/Ц = 0,55, що виявилось недостатнім для забезпечення необхідної легкоукладальності і однорідності суміші. Отримані зразки мали низькі показники міцності на стиск і неоднорідну структуру, що добре видно з рис. 2.14, а.

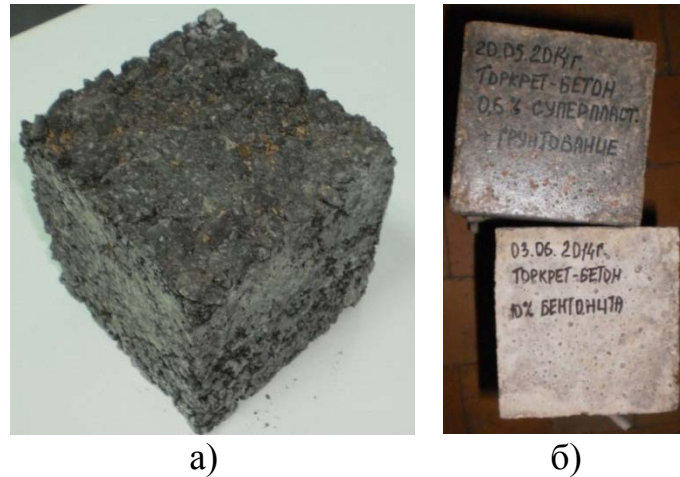


Рис. 2.14. Зразки-куби:

а) набризкбетону складу Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3; б) торкрет-бетону складу Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2

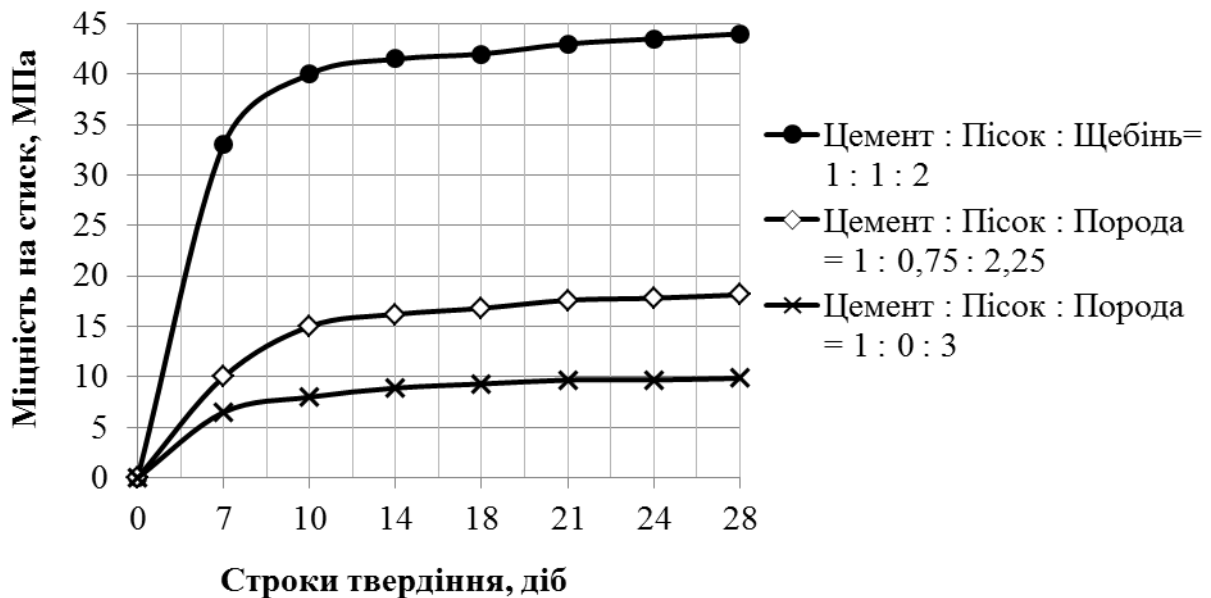


Рис. 2.15. Кінетика набору міцності набризкбетону, виготовленого на гранітному щебені і породах шахти ім. Героїв Космосу

Таким чином, був зроблений висновок, що використання фракції породи менше 1,6 мм для приготування набризкбетонних матеріалів є недоцільним, оскільки її наявність призводить до погіршення легкоукладальності і однорідності суміші, а також знижує показники міцності матеріалу.

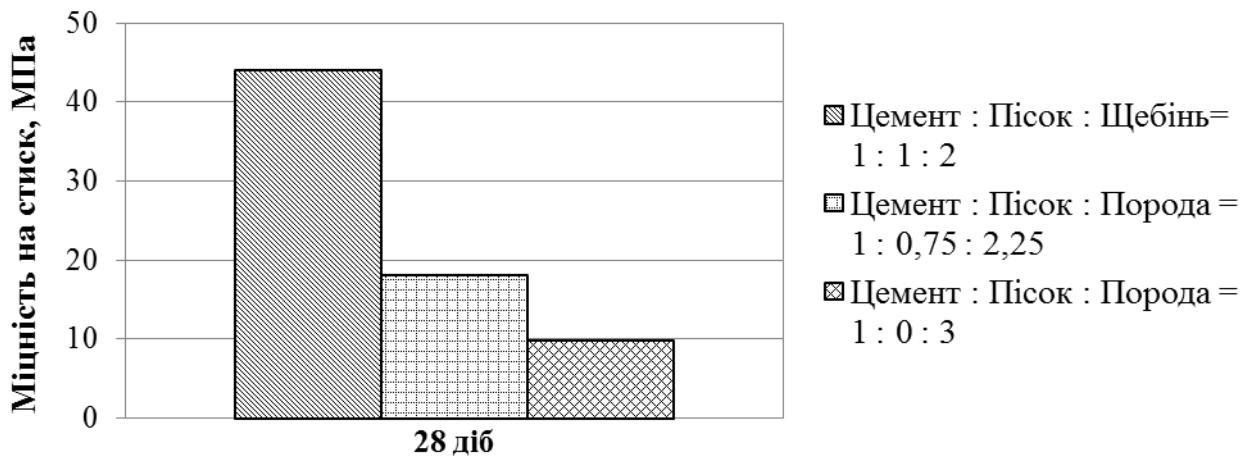


Рис. 2.16. Діаграми міцності набризкбетону на стиску віці 28 діб

Наявність у набризкбетонній суміші фракції 10 - 20 мм також погано позначається на легкоукладальності і призводить до зниження показників міцності набризкбетону. Міцність контрольних зразків набризкбетону, приготованих на основі гранітного щебеню і піску у віці 28 діб становить 45,2 МПа, тоді як міцність набризкбетону зі співвідношенням компонентів Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3 складає 9,7 МПа, що в 4,5 рази менше міцності контрольного зразка.

Як видно з рис. 2.15, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) набризкбетону на основі шахтних порід Західного Донбасу від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) і описується рівнянням (2.6).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 2.22.

Таким чином, отриманий набризкбетонний матеріал має недостатню міцність, щоб утворювати самостійну несучу конструкцію. Однак даний матеріал може забезпечити щільний контакт кріплення з породним масивом. Його можна ефективно застосувати в якості елемента комбінованого кріплення в комбінації з додатковими технічними рішеннями [101, 102, 103].

Таблиця 2.22

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Цемент : Пісок : Щебінь = 1 : 1 : 2	9,2	7,7	7,8	0,97
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0,75 : 2,25	1,6	3,0	1,1	0,99
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	4,4	6,8	1,6	0,99

Виконання даного етапу робіт дозволило прийти до висновків, що використання фракцій менше 1,6 мм і 10...20 мм в складі набризкбетону неприйнятне, оскільки фракція менше 1,6 мм значно погіршує технологічні властивості суміші (потрібна велика кількість води замішування – більше $V/C = 0,55$), фракція 10...20 мм також негативно позначається на легкоукладальності.

В силу природи використовуваних порід фракція 10...20 мм має лещадну форму, наявність якої вважається вкрай небажаною не тільки при виробництві набризкбетонних сумішей, а й звичайних важких бетонів. До того ж, така форма крупного заповнювача може спричиняти часту закупорку матеріальних шлангів набризкбетонного обладнання.

2.4.3 Торкрет-бетонні суміші

Для виготовлення торкрет-бетонних матеріалів були використані фракції породи 1,6 - 5 мм; 5 - 10 мм. Виходячи з досвіду з набризкбетоном, фракцію породи 10 - 20 мм не використовували взагалі, а фракція менше 1,6 мм була замінена на природний кварцовий пісок. Було підібрано найбільш оптимальне співвідношення компонентів Цемент : Пісок : Порода при максимальній кількості породи і мінімальному вмістові піску для торкрет-бетону. Характеристики міцності досліджених складів торкрет-бетону представлені в табл. 2.23.

Таблиця 2.23

Прочностные характеристики торкрет-бетона

Співвідношення компонентів	В/Ц	Міцність на стиск, МПа				Міцність на вигин, МПа
		7 діб	14 діб	21 доба	28 діб	
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	0,55	-	8,09	9,69	9,86	3,41
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0,55 : 2,45	0,5	13,4	13,97	14,57	16,67	4,65
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0,75 : 2,25	0,5	-	13,93	17,6	18,13	4,82
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	0,45	16,82	17,38	18,8	19,87	5,44
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1,11 : 1,89	0,5	14,37	15,6	17,01	18,32	4,7
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0	0,4	11,15	14,02	15,4	16,74	6,0

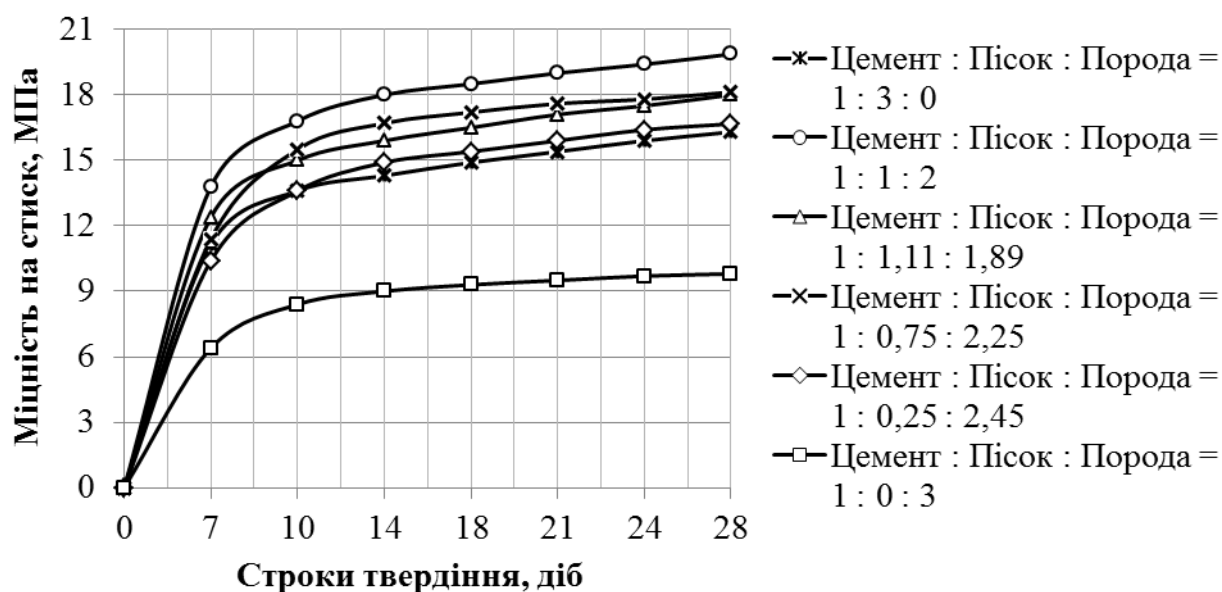


Рис. 2.17 Графіки набору міцності торкрет-бетону на основі шахтних порід

На рис. 2.17 представлена кінетика набору міцності досліджених складів торкрет-бетонних сумішей. Як видно з рис. 2.17 оптимальним є склад 4 (табл. 2.23) – Цемент: Пісок: Порода = 1: 1: 2. При цьому забезпечується необхідна легкоукладальність торкрет-бетонної суміші і цей склад має найбільш високі показники міцності у віці 28 діб на стиск (19,9 МПа) і вигин (5,4 МПа).

На рис. 2.18 і рис. 2.19 представлені графіки залежності міцності на стиск і вигин відповідно від вмісту піску і шахтних порід. Для складу Цемент: Пісок: Порода = 1 : 1 : 2, обраного як найбільш раціональний, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) торкрет-бетону на основі шахтних порід від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) залежністю і описується рівнянням (2.6).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 2.24.

Результати експериментальних досліджень по підборі раціонального складу торкрет-бетонних сумішей на основі шахтних порід представлені в таблиці 2.25.

Таблиця 2.24

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3	5,2	1,3	3,7	0,97
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0	1,4	2,9	9,8	0,97
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	1,7	9,2	8,0	0,98
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1,5 : 1,5	1,4	8,3	7,5	0,98
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	1,9	6,1	5,6	0,89
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 4	6,7	1,7	3,5	0,99
7. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 3	4,4	2,6	9,0	0,99

Таблиця 2.25

Результати експериментальних досліджень по підборі раціонального складу торкрет-бетонних сумішей на основі шахтних порід

№ експерименту	Варійовані фактори		Міцність на стиск, МПа, $R_{сж}$ (y)	Міцність на вигин, МПа, $R_{виг}$ (y)
	Вміст піску, $C_{пес.}, \%$, (x_2)	Вміст породи, $C_{пор.}, \%$, (x_3)		
1	0	100	9,86	3,41
2	18,3	81,7	16,67	4,65
3	25	75	18,13	4,82
4	33,3	66,7	19,87	5,44
5	37	63	18,32	4,7
6	100	0	16,74	6,0

На основі результатів досліджень була отримана математична модель залежності міцності торкрет-бетону від вмісту піску і шахтної породи на стиск і вигин, яка представлена в таблиці 2.26.

Таблиця 2.26

Залежність міцності твердіючої суміші від складу заповнювача та її статистична оцінка

Величина, яка оптимізується	Статистична модель	Рівень значимості, p , %	Значення критерію Фішера, F
Торкрет-бетонні суміші			
1. Міцність на стиск	$R_{сж}(y) = 0,17x_1 + 0,1x_2 + 0,0031x_1x_2$	0,013	25,63
2. Міцність на вигин	$R_{сж}(y) = 0,062x_1 + 0,041x_2$	0,03	10,96

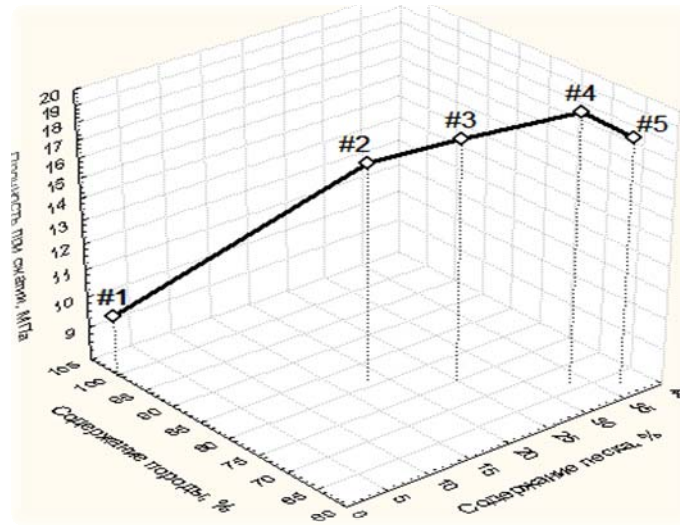


Рис. 2.18. Графік залежності міцності на стиск торкрет-бетону від вмісту шахтної породи і піску

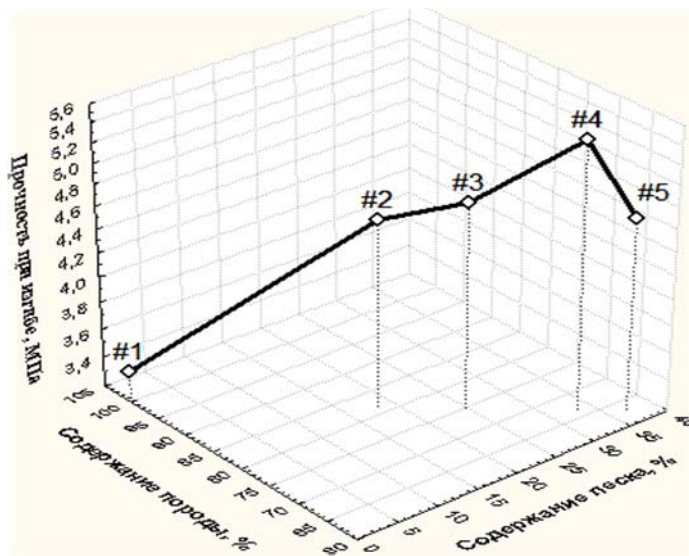


Рис. 2.19. Графік залежності міцності на вигин торкрет-бетону від вмісту шахтної породи і піску

На рис. 2.20 представлені зображення випробуваних на стиск зразків-кубів. За характером деформацій видно, що руйнування відбувалося по бокових поверхнях зразків-кубів, тоді як грані зразка-куба, які стикалися з плитами преса залишилися не пошкодженими. Спостерігається так званий «ефект обійми», коли плити преса захищають прилеглі до них грані зразка-куба. Після випробувань утворюються два зустрічних усічених тетраедра, що вважається нормальним руйнуванням [101].

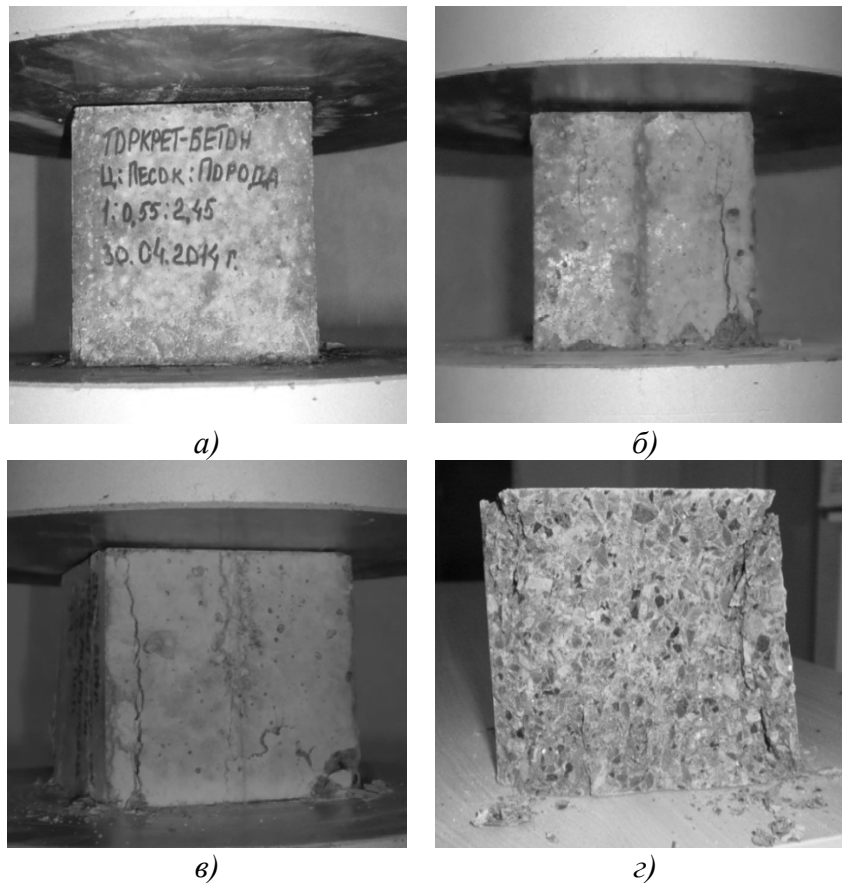


Рис. 2.20. Випробування зразків-кубів на стиск:
а - зразок в не зруйнованому стані; б, в - зруйновані зразки; г - поверхня руйнування зразка

Міцність використаної породи не перевищує 16 МПа [80; 108, 109]. Тоді як міцність цементно-піщаного розчину Цемент: Пісок: Порода = 1: 3: 0, яка була визначена нами експериментально, склала 16,7 МПа. З цього випливає, що руйнування може відбуватися як по поверхні контакту заповнювача і розчинної частини, так і по поверхні самого заповнювача [110].

Дослідження показали, що для отримання торкрет-бетонних сумішей з хорошими технологічними характеристиками і фізико-механічними показниками необхідна заміна фракції породи менше 1,6 мм на природний пісок. Максимально можлива міцність торкрет-бетону в цьому випадку складе 16...20 МПа, тоді як міцність торкрет-бетону на основі породи без введення піску складає 8...10 МПа.

Слід також враховувати, що отримані матеріали можуть бути чутливі до впливу води, при намоканні їх міцність може дещо знижуватися. Пусті породи вугільних шахт Західного Донбасу є низькоякісним сировинним матеріалом, який може ефективно використовуватися в якості великого і дрібного заповнювача для твердіючих сумішей при кріпленні магістральних виробок.

ВИСНОВКИ

1. Вуглевміщуючі породи Західного Донбасу придатні для приготування на їх основі твердіючих сумішей, що застосовуються при кріпленні магістральних виробок. Більше того, на їх основі можна отримати твердіючі суміші з хорошими технологічними властивостями.

2. При проведенні тампонажних робіт з метою заповнення закріпного простору і тріщин приконтурного масиву порід у виробках, закріплених металевим арочним кріпленням можливе використання в якості твердіючої суміші тампонажного розчину зі співвідношенням компонентів Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3 з міцністю на стиск 5,9 МПа з використанням для цього фракції породи менше 1,6 мм.

3. Для отримання твердіючої суміші з більш високою міцністю (до 18 МПа) доцільно замінити одну частину породи дрібнозернистим піском як в тампонажних, так і для торкрет-бетонних і набризкбетонних сумішей (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2), так як дрібнозернистий пісок при рівномірному розподілі створює міцну структуру за рахунок збільшення кількості контактів частинок цементу і заповнювача між собою.

4. Набризкбетон на основі шахтної породи необхідно армувати, або різними видами фібри, або використовувати в комбінації з просторовою залізобетонною затяжкою, що дозволить створити якісну несучу оболонку. В такому випадку, отримана конструкція не буде мати відмінностей від конструкції, яка була зведена з використанням традиційної набризкбетонної суміші.

РОЗДІЛ 3

ПОКРАЩЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ШАХТНИХ ПОРОД ВІДПОВІДНО ДО УМОВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

3.1. Підбір коригуючих добавок для твердіючих сумішей на основі шахтних порід Західного Донбасу

Велике значення для використання тампонажу закріпного простору мають типи використовуваних кріплень. Найбільш поширеною технологією тампонажу закріпного простору є його використання в монолітних конструкціях кріплення, так як з додаткових операцій при цьому використовують тільки затирку тріщин в бетоні, які утворюються при високих навантаженнях на кріплення. При застосуванні рамних кріплень із залізобетонною зтяжкою виникає необхідність затирки щілин між зтяжками і елементами кріплення, що підвищує трудомісткість виконання тампонажу закріпного простору, так як ця операція найчастіше виконується вручну.

Технологію тампонажу закріпного простору застосовують у виробках, закріплених рамним кріпленням із сітчастою зтяжкою і укладанням за неї матерчатого рулонного покриття. В цьому випадку для попередження витікання розчину через лобову поверхню виробки на рами кріплення, в кожному циклі необхідно укласти матерчаті рукава і в першу чергу нагнітати розчин в ці рукава. Заповнені твердіючою сумішшю рукава забезпечують розпір рам кріплення і щільний контакт між породним контуром і рамами.

Відомо, що зміцнення породних масивів твердіючими розчинами на основі цементу здійснюють в два етапи: ручний або механізований пікотаж щілин між зтяжками; і нагнітання тампонажного розчину за кріплення виробки. Роботи другого етапу часто виконують зі значним відставанням від вибою [115].

Використання торкрет-бетону дозволяє наносити великі об'єми бетону в короткі терміни без застосування опалубки при значному прискоренні часу схоплювання і набору міцності. Ці властивості є необхідними для сучасного підземного і шахтного будівництва. Застосування сухого або мокрого способів торкретування передбачає введення прискорювачів схоплювання безпосередньо в сопло набризгмадини. Негайний ефект від їх використання проявляється в швидкому зниженні текучості суміші.

Крім двох основних типів зазвичай застосовуються прискорювачі схоплювання на основі силікатів і алюмінатів, також існує нова технологія на основі безлужних прискорювачів схоплювання, які не знижують зносостійкість і міцність бетону і дозволяють застосовувати торкрет-бетон не тільки в якості тимчасового кріплення виробок, а й створювати постійну міцну структуру ослабленого масиву порід – єдину систему «кріплення - порода» [116].

Для посилення роботи монолітного кріплення при таких видах деформацій як вигин, зсув і т.п. можливо застосування різних видів фібри. Однак з огляду на складні умови проведення робіт і обмеженість простору, як фібронеповнювач може бути використано більш гнучке, ніж металеве волокно.

В якості останнього підходить рубане скловолокно, яке легко розпадається у воді або водному розчині будь-якого компонента на моноволокна [117].

Однак сировина для торкрет-сумішей має досить велику вартість і вимагає витрат не тільки на її закупку, але і доставку, яка часто може перевищувати вартість самих сировинних компонентів. У зв'язку з цим існує необхідність використання місцевих матеріалів. Такими матеріалами є різні відходи промисловості. Одними з найбільш перспективних матеріалів є золи теплових електростанцій.

Залежно від виду вугілля, яке спалюється, способу золовидалення, збору і зберігання, на ТЕС утворюються:

1) зола-виносу при сухому золовидаленні з осадженням частинок золи в циклонах і електрофільтрах та накопиченням у силосах;

2) паливні шлаки при повному плавленні мінеральної частини палива, осадження розплаву в нижній частині топки котла і грануляції розплаву водою аналогічно придоменній грануляції доменних шлаків;

3) золошлакова суміш при спільному мокрому видаленні золи-виносу та паливних шлаків, які утворюються в котлі, після чого золошлакова суміш у вигляді пульпи направляється в золовідвали.

На окремих ТЕС присутні всі види відходів, але на більшості електростанцій відходи утворені одним - двома видами, що пояснюється наявністю або відсутністю на ТЕС пристроїв з відбору золи та шлаку. Золошлакова суміш являє собою тонкодисперсну техногенну породу сірого, темно- та зеленувато-сірого кольору з характерною тонкою горизонтальною шаруватістю, що виникла в результаті поступового надходження золошлакової пульпи в відстійники [118].

Існує поділ зол на два класи – кислі і основні. При оцінці можливості використання золи в якості активної мінеральної добавки до цементів і бетонів враховують чи здатна зола в залежності від складу проявляти в явній або прихованій формі гідралічні або пуццоланістичні властивості. Золи, які проявляють явні або латентні гідралічні властивості, слід відносити до основних зол, а золи, які проявляють пуццоланістичні властивості – до кислих.

Оскільки гідралічну активність здатні виявляти лише золи, які містять підвищену кількість СаО, в тому числі СаО_{св.}. Поділ зол на основні і кислі часто пов'язують із вмістом в них СаО. Зола виносу відносять до кислих при вмістові СаО не більше 10% і до основних – при більшій його кількості, але вміст СаО_{св.} має бути не більше 5% [119, 120].

Згідно з українськими і російськими стандартами золи відносять до кислих, якщо в них не міститься вільний оксид або гідроксид кальцію, і до основних, якщо вільний оксид (гідроксид) кальцію міститься в значній кількості. Перше характерно для золи від спалювання вугілля Донбасу і Кузбасу, друге – для золи від спалювання вугілля Кансько-Ачинського вугільного басейну, тобто зола донецького і кузнецького вугілля практично завжди кисла, а Кансько-Ачинська – основна.

Згідно з європейськими нормами EN 197 - 1 золу вважають кислою, якщо в ній вміст активного СаО менше 10% по масі, і основною, якщо активного СаО

більше 10% (вміст активного СаО розраховують як його загальний вміст в золи за вирахуванням СаО, пов'язаного в карбонати і сульфати). Хоча такий розподіл досить простий, він позбавлений фізичного змісту. Досить звичайні випадки, коли зола містить 11...12% активного (згідно з вимогами EN 197 - 1) СаО, але не містить вільного оксиду кальцію, тобто хоча відповідно до зазначеної норми EN 197 - 1 така зола повинна вважатися основною, по суті вона є типовою кислою золою.

В американському стандарті ASTM C 618 золи відносять до кислих, якщо в них сума кислотних оксидів ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) більше 70%, і до основних, якщо ця сума менше 70, але більше 50%. Така класифікація об'єктивніше європейської та дозволяє більш обґрунтовано ділити золи на основні і кислі. Проте оптимальною є російська класифікація, оскільки в ній міститься характеристична ознака – наявність $\text{CaO}_{\text{св.}}$. Що принципово відрізняє один тип зол від іншого [121].

У даній роботі була використана зола Придніпровської ТЕС в якості корегуючої добавки до досліджених торкрет-сумішей. Хімічний склад золи-виносу Придніпровської ТЕС представлений в таблиці 3.1.

З таблиці 3.1 випливає, що зола-виносу Придніпровської ТЕС є кислою, так як вміст оксиду кальцію становить всього лише 2...5% по масі. Зола майже на 83% складається з оксидів SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , СаО, MgO. Близько 3% по масі становлять оксиди лужних металів К і Na. Домішкові оксиди TiO_2 , SO_3 загальною кількістю по масі 1,2% не впливають на властивості золи [122].

Таблиця 3.1

Хімічний склад золи-виносу Придніпровської ТЕС

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	СаО	MgO	SO_3	R_2O
Діапазон	50,0-	23,0-	8,0-	0,5-	2,0-	1,0-	0,7-	2,0-
	54,0	28,0	15,0	2,0	5,0	3,0	1,5	4,5
Середнє	52,0	25,5	11,5	1,0	3,5	2,0	1,0	3,4

Золу-виносу вводять в бетон як тонкодисперсний компонент при його виготовленні. Питома поверхня використаної золи була визначена експериментально методом повітронепроникності на приладі Товарова. Таким чином, справжня густина золи Придніпровської ТЕС склала $2,23 \text{ г/см}^3$; питома поверхня – $1680,35 \text{ см}^2/\text{г}$.

Зола Придніпровської ТЕС не має в'язучих властивостей, але містить склоподібні і кристалічні компоненти, які вступають в хімічні реакції при твердінні цементних розчинів і бетонів, беруть участь у формуванні цілого ряду корисних властивостей: міцності, корозійної стійкості та ін. Зола теплових електростанцій застосовується в бетонних сумішах в вигляді мікронаповнювача. Вона заповнює порожнечі між піщинками, збільшує вміст тісту в'язучого і об'ємну концентрацію твердої фази в бетонній суміші. Значний ефект досягається в бетонних сумішах з низькою витратою цементу, де має місце явний дефіцит дисперсних частинок.

Введення золи зменшує або ліквідує цей дефіцит, в результаті покращується зерновий склад цементно-піщаної складової, зменшуючи

розшарування бетонної суміші і підвищується однорідність бетону. У зв'язку з тенденцією застосування в будівництві все більш рухливих сумішей з підвищеною схильністю до розшарування, роль золи особливо зростає. Заміна 5...10% цементу золою призводить до зниження міцності цементного каменю на 10...12% [123].

На відміну від класичних пуццоланових мінеральних добавок осадового походження, інтенсивно поглинають гідроксид кальцію відразу після зіткнення з рідкою фазою, зола виносу в термін до 14 діб не поглинає гідроксид кальцію з розчину. При гідратації золи спочатку зростає кількість іонів кальцію в розчині, що дозволяє відзначити інший характер взаємодії золи виносу з рідкою фазою, що відрізняється від класичної хімічної реакції взаємодії пуццоланової добавки з рідкою фазою [124].

У даній частині роботи була виконана серія експериментів з метою підбору коригувальних добавок, здатних покращити властивості складу, обраного в якості найбільш раціонального – Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2. До даного складу додавали золу-виносу в кількості 10, 20, 30, 40% від кількості цементу. Результати досліджень представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Міцність торкрет-бетону (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2)
з добавкою 10, 20, 30, 40 % золи-виносу

Склад	В/Ц	Міцність на стиск, МПа				Міцність на стиск у водонасиченому стані, МПа	Міцність на вигин, МПа	Міцність на вигин у водонасиченому стані, МПа	Водопоглинання, %
		7 діб	14 діб	21 доба	28 діб				
1. Контрольний склад торкрет-бетону (без добавок)	0,45	16,8	17,4	18,8	19,9	18,3	5,44	4,0	3,1
2. Торкрет-бетон + 10 % золи-виносу	0,5	14,0	15,0	15,0	16,9	17,6	4,55	3,8	3,4
3. Торкрет-бетон + 20 % золи-виносу	0,5	14,6	16,6	18,4	19,4	17,1	4,2	3,6	3,0
4. Торкрет-бетон + 30 % золи-виносу	0,55	14,7	15,4	16,7	19,6	15,5	4,1	4,4	1,4
5. Торкрет-бетон + 40 % золи-виносу	0,6	14,0	14,8	15,3	17,8	14,9	4,0	4,6	1,6

Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 20, 30, 40% золи-виносу представлений на рис. 3.1.

Як видно з рис. 3.1, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) торкрет-бетону на основі шахтних порід з добавкою золи-виносу від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) і також описується рівнянням (2.8).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 3.3.

Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і насиченому стані від вмісту добавки золи-виносу представлений на рис. 3.2.

З отриманих результатів випливає, що введення до складу торкрет-бетонної суміші золи-виносу є досить ефективним. Найбільш оптимальними є склади 3 і 4 (таблиця 3.2), так як вони мають найбільш високі показники міцності і великий вміст золи.

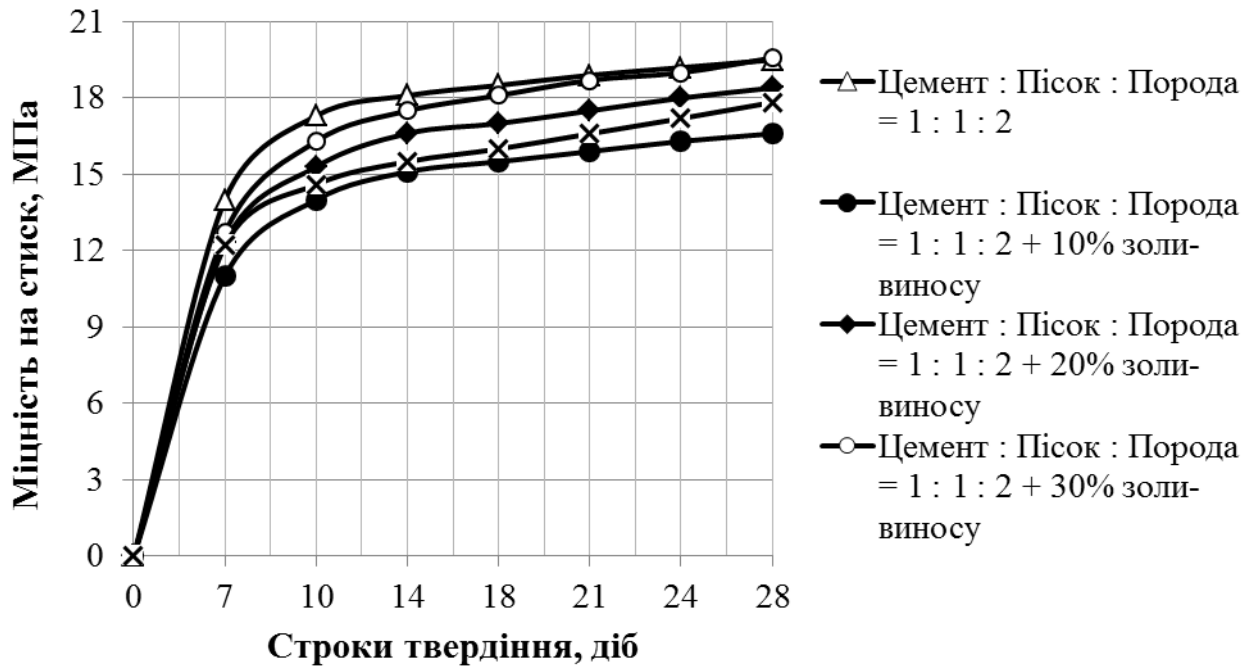


Рис. 3.1. Графік набору міцності торкрет-бетону (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2) з добавкою золи-виносу у кількості 0, 10, 20, 30 и 40 %

При використанні золи-виносу замість частини дрібного заповнювача терміни схоплювання золорозчину, як правило, подовжуються на 1...2 години. В такому ефекті є свої переваги. Відомо, що заміщення частини цементу золою призводить до зниження активності в'язучої речовини, тому цілком закономірно очікувати також зниження міцності розчину.

Зниження міцності торкрет-бетону при введенні 10% золи-виносу пояснюється недостатньою її кількістю. Як видно з малюнків 3.1 і 3.2, оптимум спостерігається при введенні 20...30% золи-виносу. При введенні 40% золи спостерігається значне зниження міцності торкрет-бетону.

Так як використана зола-виносу є не активною, вона не може брати участь в процесі утворення клінкерних мінералів цементу, тому її доцільно використовувати як дрібний заповнювач для торкрет-бетону на основі шахтної породи. В даному випадку введення золи-виносу до складу торкрет-бетонних сумішей не підвищує міцність готового матеріалу, але за рахунок високої питомої поверхні підвищує його густину. Використання золи-виносу в складі торкрет-бетонних сумішей на основі породи є можливим, але тільки як дрібний заповнювач.

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Контрольний состав торкрет-бетона (без добавок)	1,9	6,1	5,6	0,89
2. Торкрет-бетон + 10 % золи-виносу	1,6	2,0	1,4	0,99
3. Торкрет-бетон + 20 % золи-виносу	1,8	2,0	9,6	0,99
4. Торкрет-бетон + 30 % золи-виносу	1,7	3,2	1,1	0,98
5. Торкрет-бетон + 40 % золи-виносу	1,6	6,9	1,2	0,98

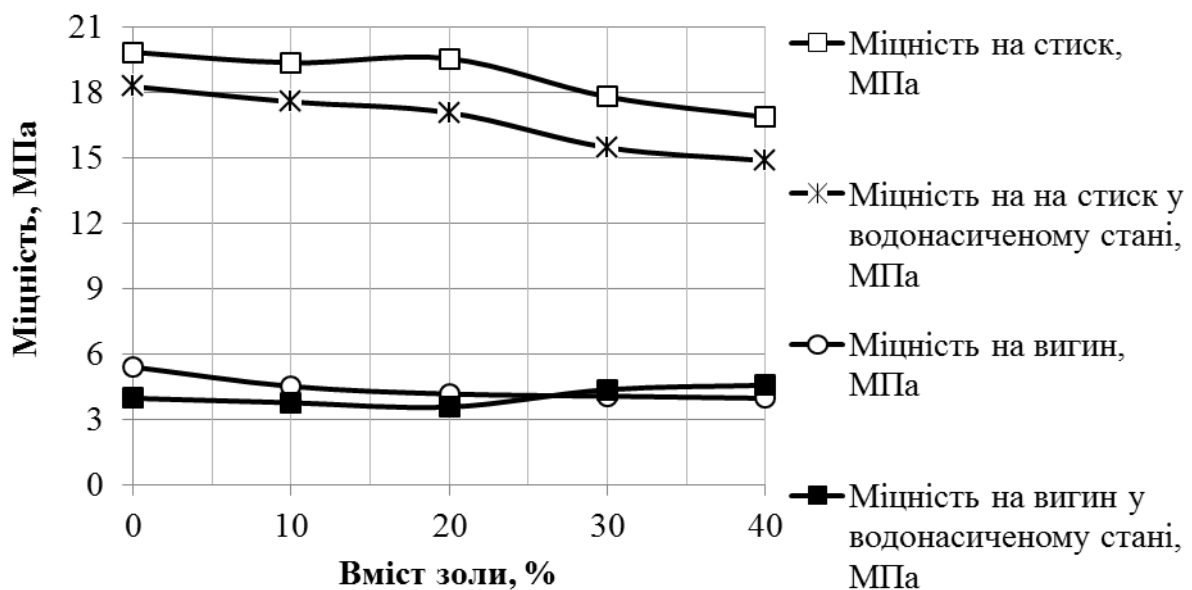


Рис. 3.2. Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і водонасиченому стані від вмісту добавки золи-виносу

Взаємодія коригуючих добавок з клінкерними мінералами здійснюється в зоні контакту частинок цих компонентів. Оптимальна концентрація добавок відповідає випадку, коли її частки з усіх боків щільно оточені частками цементу. Менша кількість добавок призводить до зниження ефективності їх дії. При більшому їх вмістові можливі прямі контакти між частинками добавок, що також знижує ефективність їх впливу. Вплив добавок на механічну міцність цементного каменю обумовлено рядом причин:

- вони забезпечують мікроармування цементного каменю;
- гальмують розвиток мікротріщин;
- впливають на процес гідратації цементу.

При додаванні зовнішнього навантаження відбувається розподіл напружень між компонентами даної системи, тобто цементного каменю, наповнювачів і добавок. Найбільш ймовірно, що слабким місцем структури матеріалу буде контактна зона або цементне в'язуча речовина. Введення оптимальної кількості високодисперсних мінеральних добавок (золи-виносу,

вапнякового борошна, мікрокремнезема і ін.) Дозволяє підвищити міцність цементного каменю на 10...15% [125].

Таблиця 3.4

Міцність торкрет-бетону (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2)
з добавкою 0, 10, 20 % мікрокремнезему

Склад	В/Ц	Міцність на стиск, МПа				Міцність на стиск у водонасиченому стані, МПа	Міцність на вигин, МПа	Міцність на вигин у водонасиченому стані, МПа	Водопоглинання, %
		7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.				
1. Контрольний склад торкрет-бетону (без добавок)	0,45	16,8	17,4	18,8	19,9	18,3	5,4	4,0	3,1
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 10% мікрокремнезему	0,45	17,4	18,7	18,9	20,0	18,4	4,7	4,4	2,1
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 20% мікрокремнезему	0,45	14,2	15,1	15,5	17,7	15,2	3,8	3,7	2,4

Однією з найбільш ефективних активних мінеральних добавок є мікрокремнезем. Він утворюється в процесі виплавки феросіліцію і його сплавів. Мікрокремнезем має унікальну здатність позитивно впливати на властивості будівельних матеріалів, покращуючи їх якісні характеристики: міцність, морозостійкість, проникність, хімічну стійкість, сульфатостійкість, зносостійкість та ін. Ефект заповнення пор, який створюється пуцолановими сферичними мікрочастинками, сприяє значному зменшенню капілярної пористості і проникності бетону. Мікрокремнезем має більший вплив на проникність, ніж на міцність [126].

Істина густина мікрокремнезему становить 2000...2630 кг/м³, насипна щільність – 150...300 кг/м³. Цінною властивістю мікрокремнезема є його висока дисперсність ($S_{уд} = 2500...3400 \text{ м}^2/\text{кг}$, розмір часток 0,1...100 мкм), що зумовлює його високу реакційну здатність при взаємодії з лужними розчинами [127].

Згідно з дослідженнями [128], використання мікрокремнезему як мінеральної добавки в бетоні в кількості 20% від маси в'язучої речовини збільшує його міцність в середньому в 2,5 рази. У зв'язку з цим нами було досліджено вплив добавки мікрокремнезему на міцність торкрет-бетону на стиск. Результати досліджень представлені в таблиці 3.4.

Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 20% мікрокремнезему представлений на рис. 3.3.

Як видно з рис. 3.3, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) торкрет-бетону на основі шахтних порід з добавкою бентоніту від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) і описується рівнянням (2.6).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 3.5.

Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і водонасиченому стані від вмісту добавки мікрокремнезему представлений на рис. 3.4.

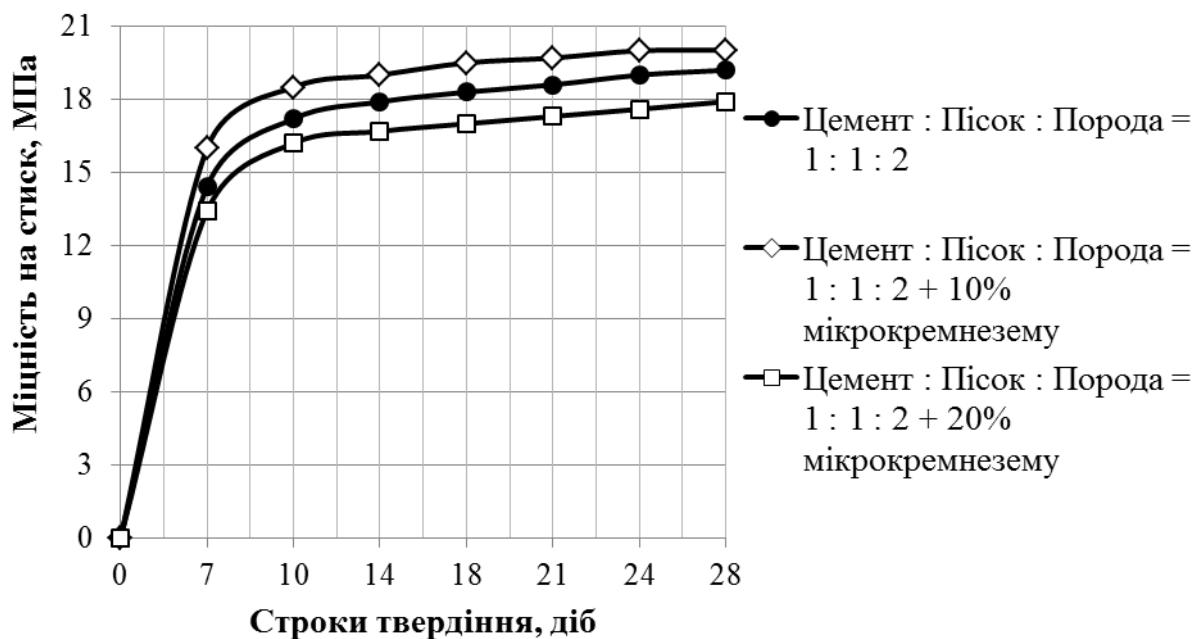


Рис. 3.3. Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 20% мікрокремнезему

З отриманих результатів слідує, що введення мікрокремнезему сприяє не тільки підвищенню непроникності бетону, але і деякого покращення його фізико-механічних характеристик. Якщо порівняти фізико-механічні характеристики сумішей Цемента : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 і Цемента : Пісок : Порода : Мікрокремнезем = 1 : 1 : 2 : 0,1, які наведені в таблиці 3.4, мікрокремнезем проявляє найбільшу пуцоланову активність в період між 7 і 21 добою твердіння, що, на жаль, не має особливого впливу на кінцеву міцність торкрет-бетонних сумішей. Однак отримані результати вказують на те, що зразки, які містять мікрокремнезем, є більш стійкими до впливу води.

Про це свідчить зменшення водопоглинання і підвищення міцності на вигин і стиск у водонасиченому стані. Введення мікрокремнезему не вирішує проблему розмокання і розшаровування породного заповнювача, але сприяє формуванню більш стійких новоутворень цементного каменю.

З метою покращення властивостей бетонних сумішей також застосовують різні поверхнево-активні речовини (ПАР), такі як карбоксиметилцелюлоза, сульфітно-спиртова барда, сірчано-кислий ефір целюлози, полівінілацетатна емульсія та ін.

Дослідження П.А. Єжова [129] показали, що зразки цементного каменю, зачинені з вольського цементу з добавками різних марок КМЦ, СЕЦ, ССБ в

кількості 0,2...0,6% від маси цементу в ранній термін твердіння (до 7...28 діб) мали знижену на 10...50% міцність на стиск в порівнянні з міцністю зразків, зачинених без добавок, з одночасним збільшенням пластичності і міцності при вигині в 1,5...2 рази.

Таблиця 3.5

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Контрольний склад торкрет-бетону (без добавок)	1,9	6,1	5,6	0,89
2. Торкрет-бетон + 10 % мікрокремнезему	1,9	2,3	1,9	0,99
3. Торкрет-бетон + 20 % мікрокремнезему	1,6	9,0	1,3	0,99

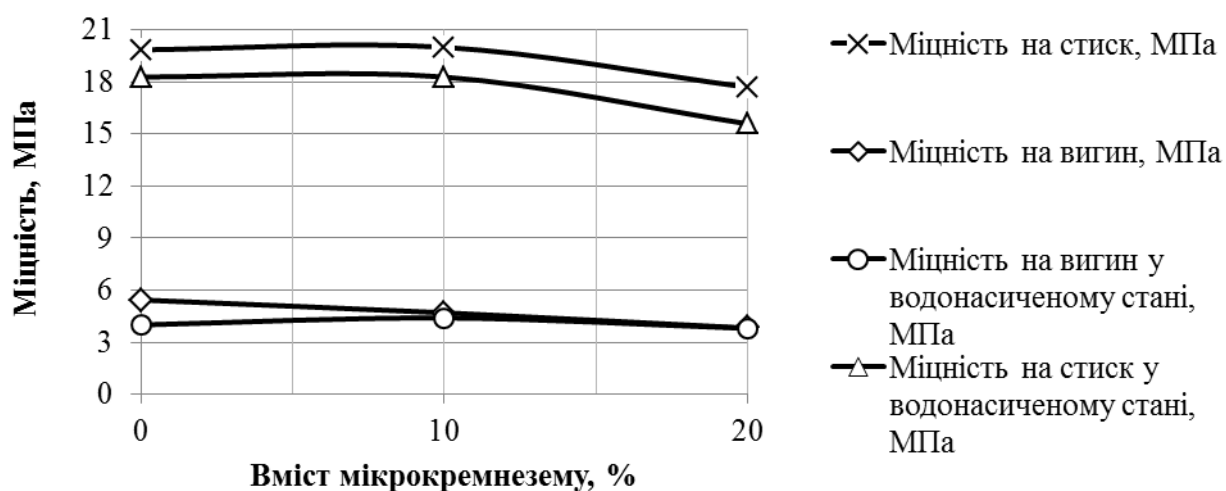


Рис. 3.4. Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і водонасиченому стані від вмісту добавки мікрокремнезему

Аналогічний ефект збільшення міцності при вигині і зниження міцності на стиск зразків цементного каменю спостерігався при додаванні 10 і 20% від маси цементу полівінілацетатної емульсії у віці 3, 7 і 28 діб. Після 28-добового твердіння зразки, зачинені з цементу з добавками ПАР, виявилися менш проникними в порівнянні із зразками, зачиненими без добавок: з добавкою СЕЦ 14 ... 10% – в 4,6 рази; 0,2% КМЦ 7...60% – в 5,3 рази; 5% латексу – в 4 рази; 10% ПВА – в 6,6 рази; 20% ПВА – в 9,3 рази; 20%; вольської опоки – в 2 рази.

Величина зчеплення цементного каменю з добавками поверхнево-активних речовин підвищується зі збільшенням часу твердіння зразків. Після 28-добового твердіння величина зчеплення цементного каменю з гладкою металевою поверхнею складала 6 кг/см², а з рифленою поверхнею – 10,2 кг/см². Добавки ПАР підвищують величину зчеплення цементного каменю на 10...70%. Величина зчеплення цементного каменю з рифленою металевою поверхнею вище величини зчеплення зразків цементного каменю з гладкою металевою поверхнею в 1,5...2 рази.

До складу торкрет-бетону на основі шахтних порід, обраному в якості найбільш раціонального вводилася добавка ПВА-емульсії в кількості 0, 5, 10, 15, 20, 30%. Результати досліджень представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Фізико-механічні характеристики
торкрет-бетону з добавкою ПВА-емульсії

Співвідношення компонентів	В/Ц	Міцність на стиск, МПа				Міцність на стиск у водонасиченому стані, МПа	Міцність на вигин, МПа	Міцність на вигин у водонасиченому стані, МПа	Водопоглинання, %
		7 діб	14 діб	21 доба	28 доба				
1. Торкрет-бетон (контрольний склад)	0,45	16,82	17,38	18,8	19,87	18,3	4,7	4	3,1
2. Торкрет-бетон + 5% ПВА-емульсії	0,5	10,68	14,82	16,69	19,86	16,8	5,4	3,2	1,9
3. Торкрет-бетон + 10% ПВА- емульсії	0,45	12,51	14,48	15,61	18,42	15,6	5,6	3,2	2,2
4. Торкрет-бетон + 15% ПВА- емульсії	0,5	9,86	11,63	14,01	16,32	14,4	5,7	3,3	4,0
5. Торкрет-бетон + 20% ПВА- емульсії	0,5	9,14	9,67	13,57	15,92	12,9	5,8	3,5	3,6
6 Торкрет-бетон + 30% ПВА- емульсії	0,55	9,05	9,75	10,46	12,56	10,2	6,0	3,5	3,6

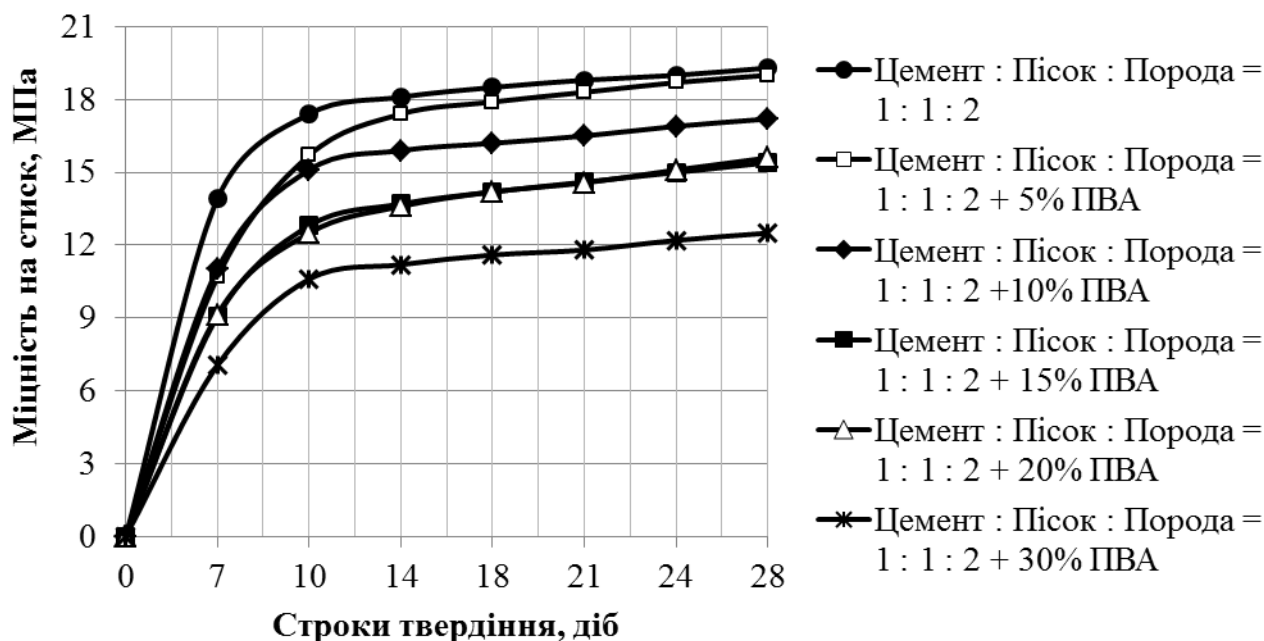


Рис. 3.5. Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 5, 10, 15, 20, 30% ПВА-емульсії

Дослідження показали, що оптимальною є добавка ПВА-емульсії в кількості 10...20%. ПВА-емульсія має пластифікуючий вплив на бетонну суміш, покращує адгезію торкрет-бетонної суміші до породного масиву. Однак введення ПВА-емульсії в кількості більшій, ніж 20% підвищує водопотребу бетонної суміші при тому ж водоцементному відношенні. При недостатній кількості води суміш має погану легкоукладальність і низькі фізико-механічні показники.

Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 15, 20, 30% ПВА-емульсії представлений на рис. 3.5.

Як видно з рис. 3.5, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) торкрет-бетону на основі шахтних порід з добавкою золи-виносу від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) і описується рівнянням (2.6).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 3.7. Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і насиченому стані від вмісту добавки ПВА-емульсії представлений на малюнку 3.6.

Таблиця 3.7

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Контрольний склад торкрет-бетону	1,9	6,1	5,6	0,89
2. Торкрет-бетон + 5 % ПВА-емульсії	1,8	1,4	4,2	0,97
3. Торкрет-бетон + 10 % ПВА- емульсії	1,6	1,1	8,4	0,98
4. Торкрет-бетон + 15 % ПВА- емульсії	1,4	2,7	5,9	0,96
5. Торкрет-бетон + 20 % ПВА- емульсії	5,1	1,1	4,7	0,88
6. Торкрет-бетон + 30 % ПВА- емульсії	1,1	2,1	9,9	0,97

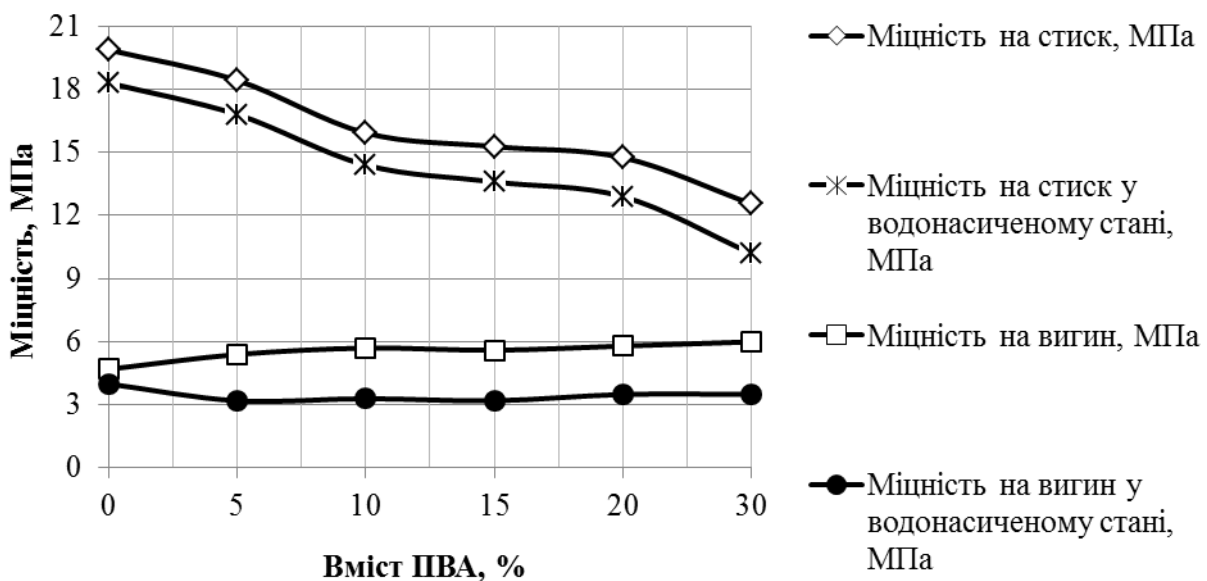


Рис. 3.6. Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і насиченому стані від вмісту добавки ПВА-емульсії

Збільшення кількості ПВА-емульсії до 20% негативно позначається на міцності зразків на стиск, в разі випробування зразків на вигин спостерігається чітка тенденція зростання міцності на вигин зі збільшенням кількості ПВА-емульсії в складі бетонної суміші від 5 до 30%.

Вибір складів для торкрет-бетонних робіт повинен визначатися в першу чергу раціональним вибором між властивостями бетонної суміші до опору при стисканні і вигині. Найбільш доцільним є вибір складів торкрет-бетонних сумішей, які містять 10..15% ПВА-емульсії. У цьому складі будуть відносно високі значення міцності на стиск із зростаючим значенням межі міцності при вигині.

При проведенні ж тампонажних робіт не менш важливою властивістю цементних розчинів є їх стабільність. Добавки поверхнево-активних речовин є хорошими стабілізаторами цементних суспензій. ПАР - стабілізатори є також адсорбційними пластифікаторами – у вигляді малих добавок вони розріджують суспензії і знижують міцність їх структури (структурну в'язкість). Руйнуючи просторову сітку, вони зменшують кількість рідкого середовища, не пов'язаного молекулярними силами, але механічно утримується в осередках структури. Тим самим знижується водопотреба, маслоспоживність твердої дисперсної фази, тобто об'єм рідини необхідної для отримання однорідної і рухомої пасти.

З отриманих результатів, а також з досліджень П.А. Єжова [129] слідує, що введення добавки ПВА-емульсії негативно впливає на інтенсивність протікання процесів структуроутворення тампонажного каменю, проте позитивно впливає на фізико-механічні показники тампонажного каменю (міцність на стиск і вигин) в наступні терміни твердіння.

Результати досліджень П.А. Єжова [129] за визначенням механічної міцності у віці до 2,5 років показали, що зниження міцності на стиск зразків у віці до 28 діб не поширюється на наступні терміни твердіння. Починаючи з віку одного року і більше міцність на стиск зразків цементного каменю, зачиненого з добавками КМЦ, СЕЦ, ССБ, ПВА, латексу – стає вище міцності зразків, зачинених без добавок зазначених речовин. Також П.А. Єжовим були проведені дослідження з метою вивчення впливу глинистого розчину, який випадково потрапив в цементний розчин на його міцність. Були залиті зразки цементного каменю з добавкою 20% розчину бентонітової глини з питомою вагою 1,14 г/см³. Міцність зразків на стиск після 28 добового твердіння знизилася на 55,5 %, що в деякій мірі підтверджує отримані нами результати, які представлені в таблиці 3.8.

Як видно з рис. 3.7, залежність міцності на стиск ($R_{сж}$) торкрет-бетону на основі шахтних порід з добавкою бентоніту від часу твердіння (t) є експоненціальною (логістичною) і описується рівнянням (2.8).

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації для отриманих залежностей представлені в таблиці 3.9.

Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 20, 30% бентоніту представлений на рис. 3.7.

Таблиця 3.8

Міцність торкрет-бетону (Цемент: Пісок: Порода = 1: 1: 2)
з добавкою 10, 20, 30% бентоніту

Співвідношення компонентів	В/Ц	Міцність на стиск, МПа				Міцність на стиск у водонасиченому стані, МПа	Міцність на вигин, МПа	Міцність на вигин у водонасиченому стані, МПа	Водопоглинання, %
		7 діб	14 діб	21 діб	28 діб				
1. Контрольний склад торкрет-бетону (без добавок)	0,45	16,8	17,4	18,8	19,9	18,3	5,44	4,0	3,1
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 10% бентоніту	0,55	12,8	15,0	14,6	16,1	14,1	4,2	2,5	3,7
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 20% бентоніту	0,55	11,5	12,5	13,8	14,3	12,7	3,6	2,3	4,1
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 30% бентоніту	0,6	10,0	11,7	12,1	13,7	11,3	3,1	2,0	4,1

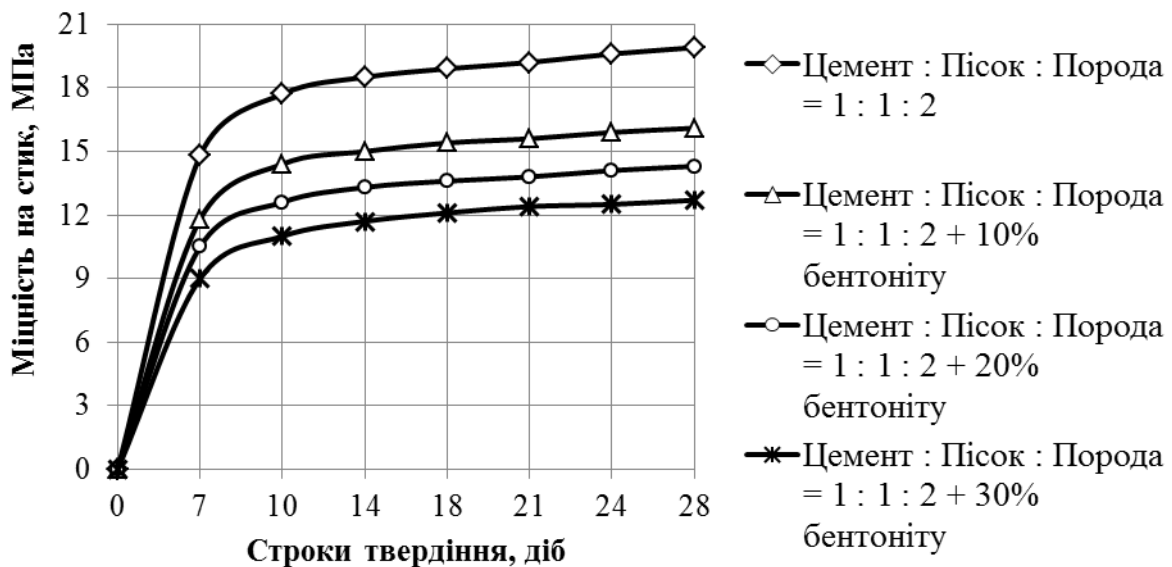


Рис. 3.7. Графік набору міцності торкрет-бетону з добавкою 0, 10, 20, 30% бентоніту

Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і водонасиченому стані від вмісту добавки бентоніту представлений на рис 3.8.

Коефіцієнти регресії і величини показника достовірності апроксимації

Співвідношення компонентів	Коефіцієнти регресії			R^2
	a	b	c	
1. Контрольний склад торкрет-бетону (без добавок)	1,9	6,1	5,6	0,89
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 10% бентоніту	1,5	7,1	1,2	0,99
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 20% бентоніту	1,4	4,0	1,1	0,99
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 30% бентоніту	1,2	2,6	9,7	0,99

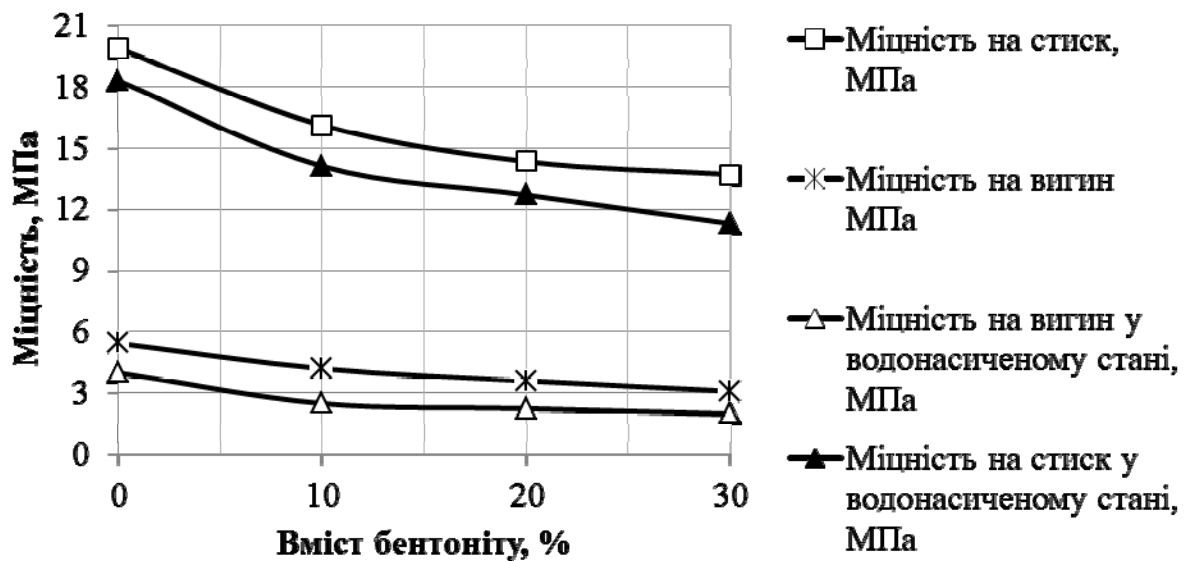


Рис. 3.8. Графік залежності міцності торкрет-бетону на стиск і вигин в сухому і водонасиченому стані від вмісту добавки бентоніту

Проведені дослідження говорять про те, що з усіх запропонованих коригуючих добавок найбільш раціональним є введення ПВА-емульсії, золи-виносу та мікрокремнезема. Однак введення коригуючих добавок до торкрет-бетонних сумішей на основі шахтних порід не у всіх випадках є економічно обґрунтованим, оскільки жодна із запропонованих нами коригуючих добавок не має значного впливу на технологічні і фізико-механічні характеристики твердіючих сумішей.

3.2. Стійкість готового каменю до впливу мінералізованої води

Ступінь корозії бетону в капітальних підземних виробках залежить від агресивності середовища, а також від властивостей самого бетону, таких як проникність і хімічна активність цементного каменю. Знаючи ступінь агресивності середовища і вид корозії, необхідно підібрати таку в'язучу речовину для твердіючої суміші, застосування якої в підземних несучих конструкціях підвищило б довговічність бетону.

Покращенню властивостей бетонів, експлуатованих в складних гідротехнічних умовах, присвячені праці найвизначніших радянських вчених: Б.Г. Скрамтаєва, А.Е. Шейкіна, С.А. Миронова, П.І. Боженова, А.Е. Десова, Н.А. Мощанського, В.І. Сорокера, С.В. Шестоперова та ін. Питанням розвитку теорії та практики використання тампонажу порід в гірничій справі присвячені праці Н.Г. Трупака, І.І. Вахрамєєва, С.Д. Воронкевича, Е.Я. Кіпко і ін.

Основними факторами, що визначають стійкість бетонів до дії агресивних середовищ, є: стійкість структуроутворюючих продуктів гідратації в'язучої речовини; густина цементного каменю і бетону; здатність до часткового або повного відновлення руйнувань за рахунок подальшої гідратації непрореагувавших частинок в'язучої речовини.

Однією з основних теоретичних передумов міцності, корозійної стійкості та довговічності будівельних композитів є створення оптимальної мікроструктури цементного каменю, зменшення пористості і підвищення тріщиностійкості за рахунок спрямованого застосування мінеральних наповнювачів. Найбільш вразливим місцем всіх композиційних матеріалів є контактна зона «в'язуча речовина - заповнювач». Саме з контактної зони починається проникнення агресивних середовищ вглиб матеріалу і його руйнування.

При введенні мінеральних добавок заповнювач плавно переходить в цементну матрицю, а контактна зона як така відсутня. На контактній зоні додатково формуються хімічно стійкі низькоосновні гідросилікати кальцію і цеолітоподібні новоутворення, що сприяє ущільненню структури бетону і зниженню його проникності. Фізико-хімічні процеси твердіння в'язучих систем призводять до утворення міцного конгломерату складного хімічного складу з капілярно-пористою структурою цементного каменю, що володіє високорозвиненою поверхнею новоутворень, що в значній мірі визначає інтенсивність корозійних процесів між зовнішнім середовищем і бетоном [130].

У період твердіння цементного каменю відбувається процес природного ущільнення його структури (коефіцієнт фільтрації зменшується). При впливі фільтраційного потоку на цементний камінь в цей період відбувається також другий процес - розчинення і винос з маси каменю продуктів гідратації мінералів, які входять до його складу. Отже, спостерігається два процеси, які мають протилежний характер і результат, звичайно, буде залежати від того який з них домінує і на скільки.

Контакт частки цементу з водою викликає вибіркочку гідратацію клінкерних мінералів на поверхні зерна. Спочатку гидратуються трьохкальцієвий алюмінат C_3A і алюмоферити кальцію C_4AF , потім трьохкальцієвий силікат C_3S і тільки через 1 годину двохкальцієвий силікат C_2S . Після утворення першого шару новоутворень гідратація клінкерних мінералів протікає в міру їх оголення, а точніше - проникнення до них води. Цементи, які містять підвищену кількість дрібних і великих кристалів, досягають абсолютної міцності в порівнянні з цементами, які містять однорідні за величиною кристали. Процес гідратації цементу є поверхневим, тому його

механізм не залежить від великих зерен цементу, тобто він є однаковим для цементів грубого і тонкого помелу [131].

У 1952 р В.М. Москвіним була запропонована класифікація основних видів корозії бетону. В процесі експлуатації в несприятливих гідрогеохімічних умовах можуть відбуватися такі види корозії бетону:

I тип – вилужування гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Складові частини цементного каменю розчиняються і виносяться зі структури бетону. Особливо інтенсивно ці процеси можуть протікати при фільтрації води через товщу бетонного кріплення;

II тип – обмінні реакції між мінералами цементного каменю і солями магнію підземних вод з утворенням продуктів, які не мають в'язучих властивостей;

III тип – кристалізація солі в тріщинах бетону, порах і капілярах, що викликає підвищення внутрішніх напружень і з часом може призвести до руйнування структурних елементів бетонного каменю [132, 133, 134].

Рідко зустрічається один вид корозії, але один з них, як правило, є провідним. У таблиці 3.11 представлені фактори, що впливають на довговічність тампонажних завіс [135].

Так як мінералізовані шахтні води можуть негативно вплинути на міцність і довговічність цементного каменю, в рамках даної роботи були проведені експериментальні дослідження з метою оцінки ступеню впливу підземних вод на якість покриттів з отриманих твердіючих сумішей. Був проведений порівняльний аналіз міцності на стиск зразків, які тверділи в нормальних умовах, і зразків, що знаходилися в контакті з мінералізованою водою протягом 1 року, на предмет зниження, або збільшення міцності на стиск.

Шахтні води Західного Донбасу є сильномінералізованими, корозійно активними по відношенню до бетонів та металевого кріплення, містять значну кількість іонів Cl^- і SO_4^- . Їх загальна жорсткість коливається в межах 10...25 мг-екв/л, водно-лужний показник $\text{pH} = 7...7,8$ [136].

Характеристика підземних вод шахт Західного Донбасу представлена в таблиці 3.12.

Результати оцінки стійкості цементного каменю до впливу мінералізованої води представлені в таблиці 3.15. З таблиці 3.15 слід, що протягом 1 року мінералізована шахтна вода не робить негативного впливу на отримані зразки твердіючих сумішей - процес набору міцності продовжується. В даному випадку мінералізована вода не є агресивним середовищем, так як зразки продовжують набирати міцність.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що при твердінні зразків бетону в мінералізованою воді їх міцність підвищилася на 10...30% у порівнянні із зразками, тверділи в нормальних умовах. Агресивна вплив може проявити себе в більш пізні терміни перебування бетонних зразків в контакті з мінералізованою водою.

У досліджуваному розчині збільшився вміст практично всіх хімічних елементів. Особливо необхідно відзначити збільшення вмісту кальцію в

шахтній воді з 1,9 до 4,8 г/дм³, що говорить про протікання корозії I та II видів між водним середовищем і зануреним в неї зразком бетону. Відбувається вилугування Ca(OH)₂ і перебіг обмінних реакцій між мінералами цементного каменю і шахтної води. При цьому виділяється Mg(OH)₂ утворює на поверхні бетону наліт. Зміна інших параметрів розчину не вносить істотного впливу на зміну його корозійних властивостей. Для зниження швидкості руйнування бетону, необхідно використовувати торкрет-бетони особливо низької проникності (високої щільності), здатних протистояти агресивному впливу мінералізованих вод. Підвищення корозійної стійкості бетонів можливо шляхом застосування спеціальних пластифікуючих добавок, пропитка бетонного покриття полімерами, зміною зернового складу [136, 138, 139].

Таблиця 3.11

Фактори, які впливають на довговічність тампонажних завіс

Група	Фактори	Основні заходи запобігання впливу факторів
Природні	Агресивність середовища до тампонажних матеріалів	Применение тампонажных материалов, устойчивых к данному виду агрессии
	Суфозний розмив підземним фільтраційним потоком	Використання швидкотвердіючих тампонажних матеріалів з підвищеними характеристиками міцності з урахуванням швидкості підземного фільтраційного потоку
Технологічні	Якість зведення тампонажної завіси	Використання обладнання, що забезпечує необхідні параметри процесу нагнітання
	Передчасний вплив фільтраційного потоку на завісу	Відповідність часу витримки завіси характеру твердіння тампонажного каменю
	Провадження вибухових робіт в безпосередній близькості від завіси	Врахування характеру впливу вибухових робіт на тампонажну завісу
Експлуатаційні	Деформація кріплення	Використання надійних конструкцій кріплення, покращення умов роботи кріплення тампонуванням вміщуючих порід
	Погіршення фільтраційних властивостей кріплення	Використання в конструкціях кріплення щільних і довговічних матеріалів, запобігання доступу підземних вод до матеріалу кріплення

Таблиця 3.12

Характеристики підземних вод шахт ПАТ «ДТЕК» Павлоградвугілля »

Назва шахти	рН	Загальна мінералізація, г/л	Хімічний склад, мг/дм ³ % экв				Коефіцієнт корозії, при $K_k = rMg^{++} -$ $rHCO_3 > 0,$ Кородуюче середовище	Агресивність на метал $SO_4^{--} + Cl^-$
			Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻		
Благодатна	7	23,3	$\frac{14584}{99}$	$\frac{6}{0,1}$	$\frac{644}{12}$	$\frac{85}{0,3}$	51,6	сильно агреси- вна
Западно-Донбаська	6,5 – 7	36,5	$\frac{23049}{98,6}$	$\frac{320}{1}$	$\frac{2152}{27}$	$\frac{140}{0,3}$	174,3	сильно- агреси- вна
ім. Героїв Космосу	6,9	27,2	$\frac{17375}{99}$	$\frac{201}{0,1}$	$\frac{1520}{25}$	$\frac{1280}{0,4}$	122,9	сильно- агреси- вна
ім. Сташкова	7,4	3,9	$\frac{1687}{71}$	$\frac{687}{14}$	$\frac{328}{22}$	$\frac{329}{5,4}$	16,6	сильно- агреси- вна

Таблиця 3.13

Результати оцінки стійкості цементного каменю до впливу
мінералізованої води

Співвідношення компонентів	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Міцність на стиск після 12 місяців перебування у контакті з мінералізованою водою, МПа
Тампонажні суміші		
1. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	11,37	12,9
2. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 2 : 1	18,78	23,9
3. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 3 : 0	16,74	22,8
Торкрет-бетонні та набризкбетонні суміші		
4. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3 % силікагеля + 3 % гідрофобізатора	17,8	25,1
5. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2	19,87	19,99
6. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 3% силікагеля	15,2	22,3
7. Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2 + 20% ПВА	15,9	24,0

У таблиці 3.13 представлено зміна хімічного складу шахтної води після перебування в ній зразків твердіючих сумішей на основі шахтних порід протягом 1 року.

Через це іноді не вдається розпізнати початкові форми корозії III виду. Лише після виникнення значних розтягуючих зусиль в стінках пор і капілярів, викликаних зростанням кристалоутворення, відбувається руйнування структурних елементів цементного каменю і спостерігається зброс міцності. У зв'язку з цим, при оцінці умов можливого розвитку корозії III виду слід обачно користуватися результатами короткострокових випробувань, коли в якості критерію стійкості бетону приймають його міцність.

Основною ознакою корозії III виду є накопичення солей в порах і капілярах бетону і подальша їх кристалізація, пов'язана зі збільшенням об'єму твердої фази. Солі або утворюються внаслідок хімічних реакцій взаємодії агресивного середовища зі складовими частинами цементного каменю, або приносяться ззовні і виділяються з розчину внаслідок поступового випаровування з нього води.

На зразках, твердівших у шахтній воді утворилися кристали солі та білий наліт. Це говорить про те, що має місце процес корозії III виду, а саме кристалізація солей в тріщинах, порах і капілярах цементного каменю. Накопичення солей підвищує внутрішні напруження, що з часом може призвести до руйнування структурних елементів цементного каменю.

Таблиця 3.14

Зміна хімічного складу шахтної води

Показники	Одиниця виміру	Склад розсолу		Збільшення/зменшення, %
		початковий	після витримки зразків	
1. Водневий показник (рН)	одиниця	6,6	6,6	0
2. Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	161,43	416,51	61,2
3. Хлориди	мг/дм ³	19285	53344	63,8
4. Сульфати	мг/дм ³	74	606,0	87,8
5. Нітрати	мг/дм ³	10	-	-
6. Калій + натрій	мг/дм ³	8867	25365	65,0
7. Кальцій	мг/дм ³	1905	4841	60,6
9. Магній	мг/дм ³	807	2115	61,8

На малюнках 3.9 і 3.10 представлені мікрофотографії зразків, які перебували в контакті з мінералізованою водою, і зразків, які не мали контакту з мінералізованою водою. Малюнки 3.9 і 3.10 підтверджують висновок про протікання процесів корозії III виду.

Можливість протікання корозійних процесів I та II видів разом з корозією III виду виникає при деяких умовах взаємодії зовнішнього середовища і бетону. Корозійний вплив значно посилюється при поперемінному зануренні бетону в

розчин солі і висушуванні, а також при частковому зануренні, так як до хімічних процесів взаємодії агресивного середовища і цементного каменю додаються фізичні процеси кристалізації продуктів корозії або розчинних компонентів і посилюються процеси масопереносу, наприклад, в результаті дії капілярних сил.

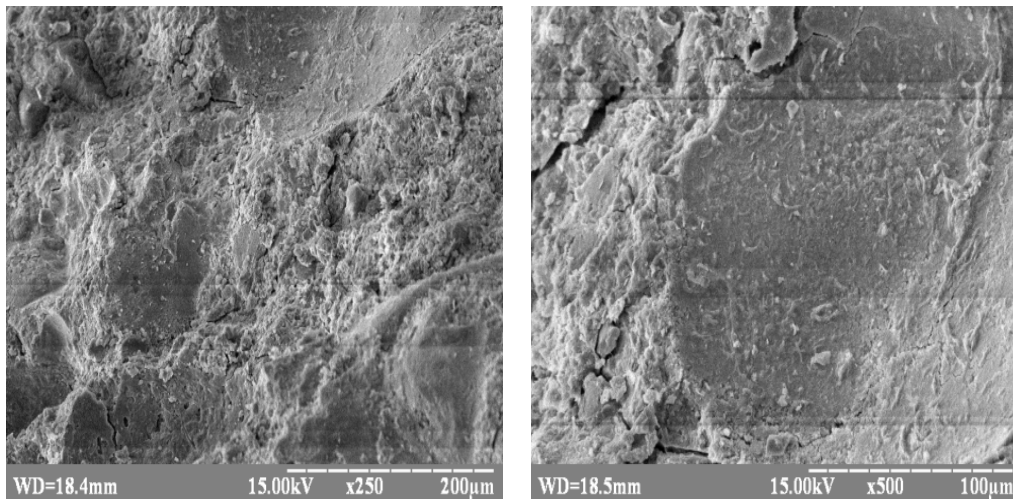


Рис. 3.9. Мікрофотографії цементного каменю на основі шахтних порід, який набрав міцність в нормальних умовах

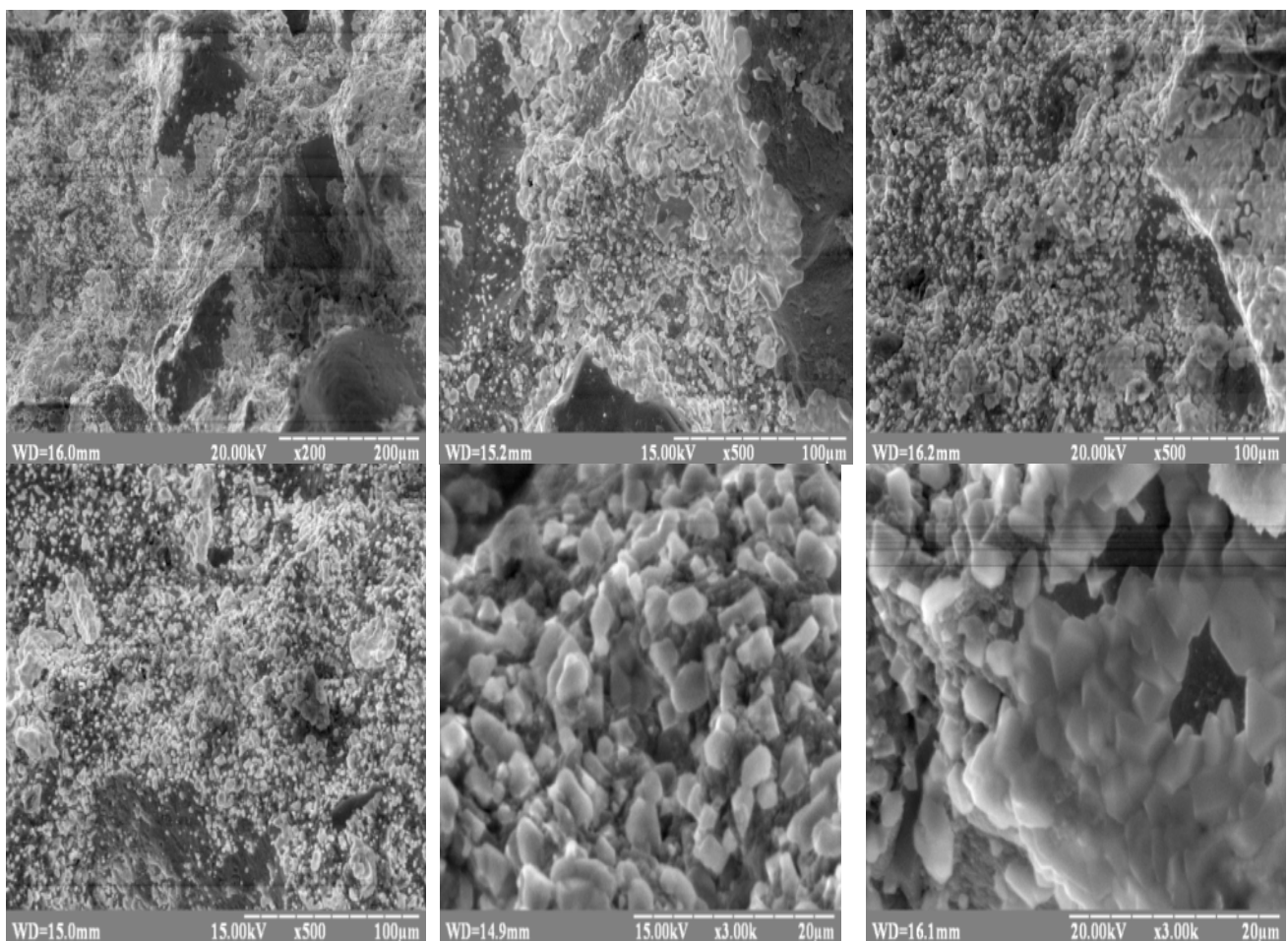


Рис. 3.10. Мікрофотографії цементного каменю на основі шахтних порід, який 6 місяців перебував в контакті з мінералізованою шахтної водою

Найбільшу стійкість при корозії III виду мають бетони на глиноземному і пуцолановому портландцементі. Зменшений вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$ унеможлиблює утворення та існування багатоосновних гідроалюмінатів, що перешкоджає, а іноді виключає утворення гідросульфоалюмінатів кальцію.

Швидкість корозії бетону наростає в початковий період і поступово згасає в часі. Зміна швидкості корозії пов'язана з утворенням на реакційній поверхні продуктів корозії, які гальмують доступ до неї агресивних речовин. Перший час швидкість корозії визначається швидкістю взаємодії агресивного середовища з компонентами бетону або швидкістю розчинення. Однак дуже швидко на реакційній поверхні з'являються продукти корозії, і на швидкість корозії починає впливати також дифузія агресивних середовищ до реакційної поверхні. У цей період, умовно названий дифузійно-кінетичним, швидкість корозії визначається як швидкістю хімічної взаємодії, так і дифузією реагентів.

На конструкціях, які знаходяться в підземних умовах, продукти корозії, як правило, залишаються на місці утворення. При цьому відбувається поступове збільшення товщини шару продуктів корозії і підвищення його щільності. У цих умовах швидкість корозії і глибина руйнування бетону визначаються дифузією реагентів і ступенем їх агресивності.

В даний час ще не розроблені способи, які дозволяли б надійно визначити глибину руйнування бетону на основі даних про його складі і умов агресивного впливу. Існуючі методи прогнозування глибини корозії бетону ґрунтуються на проведенні попередніх випробувань, за результатами яких з урахуванням закономірностей розвитку процесу корозії при тривалих термінах впливу визначається глибина корозії бетону через заданий проміжок часу.

Процеси корозії бетонних покриттів в умовах шахт Західного Донбасу протікають не так інтенсивно, щоб бетонне покриття ставало непридатним раніше, ніж закінчується термін експлуатації більшості капітальних виробок, де планується застосування розроблених сумішей. Таким чином, розроблені твердіючі суміші на основі вуглевміщуючих порід шахт Західного Донбасу є стійкими до дії мінералізованих шахтних вод. Більше того, вони можуть бути ефективним захисним покриттям для металевих елементів гірничих кріплень, також виступати в ролі протифільтраційної завіси.

ВИСНОВКИ

1. Введення коригуючих добавок до складу отриманих твердіючих сумішей можливо тільки в тому випадку якщо це є технологічно і економічно обґрунтованим, так як проведені дослідження говорять про те, що подібний комплекс заходів найчастіше не дає значного ефекту.

2. Серед всіх використаних добавок найбільш ефективним виявилось введення ПВА-емульсії в кількості 10%. ПВА-емульсія має пластифікуючий вплив на бетонну суміш, покращує адгезію торкрет-бетонної суміші до породного масиву.

3. Збільшення кількості ПВА-емульсії у складі суміші негативно позначається на міцності зразків на стиск. При випробуванні тих же зразків на

вигин, спостерігається чітка тенденція збільшення міцності при вигині зі збільшенням кількості ПВА-емульсії в складі бетонної суміші від 0 до 30%.

4. Введення до складу торкрет-бетонної суміші золи-виносу є досить ефективним з точки зору утилізації відходів енергетичної галузі промисловості. Оптимальна кількість золи-виносу ТЕС в складі отриманих твердіючих сумішей становить 20...30%.

5. Отримані склади твердіючих сумішей є стійкими до контакту з мінералізованою шахтною водою. Більше того, вони є якісною протифільтраційною завісою, так як використаний заповнювач (суміш аргілітів та алевролітів) має здатність поглинати і утримувати воду.

РОЗДІЛ 4

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ВУГЛЕВМІЩУЮЧИХ ПОРІД ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

4.1. Використання неруйнівного і руйнівного методів контролю міцності зразків готового каменю

У практиці експлуатації бетонів існує кілька методів випробування їх на міцність, основними з яких є метод стандартних зразків, випробування вибурених з конструкції кернів і методи неруйнівного контролю. Кожен з них характеризується своїми перевагами і недоліками, має ряд обмежень, які накладає на них специфіка виконання робіт з визначення міцності. У зв'язку з цим було розглянуто два методи випробувань: визначення міцності бетону молотком Шмідта (склерометр) і подальше випробування на одноосьовий стиск на гідравлічному пресі з метою уточнення отриманих значень.

Найбільшого поширення набув метод стандартних зразків, який полягає в установці зразків в прес і подальшому безперервному і рівномірному навантаженні його до руйнування зразка. На зчитувальному пристрої пресу фіксується руйнівне навантаження, за яким розраховують міцність бетону. Даний спосіб визначення міцності бетону відноситься до руйнуючих методів і є дорогим.

Неруйнівний метод контролю є більш універсальним, дозволяючи проводити неодноразові вимірювання параметрів міцності бетонної конструкції. Випробування бетону за допомогою молотків Шмідта є одним з найбільш часто використовуваних методів неруйнівного контролю якості бетонних конструкцій. Основною відмінністю даного методу від попереднього полягає в тому, що при використанні цього методу безпосередньо вимірюваною величиною є не міцність, а такий фізичний показник, як ударна твердість, пов'язана з вимірюваною величиною кореляційною залежністю. Для встановлення кореляційної залежності з метою визначення міцності бетону використовують градувальну (тарувальну) залежність між міцністю бетону і непрямою характеристикою [143, 144].

Практика неруйнуючих випробувань бетону показує, що навіть суворе дотримання зазначених у нормативах методикам побудови градувальних залежностей абсолютно не гарантує адекватності результату неруйнівного визначення міцності бетону в конструкціях, даними пресових випробувань вилучених з масиву зразків [145]. Тому «завищені» або «занижені» показники, отримані від випробувань молотком Шмідта, коригуються з урахуванням результатів випробувань зразків на пресі. Використання обладнання для проведення неруйнівного і руйнівного контролю однієї фірми (компанія Tecnotest) дозволяє отримати більш коректні результати для подальшого порівняння обох методів.

Метою даної частини роботи було одержання кривих переведення значень міцності бетону на основі порівняння результатів використання неруйнівного і руйнівного методів контролю для розширення можливостей

застосування молотка Шмідта. У даній частині роботи був використаний молоток Шмідта компанії Tecnotest (рис. 4.1).

Молоток Шмідта для контролю міцності бетону являє собою механічний пристрій, призначений для виконання швидкого неруйнівного контролю бетону. Принцип дії молотка полягає в наступному. Даний прилад вимірює значення відскоку R . Існує певне співвідношення між зазначеним значенням і міцністю бетону. При визначенні значення відскоку R враховують такі чинники:

- напрямок удару: горизонтально, вертикально (вгору або вниз);
- вік бетону;
- розмір і форма еталонного зразка (куб, циліндр).



Рис. 4.1. Молоток Шмідта компанії Tecnotest

Порядок виконання робіт з молотком Шмідта полягає в наступному. Перед проведенням випробувань здійснювалася зачистка поверхні шліфувальним каменем. Потім молоток для контролю бетону розташовувався перпендикулярно поверхні, що випробовується. Робочий орган, так званий «бойок» молотка завдає удар до спеціально підготовленої гладкої і чистої бетонної поверхні з певною енергією. Далі вимірюється довжина поворотного ходу бойка, яка залежить від твердості бетону. За допомогою перекладних таблиць цю величину можна використовувати для визначення міцності на стиск. Зображення із зазначенням компонентів молотка Шмідта представлено на рис. 4.2.

Молоток для контролю бетону притискався до поверхні, поки не спрацював ударний плунжер (1). Для закріплення плунжера (1) після кожного удару натискали кнопку (4). Потім зчитували і записували значення відскоку R , позначене покажчиком (2) на шкалі (3).

При проведенні випробувань для кожної поверхні, що випробовується відбувалося в середньому 8 - 10 ударів молотком. На підставі отриманих значень бралася середня величина з 8-10 значень відскоку R , отриманих в результаті проведених вимірювань. Перерахунок виміряної величини відскоку R в значення міцності бетону в МПа здійснюється за градуальною залежністю, що є, по суті, кривою переведення, представленою на рис. 4.3.

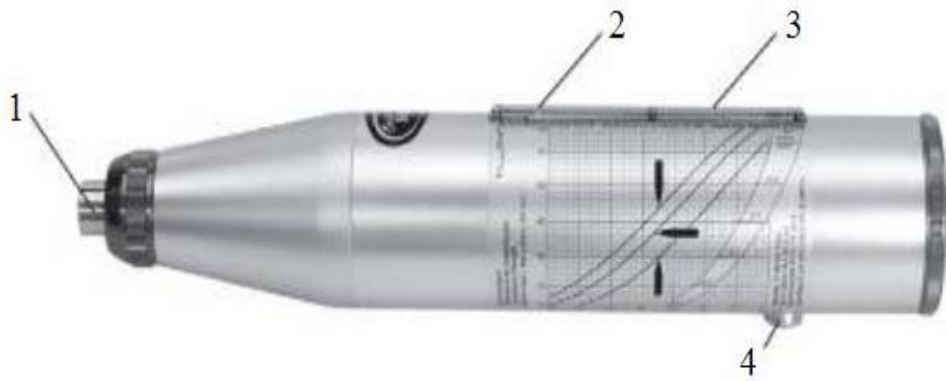


Рис. 4.2. Складові елементи молотка для контролю бетону

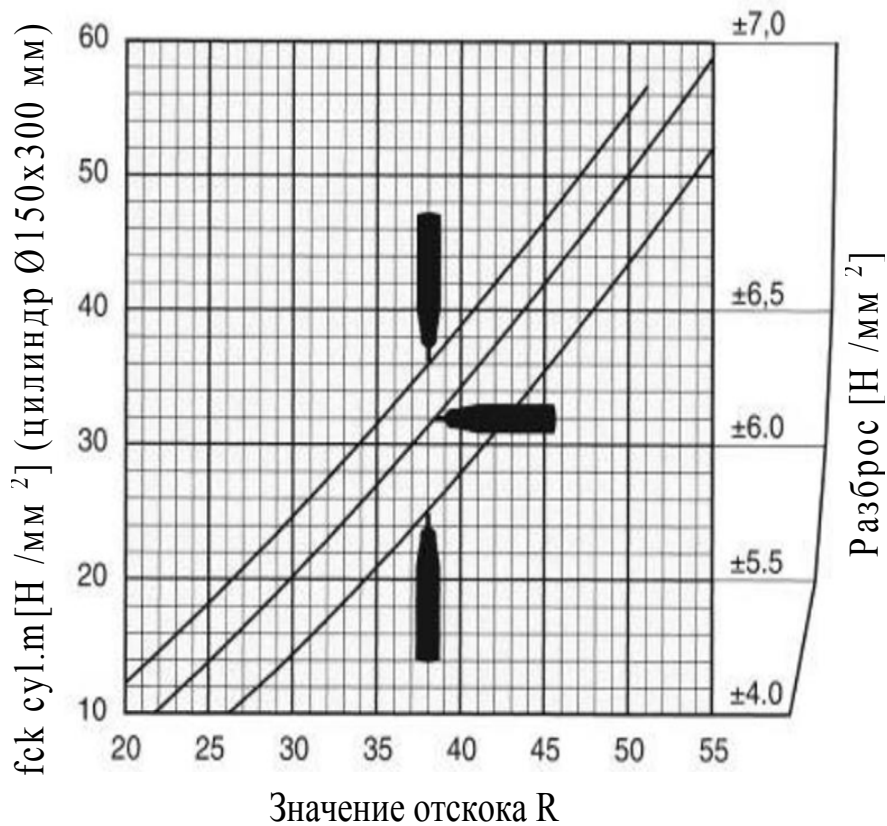


Рис. 4.3. Криві переведення, побудовані на підставі середнього значення міцності на стиск циліндра і значення відскоку R

Молотки для контролю бетону, зображені на рис. 4.3, вказують напрямок удару. У даній роботі випробування зразків молотком Шмідта здійснювалися в горизонтальному положенні, тому для переведення значення відскоку R була використана проміжна крива. Як впливає з малюнка 4.4, зі збільшенням міцності бетонного зразка спостерігається збільшення різниці значень в МПа. Даний діапазон значень заявлений виробником. Істинна розбіжність в значеннях визначалася у ході проведення порівняльних випробувань зразків на пресі (рис. 2.12, п.2.3.2).

В ході проведення випробувань неруйнівним (молоток Шмідта) і руйнівним (випробування на пресі) методами контролю бетону були отримані дані, які зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати випробувань бетонних кубів на основі різних складів неруйнівним і руйнівним методами контролю

Співвідношення компонентів	Міцність на стиск, МПа		Густина матеріалу, кг/м ³
	Неруйнівний метод (молоток Шмідта)	Руйнівний метод (прес)	
Набризкбетон на гранітному щебені			
Ц : П : Щ = 1 : 1 : 2 (контрольний)	26	62,9	2320
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,1	25	58,68	2392
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,2	21	55,1	2420
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,3	26	62,33	2329
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,4	20	53,25	2360
Ц : П : Щ : Х = 1 : 1 : 2 : 0,5	22	56,4	2330
Торкрет-бетон на пустій породі			
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2	14	23,56	2265
Ц : П : Пор : ПВА = 1 : 1 : 2 : 0,1	17	35,7	2180
Ц : П : Пор : ПВА = 1 : 1 : 2 : 0,2	13	18,6	2180
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2 + 3% Силікагеля	<10	9,2	2150
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2 + 3% Силікагеля + 3% Гідрофобізатора	13	16,9	2140
Тампонажні матеріали на пустій породі			
Ц : П = 1 : 3	10	10,9	2030
Ц : П : Пор = 1 : 2 : 1	10	10	2200
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 2	<10	9,6	1910
Ц : П : Пор = 1 : 1 : 3	< 10	9,98	1787

Примітка: Ц – цемент, П – пісок, Щ – щебінь, Х – хвости збагачення залізної руди, Пор – порода

Беручи до уваги, що рецептури представлених зразків не представляли для проведення подальших робіт ніякого інтересу, всі розглянуті зразки були ранжовані за міцністю для кожного з методів випробувань. Дані представлені в табл. 4.2.

Кількість варіантів обмежена числом 12. Решта три, міцність яких за молотком Шмідта не могла бути виміряна – не ввійшли в цю таблицю. На підставі даних, представлених в таблиці 3.15, побудовані графіки параметрів міцності, визначених за допомогою молотка Шмідта і пресу для кожного варіанта. Порівняльна діаграма показників міцності представлена на рис. 4.4.

Діаграма на рис. 4.4 показує значні розбіжності у використанні двох методів для визначення міцності. Це в значній мірі обмежує використання неруйнівних методів контролю. Так збіжність результатів за даними способами є тим більшою, чим менше вимірюваний параметр міцності бетонного зразка. Для отримання можливості використання неруйнівних методів контролю в більш широкому діапазоні параметрів і визначення відповідності отриманих за допомогою молотка Шмідта параметрів істинним значенням міцності, яку визначено після випробування зразків на стиск на лабораторному пресі, побудований графік залежності параметрів R_2 від R_1 . Дана залежність представлена на рис. 4.5.

Таблиця 4.2

Ранжируваний список результатів випробувань бетонних кубів за величиною міцності в порядку зменшення

№ п/п	Міцність на стиск, МПа		Відхилення у результатах випробувань $\frac{R_2 - R_1}{R_2} \cdot 100\%$
	Неруйнівний метод контролю (молоток Шмідта) R_1	Руйнівний метод контролю (прес), R_2	
1	26	62,9	58,6 %
2	26	62,33	58,3 %
3	25	58,68	57,4 %
4	22	56,4	60,9 %
5	21	55,1	61,9 %
6	20	53,25	62,4 %
7	17	35,7	52,4 %
8	14	23,56	40,6 %
9	13	18,6	30,1 %
10	13	16,9	23,1 %
11	10	10,9	8,3 %
12	10	10	0 %

Дана лінія тренда описується поліноміальною залежністю 4-го ступеня (стандартна помилка S становить 1,711, при коефіцієнті кореляції r дорівнює 0,997):

$$R_2 = R_1^4 - 0,2 R_1^3 + 6 R_1^2 - 68,3 R_1 + 275,4$$

Параметри міцності бетонних зразків, визначені за допомогою гідравлічного преса, знаходяться в залежності від параметрів міцності, визначених за допомогою склерометра, яка з високим ступенем кореляції результатів визначається поліномом 4-го ступеня, що дозволяє визначати міцність бетонних конструкцій неруйнівним методом з більш високою збіжністю результатів з руйнівними методами.

Були проведені лабораторні випробування міцності бетонних зразків за допомогою молотка Шмідта і наступні випробування зразків на гідравлічному

пресі. Результати випробувань показали розбіжність в значеннях міцності бетонних зразків від 62,4% до 0. Причому відхилення в результатах випробувань за допомогою склерометра і гідравлічного преса носять нерівномірний характер.

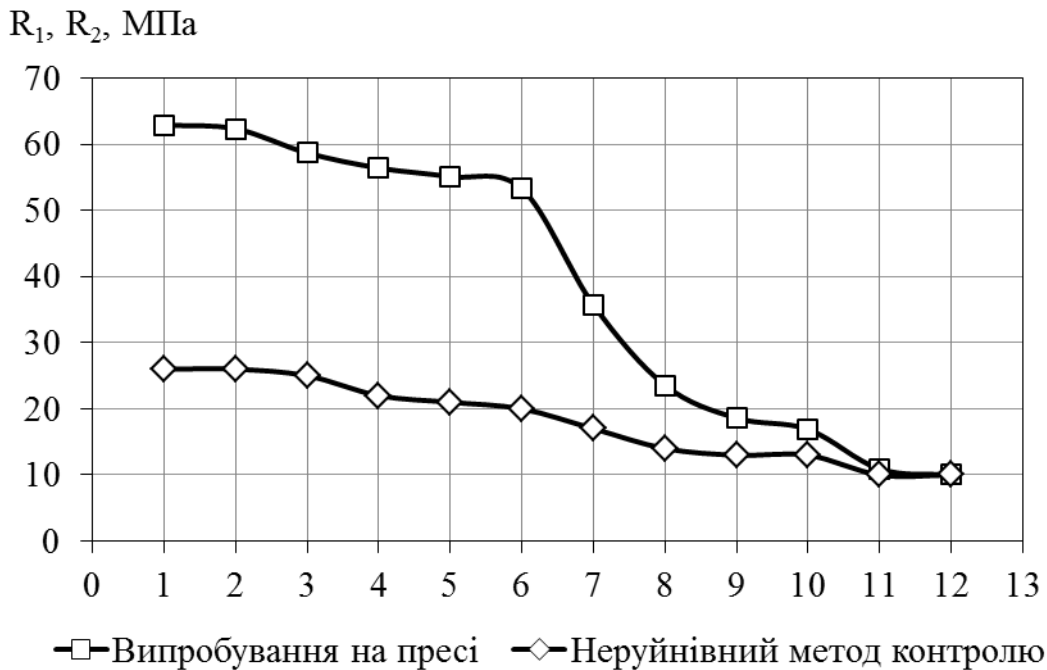


Рис. 4.4. Показники міцності зразків бетону, отримані за допомогою молотка Шмідта (R_1), і в результаті випробування на пресі (R_2)

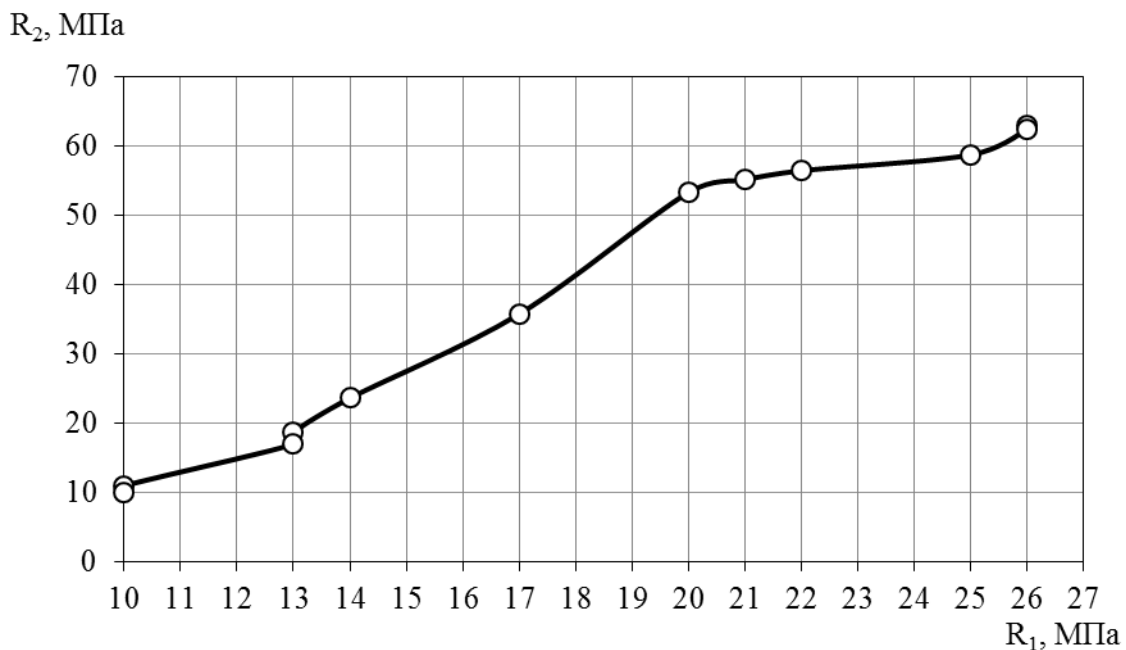


Рис. 4.5. Порівняння параметрів міцності, визначених за допомогою молотка Шмідта (R_1) з параметрами міцності, отриманими на лабораторному пресі (R_2)

При менших значеннях міцності зразків дана величина носить незначний характер, стрімко зростаючи зі збільшенням міцності зразків від 10 до 20 МПа. При міцності зразків в 20 МПа спостерігається найбільше відхилення становить

62,4%. Побудована крива переведення параметрів міцності, отриманих за допомогою молотка Шмідта до результатів стандартних випробувань зразків на пресі, дозволяє нівелювати цей недолік і проводити випробування з урахуванням особливостей неруйнівного методу контролю на основі використання склерометра.

Відповідність результатів випробувань за допомогою неруйнівного методу контролю результатами руйнівного методу контролю міцності бетону характеризується поліноміальною залежністю, використання якої дозволить з більш високим ступенем достовірності отриманих результатів використовувати склерометр для визначення міцності бетонних конструкцій. Використання результатів даної роботи зробить можливим визначення міцності бетонних конструкцій на основі застосування склерометра в польових умовах, з отриманням максимально наближених до реальних показників значень міцності бетону в результаті обробки та перерахунку показників склерометра.

4.2. Методика проектування рецептури тампонажних (торкрет- і набризкбетонних) сумішей

До теперішнього часу розроблено безліч технологій зворотної закладки пустих порід. Однак питання приготування твердіючих сумішей на їх основі раніше не розглядалося. Застосування пустих порід для приготування твердіючих сумішей є як технологічно, так і економічно ефективним, оскільки знижуються витрати на закупівлю і транспортування природних наповнювачів, відсутня необхідність видавати пусті породи на денну поверхню, вирішується ряд екологічних проблем.

Однак твердіючі суміші на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу не є традиційними матеріалами. У зв'язку з цим на базі основних закономірностей їх структуроутворення необхідно розробити принципові положення розрахунку рецептури і властивостей твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу. Будемо ґрунтуватися на принципових положеннях кінетики структуроутворення дисперсних гетерогенних систем. При цьому слід врахувати, що існує обґрунтування фізико-хімічних процесів структурування для глиноцементних розчинів [96, 139].

Однак крім уже відомих і широко застосовуваних матеріалів попереду стоїть завдання максимального застосування відходів промисловості для приготування твердіючих сумішей, які застосовуються при кріпленні гірничих виробок. Одними з таких відходів є відходи гірничодобувної галузі промисловості – вуглевміщуючі (пусті) породи. При оцінці придатності пустих порід важливо визначити їх мінералогічний, хімічний та гранулометричний склади з метою управління реологічними і фізико-механічними властивостями твердіючих сумішей.

В основу теорії структурування тампонажних суспензій покладені фізико-механічні закономірності твердіння дисперсних глинистих систем [146, 147]. Пластична міцність тампонажних сумішей визначається виразом:

$$P_m = P_{mн} \left(1 + \frac{\rho_T - \rho_B}{\gamma - \rho_B} \times \frac{V_{II}}{V} \right)^k \quad (4.1)$$

де $P_{mн}$ – початкова міцність суспензії;

ρ_B – густина води;

ρ_T – густина твердої фази суспензії;

γ – густина суспензії;

V – загальний об'єм суспензії;

V_n – об'єм води, поглинутий добавкою.

Оскільки показник K – це величина специфічна, то його зазвичай заміняють його глинистої характеристикою – числом пластичності M_p .

$$K = \frac{30,3}{\sqrt{M_p}} \quad (4.2)$$

де M_p – число пластичності в процентах, яке визначає ступінь придатності порід.

У зв'язку з цим, початкова міцність тампонажної суспензії істотно впливає на швидкість їх структурування, а показник K визначається тільки кристалохімічною будовою твердої фази суспензії. Тому придатність вуглевміщуючих порід для приготування тампонажних сумішей визначається їх здатністю в дисперсному вигляді утворювати водні суспензії із заданою пластичною міцністю [88, 95].

Виходячи з результатів досліджень властивостей тампонажних розчинів на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу, доцільно в їх склад вводити природний пісок в якості отошуючої добавки, яка рівномірно розподіляючись, створює структурну решітку, що в свою чергу призводить до збільшення механічної міцності. Методика проектування рецептури тампонажних і торкрет- (набризг-) бетонних сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу представлена в таблиці 4.3.

Блок-схема методики проектування рецептури твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу показана на рис. 4.6.

Придатність сировини для тампонажних сумішей визначається також і концентрацією активних катіонів, яка пов'язана з добутком розчинності, що характеризує ступінь дисоціації мінералів гірських порід. Концентрація активних катіонів повинна бути менше $2,5 \cdot 10^{-6}$ моль/г. Цей критерій визначає мінімальну міцність тампонажних суспензій, але при відомій початковій міцності мірою ступеню придатності порід служить густина суспензії, яка і визначає її технологічні властивості – прокачуваність, розтікання, в'язкість і т.п.

Відомо, що кількість адсорбованої води пропорційна питомій поверхні дисперсного матеріалу, тобто залежить від ступеню помелу. При цьому відбувається осмотичне зв'язування води при дисоціації іонів на поверхні частинок. При розробці тампонажних суспензій з необхідними властивостями необхідно знати залежність пластичної міцності і кінетику зв'язування води в системі.

Методика проектування рецептур твердіючих сумішей на основі
вуглевміщуючих порід Західного Донбасу

Контрольовані параметри	Розрахункові значення
1. Вихідні властивості порід	$\rho_{ш} = 2,1 \dots 2,5 \text{ т/м}^3$; $M_p = 5 \dots 8$; $C_k = 2,5 \cdot 10^6 \text{ моль/г}$
2. Розтічність	$l = 18 \dots 22 \text{ см}$
3. Густина суспензії	$\rho = 1710 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$
4. Швидкість седиментації	$v_c \geq 0,002 \text{ м/с}$
5. Структурна в'язкість	$30 \dots 45 \text{ Па}$
6. Міцність на стиск	$R_{\text{торк.}} = \frac{1,9}{1 + 6,1e^{-5,6t}}$ $R_{\text{набр.}} = \frac{1,6}{1 + 3e^{-1,1t}}$ $R_{\text{тамп.}} = \frac{1,9}{1 + 6,1e^{-5,6t}}$
7. Міцність на вигин торкрет-бетону (набрызгбетона)	$R_{\text{изг.}} = 3,4 \dots 6 \text{ МПа}$
8. Міцність адгезії	$R_{\text{адг.}} = 6 \dots 10,2 \text{ кг/см}^2$
9. Відскок	$10 \dots 15 \%$

Розробка твердіючих сумішей проводилася на базі гірничодобувних відходів шахти ім. Героїв Космосу ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Пусті породи представлені аргілітами і алевролітами, рідше зустрічаються піщаники. Оскільки використані породи, у своїй більшості, глинисті, то виключається головний недолік традиційних цементно-піщаних сумішей – седиментаційна нестабільність. Рецептури тампонажних, торкрет- і набрызг- бетонних сумішей і їх властивості приведені в розд. 2.4 і 3.1.

Дослідження кінетики твердіння тампонажних, торкрет- і набрызг- бетонних сумішей також проводили за збільшенням механічної міцності в часі, тобто у віці 7, 14, 21 і 28 діб. Відповідно до отриманих результатів досліджень і гірничо-технічними вимогами була розроблена методика проектування твердіючих сумішей, де наведені основні вимоги до твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу, залежності для визначення показників міцності і основні методи контролю якості проведених робіт.

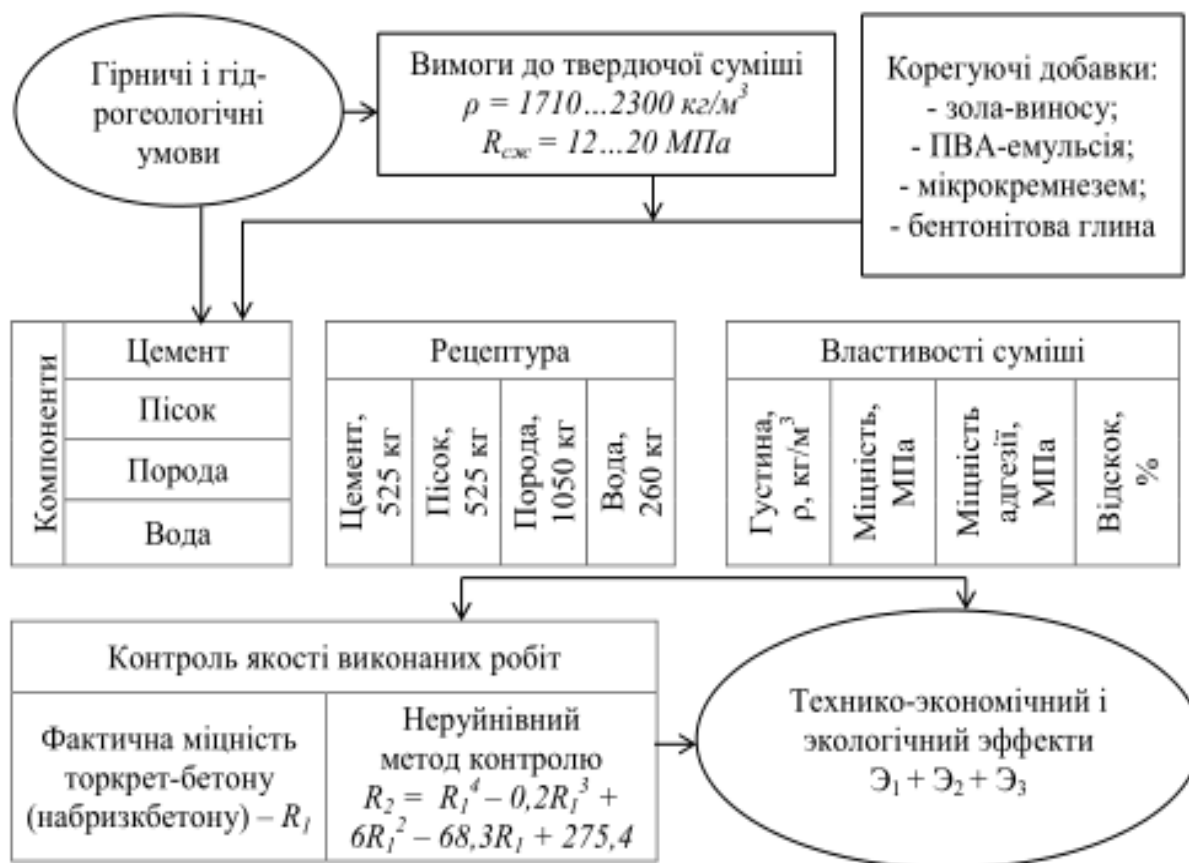


Рис. 4.6. Блок-схема методики проектування рецептури твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу

4.3. Технологічні схеми і компоновка обладнання підземного комплексу подрібнення породи, призначеної для виготовлення твердіючих сумішей

При оцінці можливості реалізації технології подрібнення порід і використання її для приготування набризкбетонних (торкрет-бетонних) сумішей і тампонажних розчинів, на розглянутих нище варіантах схем, в першу чергу, розглядався цикл подрібнення. Особливістю циклу подрібнення для приготування твердіючих сумішей є те, що одержувану фракцію породи необхідно розділяти на два розміри. Для приготування тампонажних розчинів потрібен заповнювач розміром $0 \div 5$ мм. Для набризкбетонних і торкрет-бетонних сумішей необхідна фракція $5 \div 10$ мм, що ускладнює технологічний ланцюжок подрібнення породи.

Розглядаючи технологічний ланцюжок подрібнення породи, що надходить із підготовчих вибоїв, відповідної якості, з позицій раціональності рішення і можливості застосування мінімальної кількості необхідного транспортно-вантажного і дробильно-сортувального обладнання, запропоновані три технологічні схеми.

Технологічна схема №1 (рис. 4.2) підземного комплексу подрібнення породи з використанням бокового перекидача призначена для подрібнення і класифікації породи від проходки гірських виробок на фракції $0 \div 5$, $5 \div 10$ мм, для використання її для приготування тампонажних розчинів і торкретбетону. При цьому:

- доставка породи здійснюється у глухих вагонетках УВГ-3,3;
- розвантаження вагонів проводиться за допомогою бокового перекидача ОБШ на підшву виробки;
- завантаження породи в бункер $V = 3,0 \text{ м}^3$ виконується породопозручною машиною безперервної дії ПНБ і причіпного перевантажувача ПДЛ-80, а безпосередньо з бункера в дробарку - пластинчастим живильником;
- подрібнення породи здійснюється в щоківій (роторній або конусній) дробарці;
- класифікація породи після подрібнення виконується 2-х дековим грохотом з передачею фракції через бункер-течку на стрічкові конвеєри;
- завантаження подрібненої породи кожної фракції у вагони здійснюється стрічковими конвеєрами № 1 і № 2 безпосередньо у вагонетки УВГ-3,3 або ж у бункер-накопичувач, і далі в вагони. Ємності бункера-накопичувача - на 6 м^3 кожної фракції, тобто 12 м^3 ;
- подача вагонеток для розвантаження боковим опрокидувачем і під завантаження подрібненою породою виконується за допомогою канатного штовхача.

Кількість обслуговуючого персоналу - 2 людини, а саме:

1 людина - опрокидчик і машиніст породопозручної машини.

1 людина - оператор дробильної установки, грохоту-класифікатора і стрічкових конвеєрів.

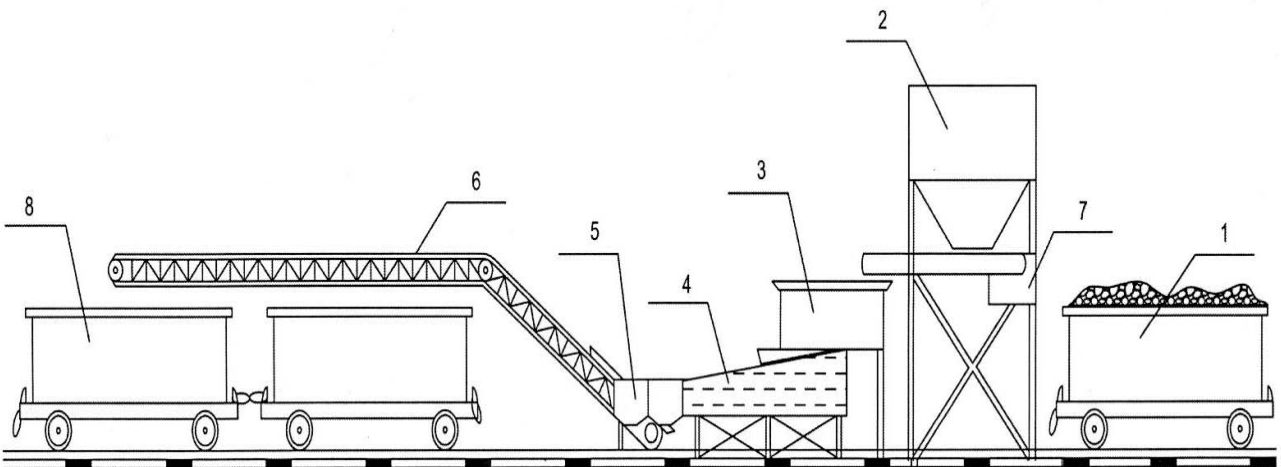


Рис. 4.7. Технологічна схема подрібнення породи у виробці №1

Специфікація обладнання (шт.)

1. Вагонетка УВГ -3,3 нагружена породою – із розрахунку.
2. Бункер – накопичувач ($V = 6 \text{ м}^3$) – 1.
3. Дробарка – 1.
4. Грохот-класифікатор 2-х дековий – 1.
5. Бункер течка – 1.
6. Конвеєр стрічковий (В - 800) – 1.
7. Живильник пластинчастий – 2.
8. Вагонетка УВГ – 3,3 порожня – із расчета.

Технологічна схема №2 (рис. 4.3) підземного комплексу подрібнення породи з використанням кругового перекидача і розвантажувальної ями призначеної для подрібнення і класифікації породи від проходки гірських виробок на фракції $0 \div 5$, $5 \div 10$ мм, для використання її для приготування тампонажних розчинів і торкретбетону . При цьому:

- доставка породи здійснюється у глухих вагонетках УВГ-3,3, або вагонетках з донним розвантаженням УВС-2,5 (ВД -3,3);
- розвантаження завантажених породою вагонеток УВГ - 2,3 здійснюється з використанням кругового перекидача, а вагонеток УВС - 2,5 (ВД - 3,3) з використанням розвантажувальних кривих у розвантажувальну яму, обладнану пластинчастим живильником, який дозує подачу породи на стрічковий конвеєр;
- порода подається стрічковим конвеєром або безпосередньо в дробарку (якщо дробарка має достатні розміри завантажувального вікна) або в бункер-накопичувач ємністю $V = 6 \text{ м}^3$;
- з бункера-накопичувача порода пластинчастим живильником подається в дробарку;
- подрібнена порода з дробарки передається через бункер-течку на 2-х дековий грохот-класифікатор, де відбувається її розсіювання на фракції $0 \div 5$; $5 \div 10$ мм;
- розподілена на фракції порода через бункер-течку передається на стрічкові конвеєри № 1 і № 2 і далі в 2-х секційний бункер-накопичувач; $V = 12 \text{ м}^3$;
- з бункера-накопичувача подрібнена порода пофракційно за допомогою пластинчастого живильника завантажується у вагонетки;
- подача вагонеток з породою на розвантаження до кругового опрокидувача і порожні вагонетки для навантаження до бункера-накопичувача подається за допомогою канатного штовхача ТКС-22;

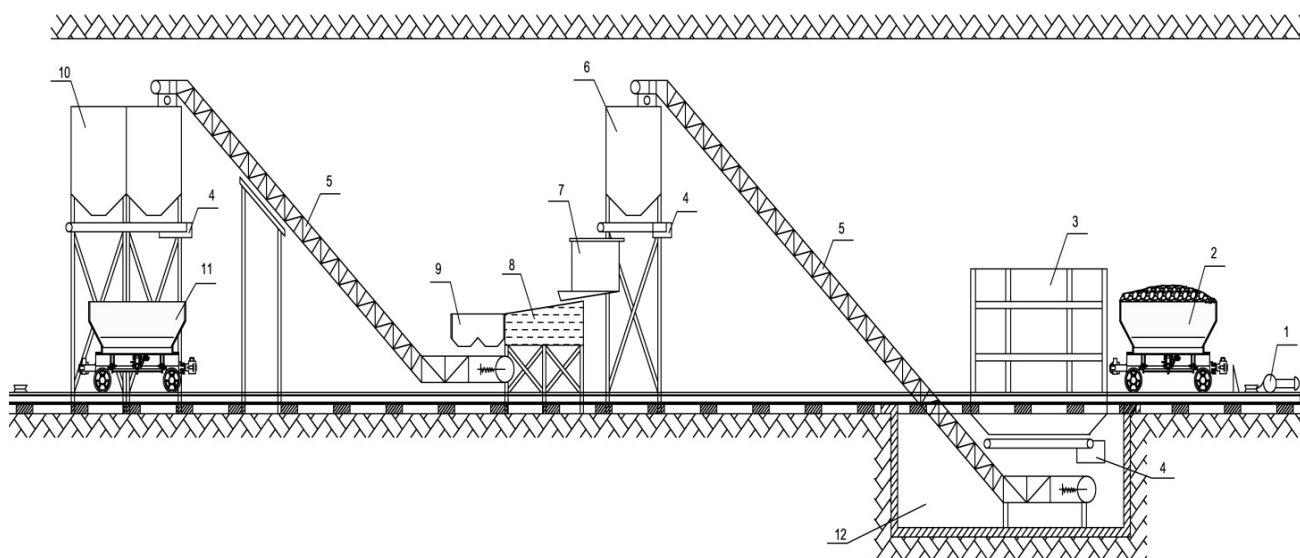


Рис. 4.8. Технологічна схема подрібнення породи у виробці №2

Кількість обслуговуючого персоналу така ж, як і за схемою № 1 - 2 людини.

Специфікація обладнання (шт.):

1. Канатний штовхач ТКС – 22 – 1.
2. Вагонетка (напружена породою) УВГ -3,3 – із розрахунку.
3. Перекидач боковий – 1.
4. Живильник пластинчастий –3.
5. Конвеєр стрічковий –2.
6. Бункер – накопичувач ($V= 6 \text{ м}^3$) –1.
7. Дробарка –1.
8. Грохот – класифікатор 2-х дековий –1.
9. Бункер – течка –1.
10. Бункер-накопичувач ($V = 12 \text{ м}^3$).
11. Вагонетка (порожня) УВГ – 3,3 – із розрахунку.
12. Розгрузочна яма –1.

Технологічна схема № 3 (рис. 4.4) підземного комплексу подрібнення породи з використанням свердловини між горизонтами призначена для подрібнення і класифікації породи від проходки гірничих виробок на фракції $0 \div 5$, $5 \div 10$ мм, для використання її для приготування тампонажних розчинів і торкретбетону.

При цьому:

- доставка породи здійснюється в вагонетках з донним розвантаженням УВС-2,5 (ВД -3,3);
- розвантаження вагонів проводиться з використанням розвантажувальних кривих у вертикальну свердловину з приймальні воронкою;
- на приймальній воронці проводиться відділення великих шматків породи з розміром вище розміру завантажувального вікна дробарки, за допомогою колосникової решітки;
- завантаження породи у дробарку виконується пластинчастим живильником, встановленим на нижній позначці свердловини;
- подрібнення породи здійснюється щоквою (роторною або конусною) дробаркою, встановленою на опорній рамі;
- подрібнена порода з дробарки передається на 2-х дековий грохот-класифікатор, де відбувається її розсіювання на фракції $0 \div 5$; $5 \div 10$ мм;
- розподілена на фракції порода передається в 2-х секційний бункер-накопичувач. Ємності бункера-накопичувача - на 6 м^3 кожної фракції, тобто 12 м^3 ;
- з бункер-накопичувача подрібнена порода пофракційно за допомогою пластинчастого живильника завантажується в вагонетки;
- подача вагонеток для розвантаження на розвантажувальні криві і під завантаження дробленої породою виконується за допомогою канатного штовхача.

Кількість обслуговуючого персоналу 2 людини, а саме:

- 1 людина – оператор розвантаження вагонетки у свердловину на гор. 350 м.
- 1 людина – оператор дробильної установки і грохоту-класифікатора на гор. 370 м.

Специфікація обладнання (шт).

1. Вагонетка ВД -3,3 нагружена породою – із розрахунку.
2. Колосникова решітка – 1.
3. Канат – 1.
4. Обсадна труба – 1.
5. Живильник пластинчастий – 2.
6. Дробарка – 1.
7. Грохот-класифікатор 2-х дековий – 1.
8. Бункер – накопичувач ($V = 6 \text{ м}^3$) – 2.
9. Вагонетка УВГ – 3,3 порожня – із розрахунку.

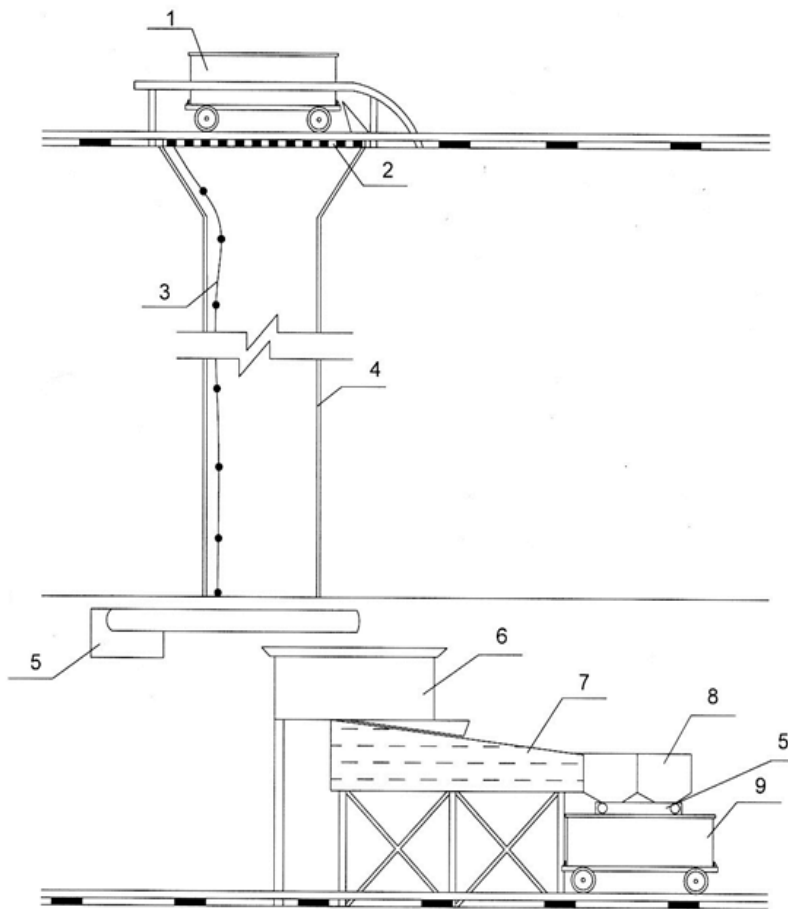


Рис. 4.9. Технологічна схема подрібнення породи у виробленні №3

В рамках комплексу робіт по використанню подрібненої породи розглянуті технологічні схеми підземного комплексу подрібнення породи, призначені для подрібнення і класифікації породи, що надходить з підготовчих вибоїв, відповідної якості, з позицій раціональності рішення і можливості застосування мінімальної кількості необхідного транспортно-вантажного і дробильно-сортувального обладнання. Технологічний комплекс передбачає подрібнення породи на фракції: $0 \div 5 \text{ мм}$ для приготування тампонажних розчинів і $5 \div 10 \text{ мм}$ - для приготування торкрет-бетону.

4.4. Визначення фактичного гранулометричного складу подрібнених гірських порід, отриманих на підземному дробильному комплексі шахти

У 2016 році в рамках, науково - дослідних робіт фахівцями Шахтоуправління імені ГЕРОЇВ КОСМОСУ на 6-му західному магістральному відкаточному штреку гор. 490 м був встановлений підземний дробильний комплекс з експериментальною дробаркою шахтної породи дворівневої валкового типу - 2ВД.

Впровадження технології подрібнення на шахті потребувало проведення оцінки фактичного гранулометричного складу порід, отриманих на виході з дробильного комплексу і порівняння його з оптимальними складами, рекомендованими для твердіючих сумішей.

Результати розсіву наданих шахтою ім. Героїв Космосу зразків подрібнених гірських порід і подальшого поділу матеріалу на фракції, представлені на рис. 4.11 і в табл. 4.4.



Рис. 4.10. Підземний дробильний комплекс

Таблиця 4.4

Гранулометричний склад породного заповнювач для твердіючих сумішей, отриманий на дробильному комплексі

Гранулометричний склад заповнювача для торкрет-бетону (набризкбетону)	Фракція породи			
	менше 1,6 мм	1,6...5 мм	5...10 мм	10...20 мм
Рекомендований	пісок 30...43 %	32...46 %	25...34 %	—
Фактичний	52,7 %, з них пиловидна фракція становить 32,2 %	18,9 %	29,3 %	у невеликій кількості

Рекомендований гранулометричний склад вуглевміщуючих порід для торкрет-бетонних сумішей становить: 30...43% фракції менше, ніж 1,6 мм; 32...46% фракції 1,6 - 5 мм; 25...34% фракції 5 - 10 мм.

Для набризкбетонних сумішей: 19...32% фракції менше, ніж 1,6 мм; 23...24% фракції 1,6 - 5 мм; 20...23% фракції 5 - 10 мм; 25...34% фракції 25...34%.

Для тампонажних розчинів повинна використовуватися фракція породи менше, ніж 1,6 мм.

Фактичний гранулометричний склад породного заповнювача для твердіючих сумішей дещо відрізняється від рекомендованого складу. До того ж, мають місце складності із застосуванням породного заповнювача з фактичним гранулометричним складом. Отриманий на виході з дробильно-сортувального обладнання породний заповнювач містить 52,7% фракції породи менше, ніж 1,6 мм, з них пиловидна фракція становить 32,2%, а більш крупні частинки - 20,5% відповідно. Також важливим є дефіцит фракції породи 1,6...5 мм, її кількість складає 18,9%, що на 13...27% менше рекомендованої кількості.



Рис. 4.11. Результати виконаного розсіву заповнювача на фракції

При нанесенні торкрет-сумішей з використанням фактичного гранскладу показало хороші результати: нанесене покриття добре лягає на оброблювану поверхню кріплення, має гарне зчеплення із залізобетонною затяжкою і металевими елементами кріплення, а також забезпечує мінімальні втрати матеріалу у вигляді відскоку при нанесенні на вертикальні і горизонтальні поверхні.

Однак у випадку з проведенням тампонажних робіт виникла суттєва технологічна проблема – через велику кількість пилоподібної фракції породного заповнювача – виникає закупорка матеріальних шлангів насоса НБ-50. Така ситуація виникає через те, що подрібнена порода має високу адсорбційну здатність, яка зростає із зменшенням розмірів частинок.

У зв'язку з цим існує необхідність відкоригувати параметри процесу подрібнення так, щоб мінімізувати кількість пилоподібної фракції і збільшити вміст фракції породи 1,6...5 мм. Фракція породи 5...10 мм для фактичного гранскладу відповідає рекомендованій кількості.

Якщо ж і після коригування гранскладу питання закупорки не буде зняте, то має сенс вводити в тампонажний розчин абразивний компонент в кількості до 25%. Такими речовинами є: зола-виносу теплових електростанцій і природний пісок. Так як мова йде про тампонажні розчини, які закачуються в закріпний простір гідромеханічним способом. При цьому вологість піску не має значення. Вологість піску є істотним параметром при проведенні торкрет-бетонних робіт сухим способом нанесення.

Реологічні властивості тампонажних розчинів на основі вуглевміщуючих порід і золи-виносу ТЕС наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Реологічні властивості тампонажних розчинів на основі вуглевміщуючих порід і золи-виносу ТЕС

Співвідношення компонентів	В/Т	Розп-лив, см	Густина розчину, кг/м ³	Структурна в'язкість, Па
1. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 0 : 3	0,35	18	1700	23
2. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 0,5 : 2,5	0,3	19	1820	25
3. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 1 : 2	0,35	21	1720	33
4. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 2 : 1	0,3	21	1830	34
5. Цемент : Зола : Порода = 1 : 2 : 1	0,35	18	1600	28
6. Цемент : Зола : Порода = 1 : 1 : 2	0,35	19	1820	23
7. Цемент : Пісок : Зола : Порода = 1 : 0,5 : 1 : 1,5	0,4	17	1840	43
8. Цемент : Пісок : Зола : Порода = 1 : 0,5 : 1,5 : 1	0,35	19	1770	38
9. Цемент : Пісок : Зола : Порода = 1 : 1 : 1 : 1	0,35	22	1840	16
10. Цемент : Пісок : Зола : Порода = 1 : 1 : 2 : 1	0,35	20	1780	19
11. Цемент : Пісок : Зола : Порода = 1 : 1 : 1 : 2	0,4	19	1720	38

Показники міцності тампонажного каменю на основі вуглевміщуючих порід і золи-виносу ТЕС наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Показники міцності тампонажного каменю на основі вуглевміщуючих порід і золи-виносу ТЕС

Співвідношення компонентів	Міцність на стиск, МПа					Міцність на вигин, МПа
	3 діб	7 діб	14 діб	21 доба	28 діб	
1. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 2 : 1 + 5% MasterRoc	0,2	0,8	2,2	-	-	0,74
2. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 2 : 1 + 10% MasterRoc	-	0,86	1,74	2,5	2,51	0,65
3. Цемент : Пісок : Зола = 1 : 2 : 1 + 8% MasterRoc	0,09	0,38	1,72	-	-	-
4. Цемент : Зола : Порода = 1 : 1 : 2	-	0,32	1,14	1,8	3,27	0,75

З отриманих результатів випливає, що зола-виносу Курахівської ТЕС може бути використана в якості дрібнодисперсного наповнювача для тампонажних розчинів. Твердіючі суміші, які містять і подрібнену породу, і золу ТЕС не викликають закупорку матеріальних шлангів. Однак виконані нами дослідження говорять про те, що на основі таких сумішей неможливо отримати тампонажний камінь з високою механічною міцністю.

Також для покращення параметрів гідротранспорту тампонажного розчину по матеріальних шлангах насосного обладнання можливе введення в розчин бентонітової глини в кількості 60 кг/м³. В такому випадку бентонітова глина дасть ефект розубожіння, тобто зменшить структурну в'язкість і

щільність розчину, підвищить його текучість і, відповідно, ліквідує проблему закупорки матеріальних шлангів насосного обладнання.

4.5. Впровадження нових твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід при кріпленні магістральних виробок

4.5.1. Тампонаж закріпного простору при спорудженні магістральних гірничих виробок

Впровадження результатів виконаних досліджень проводилося на шахті ім. Героїв Космосу при спорудженні 2 західного магістрального відкаточного штреку гор. 350 м, північного відкаточного квершлага гор. 470 м.

В геологічну будову шахтного поля входить комплекс осадових відкладень четвертинного, неогенового, палеогенового, тріасового кам'яновугільного віку, які залягають на розмитій поверхні докембрію.

Промислова вугленосність приурочена до Самарської свити – C_1^3 верхневізейського ярусу, укладеної між маркованими вапняками C_1 і D_1 . Свита представлена товщею аргілітів, алевролітів, рідше піщаників, включає в себе 48 пластів і прошарків кам'яного вугілля потужністю від 0,05 до 1,25 м. Промислове значення мають 7 вугільних пластів: C_{11} , C_{10}^B , C_9 , C_8^H , C_7^H , C_5 , C_1 . В даний час відпрацьовуються пласти C_{11} , C_{10}^B , C_9 . У структурному відношенні шахтне поле приурочено до південно-західної частині Богданівської ступінчастої структури. Для шахтного поля в цілому характерно моноклинальне залягання порід з пологим падінням на північ і північний схід під кутом 2-5°.

За інтенсивністю тектонічної порушеності і умов залягання вуглевміщуючих порід площа шахтного поля розділяється на 2 нерівні частини: північно-західну і південно-східну. Менша по простяганню – північно-західна частина площі, яка включає блоки 3, 3а, і західну половину блоку №1, характеризується моноклинальним заляганням порід і досить значною порушеністю. Найбільш великими порушеннями є Богданівський, Вербський, Благодатненський, Діагональний, Поперечний і Морозівський скиди. У процесі ведення гірничих робіт зустрінуті більш дрібні порушення з амплітудою до 5 м.

Будова вугільних пластів проста. Мінеральні включення у вугіллі представлені переважно глинистою речовиною.

Пласт C_{11} на більшій частині шахтного поля відносно витриманий. Робоча потужність пласта змінюється від 0,60 до 0,90 метрів. Будова пласта трьохпачечна. У покрівлі пласта залягають алевроліти, аргіліти і піщаники.

Пласт C_{10} є одним з основних пластів промислового значення і залягає на 18 м стратиграфічно нижче вугільного пласта C_{11} . Робоча потужність пласта 0,90-0,95 м. Будова пласта проста і складна. У покрівлі пласта залягають аргіліти, алевроліти і піщаники.

Пласт C_9 розташований в 23 м стратиграфічно нижче пласта C_{10} . Робоча потужність пласта 0,90 - 1,10 м. Будова пласта переважно проста.

Гірничотехнічні умови відпрацювання запасів. Перетин пластів здійснено двома центрально розташованими вертикальними стволами і квершлагами на

горизонтах 350, 370, 470 м. Пласт C_{11} в центрі поля на гор. 350 м розкритий вентиляційними квершлагами №1 і №2, а пласт C_{10}^B на гор. 370 м східним і західним відкатувальними квершлагами. Від розкриваємих виробок по пластах C_{11} і C_{10}^B на захід і схід пройдені магістральні штреки, по пласту C_{11} пройдені два магістральних штрек (вентиляційні), а по пласту C_{10}^B два магістральних відкаточних штреки і один магістральний конвеєрний штрек.

Зазначеними виробками поле поділене на уклінне та бремсбергове.

У межі поля по падінню пласти C_{11} і C_{10}^B розкриті відкатувальними квершлагами гор. 470 м. Таким чином, в даний час на шахті діють горизонти 350 м, 370 м, 470 м, і 580 м, основними робочими, з яких є гор. 350 м, 370 м, і 470 м. В даний час пласти C_{11} , C_{10}^B і C_9 відпрацьовуються довгими стовпами по падінню (повстанню) одинарними лавами. Довжина стовпів вимірюється в межах 800 - 1800 м, довжина лав: 200 - 277 м. У межах стовпів здійснюється випереджальна виїмка верхнього шару відносно нижнього на 1-2 стовпа.

В результаті тривалої експлуатації виробки кріплення значно деформоване, в покрівлі утворився звід природного обвалення, тому при знятті елементів кріплення можливо раптове обвалення порід покрівлі. Водоприток з вугільного пласта, прослоя і піщаника до $0,1 \dots 1,5 \text{ м}^3/\text{год}$, можливо надходження води з відпрацьованого простору лав пл. C_{11} , C_{10}^B . Води сильноагресивні по відношенню до металу і бетону. Виробки закріплені металевим кріпленням КШПУ-М 17,7. Відстань між рамами арочного кріплення – 0,8 м.

Спорудження виробок, закріплених металевим рамним кріпленням, здійснюється наступним чином: після виїмки породи за допомогою гірничо-прохідницьких комбайнів встановлюється металеве кріплення із затяжкою стін і покрівлі із залізобетонних затяжок. Закладка зазорів у міжрамній огорожі виконується механізованим способом за допомогою торкрет-машин або вручну. Нанесення розроблених твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід передбачається виконувати механізованим способом.

На рис. 4.12. представлений процес виконання робіт по зведенню арочного кріплення з використанням розроблених складів твердіючих сумішей на основі шахтних порід Західного Донбасу.

Переваги сухого методу торкретування полягають у його універсальності. Сухий метод торкретування є традиційним, широко відомим в усьому світі шляхом нанесення торкрет-бетону і характеризується:

- високою початковою міцністю нанесеного торкрет-бетону;
- тривалим терміном зберігання матеріалу;
- відсутністю залишків бетону після закінчення торкрет-робіт.



а)



б)



в)



г)

Рис. 4.12. Процес виконання робіт по зведенню арочного кріплення із використанням розроблених рецептур твердіючих сумішей

На високу ефективність даного методу негативно впливають високий відскок при веденні торкрет-робіт, високий ступінь пилоутворення, досить високі витрати на зношувані елементи, а також велика потреба у стислому повітрі.

Оптимальними умовами застосування сухого методу торкретування є:

- ремонт і пікотаж бетонних конструкцій, міжрамних огорожень у конструкціях кріплень гірничих виробок і тунелів;
- попередній тампонаж при надходженні великої кількості води;
- незалежність від постачальників бетонної суміші (наявність суміші на місці робіт).

Вологість суміші заповнювачів при сухому методі торкретування повинна бути не більше 2%. При використанні суміші заповнювачів з вологістю до 2% з метою зниження концентрації пилу при торкретуванні слід використовувати дві камери змішування, одна з яких віднесена від сопла на відстань 4...5 м. Склад торкрет-бетону слід підбирати, дозуючи компоненти по масі. Водно-цементне співвідношення для торкрет-бетону слід приймати у

межах 0,4...0,5 (з урахуванням вологості заповнювачів). Розрахунковий склад торкрет-бетону слід коригувати за величиною відскоку шляхом проведення контрольних нанесень матеріалу. Рекомендується величину відскоку приймати не більше 10% від маси сухої суміші при нанесенні на стіни і 15% – при нанесенні на покрівлю виробки. У разі отримання відскоку більше наведених величин склад торкрет-бетону слід змінювати в бік зменшення розміру крупного заповнювача [152].

Процес і технологія ведення робіт така ж, як із застосуванням піску у якості заповнювача. Єдина відмінність полягає у розбавленні сухої суміші як для торкретування, так і для тампонажу гірською породою, в співвідношенні Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2. Норми витрат основних матеріалів застосовуваних при торкретуванні міжрамної огорожі з залізобетонною і/або дерев'яною суцільною затяжкою на 1 м³ торкрет-суміші, а також обсяг передбачених в одну зміну робіт в об'ємі не менше 50 м² гірничої виробки з площею перерізу 17,7 м², периметр кріплення – 11,2 м, регламентований об'єм торкрет-розчину не більше 6,25 м³. Норми витрат основних матеріалів наведені в табл. 4.7.

Після проведення робіт по торкретуванню з метою нанесення шару, який виключає можливе витікання тампонажного розчину, проводять тампонаж закріпного простору твердіючою сумішшю на основі вуглевміщуючих порід, піску і цементу.

Тампонажна станція складається зі змішувача для розчинів, з'єднаного перепускним шлангом з насосом НБ-50 і нагнітального шланга з кондуктором. Вагонетки з піском і цементом для приготування тампонажного розчину подаються до тампонажної станції перед початком виконання тампонажних робіт.

Вагонетки встановлюють поруч зі змішувачем і стопорять гальмівними башмаками з боку ухилу виробки. Закачування розчину у закріпний простір проводиться насосом НБ-50. У якості змішувача використовується змішувач для розчинів на базі вагонетки ВГ-3,3 з активатором.

Загальна витрата розчину на 1 м виробки становить 1,64...3 м³. Максимальний тиск нагнітання розчину при тампонажі має бути у межах 0,4...0,8 мПа (згідно з технічною характеристикою насоса). Устаткування розташовують так, щоб були витримані зазори для проходу людей і провезення устаткування.

Візуальне обстеження двох ділянок виробки виконувалося з метою оцінити їх загальний стан, наявність і ступінь деформування елементів кріплення, характерні типи деформацій, наявність здимання порід підосви виробки.

Загальний стан виробок оцінювався відносним показником стійкості, який визначається як відношення кількості рам кріплення, що знаходяться у незадовільному стані, до загальної кількості рам на даній ділянці, тобто

$$\omega_k = \frac{N_0 - N}{N_0}, \quad (4.3)$$

де N_0 – загальна кількість рам кріплення на ділянці, шт.;

N – кількість рам кріплення, що знаходяться у незадовільному стані, шт.

Таблиця 4.7

Норми витрат основних матеріалів

Найменування робіт	Одиниця виміру	Норми витрат основних матеріалів			Примітка
		найменування	на 1 заміс	у зміну	
Торкретування (об'єм у зміну – 50 м ² , макс. 6,25 м ³ торкрет-суміші – 8 замісів об'ємом 0,35 м ³ кожен)					
1. Замазування стиків і швів стін у рамних кріпленнях шляхом торкретування	м ²	ПЦ 500 загальнобудівельного призначення	0,07 м ³ / 100 кг (2 мішка)	0,56 м ³ / 760 кг (15,2 мішка)	Максимальна товщина шару 0,02 м ³
		Пісок природний	0,14 м ³ / 0,19 т	1,12 м ³ / 1,52 т	
		Гірська порода	0,14 м ³ / 0,19 т	1,12 м ³ / 1,52 т	
Тампонаж (об'єм у зміну – макс. 7,68 м ³ тампонажного розчину – 6 замісів об'ємом 1,28 м ³ кожен)					
2. Тампонаж закріпного простору	м ³	ПЦ 500 загальнобудівельного призначення	0,18 м ³ / 250 кг (5 мішків)	1,5 м ³ / 2100 кг (42 мішка)	Із розрахунку 1,92 м ³ на 1 м виробки вказаного перерізу
		Пісок природний	0,34 м ³ / 0,46 т	2,1 м ³ / 2,8 т	
		Гірська порода	0,66 м ³ / 0,91 т	4,1 м ³ / 5,6 т	

Незадовільний стан рам металевих кріплення кваліфікувався у тому випадку, якщо зазначалося не менше двох зазначених дефектів:

- значні деформації верхняка;
- деформації стійок;
- деформації або розрив замків, зрив гайок на замках;
- значні деформації або розрив сітчастих затяжок;
- руйнування залізобетонних затяжок у покрівлі;
- просадка верхняка у замках вище паспортного значення;
- розриви профілю верхняків і стійок.

Найбільш інтенсивні деформації приконтурних порід спостерігаються у покрівлі і підшві виробки, і проявляються у вигляді прогинання порід у виробку зі зминанням і зрушенням шарів. Найбільш деформований верхняк кріплення.

У виробці передбачалося проведення тампонажних робіт, тобто повне заповнення закріпного простору і тріщинуватого приконтурного масиву порід розробленими складами твердіючих сумішей, ізоляція виробки від навколишнього масиву шляхом механізованого пікотажу щілин залізобетонної зтяжки.

На момент обстеження тампонаж закріпного простору, завдяки механізації пікотажу щілин, проводився без відставання від технологічного комплексу, тобто відразу за перевантажувачем комбайна, на відстані приблизно 40 м від вибою виробки. Величина показника стійкості виробок, визначена за критеріями деформацій елементів кріплення і станом підшви виробки склала для експериментальних ділянок:

<u>Ділянка 1</u>	тампонаж, виконаний цементно-піщаним розчином із ручною чеканкою швів і відставанням від забою	$\omega_k = 0,38$
<u>Ділянка 2</u>	механізоване торкретування і тампонаж сумішами на основі шахтних порід	$\omega_k = 0,82$

Таким чином, натурні вимірювання показали, що стійкість експериментальної виробки підвищилася майже в два рази після своєчасного проведення тампонажних робіт.

4.5.2. Набризкбетон при спорудженні магістральних гірничих виробок

Використання нового обладнання і матеріалів для набризкбетонування дозволило розробити кріплення і технологію його зведення, яка ліквідує таку операцію як установка залізобетонної зтяжки і забутовка закріпного простору – найбільш трудомісткі і немеханізовані операції при зведенні кріплення АСН-А (арка + сітка + набризг + анкер) [153, 154, 155].

Конструкція кріплення АСН-А («арка-сітка-набризк-анкер»). Як рамне кріплення застосовується металеве арочне податливе кріплення, яке виготовлене з легкого профілю СВП (17, 19). Зтяжка приймається металева (пластикова) сітчаста. Рами кріплення встановлюються з кроком 1м, з підп'ятниками. Заповнення закріпного простору виконується за допомогою набризкбетону, що наноситься на породний контур через комірки зтяжки за допомогою торкрет/набризкбетонної установки. Набризкбетонне покриття наноситься після того, як забій виробки посунувся на відстань 30...50 метрів для того, щоб у приконтурному просторі могли розвинутися системи наведеної тріщинуватості.

В цьому випадку твердіюча суміш по тріщинах проникає вглиб масиву, скріплюючи і зміцнюючи його, тобто виконуються, по суті, роботи з тампонажу. Для того щоб роботи по виконанню набризкбетонних робіт можна було відсунути на достатню відстань від зони працюючих механізмів і попередити великі зміщення і деформації приконтурного масиву, відшаровування і обвалення порід покрівлі, безпосередньо в забої виробки встановлюються сталеполімерні анкери.

При зведенні кріплення доцільно використовувати два шари набризкбетону (рис. 4.13). Перший шар набризкбетону наноситься з невеликим

відставанням від забою і являє високопластичний шар, здатний проникати крізь металеву сітку тріщини породного масиву. Другий шар набризкбетону – несучий, жорсткий, наносять з більшим відставанням і з більшою товщиною шару.

Матеріал отриманого нами складу може застосовуватися як в якості заповнюючого матеріалу при нанесенні першого шару набризкбетону, так і для нанесення другого шару. Перший шар набризкбетону укладають товщиною 2,5...3 см, при нанесенні ж другого шару бажано вводити або армируючі компоненти (фібра), або наповнювачі з високою міцністю. В такому випадку тверді включення проникають в перший м'який шар і пов'язують обидва шари. Це дозволяє зменшити відскок наповнювачів та армуючих елементів, а також знижує ризик травм робітників при проведенні набризкбетонних робіт [104].

Максимальний розмір великих частинок заповнювача необхідно призначати з урахуванням технічних характеристик застосовуваної торкрет-установки і товщини торкрет-бетонного покриття. Для більшості установок цей розмір не повинен перевищувати 8 см, хоча для деяких апаратів допускається застосування наповнювачів з розміром часток не більше 16 мм.

До того ж на показники міцності набризкбетону (торкрет-бетону) і втрати матеріалу у вигляді відскоку значний вплив мають такі технологічні чинники як водо-цементне відношення, кут нахилу і відстань від сопла до поверхні, швидкість виходу струменя. Оптимальною відстанню від сопла до поверхні вважається 1,1...1,3 м.

Межі міцності на стиск і вигин можуть відрізнятися при різних відстанях в порівнянні з отриманими характеристиками міцності на 22...30% і 32...40% відповідно. Мінімум відскоку забезпечується при оптимальних відстанях від сопла до поверхні, що пояснюється тим, що при великих відстанях від сопла до бетонної поверхні розчин недоуцільнюється, а при малих – розпушується [105, 106, 107].

Слід також мати на увазі, що міцність набризкбетону, нанесеного торкрет-установкою, дещо вище, ніж зразків бетону того ж складу ущільненого на віброплощадці за рахунок його ущільнення при нанесенні. Коефіцієнт ущільнення торкрет-бетону при сухому методі торкретування становить приблизно 1,35.

Набризкбетон, що наноситься на поверхню виробки, омонолічує породу, зміцнює її поверхневий шар, підвищує зчеплення між окремими блоками породи і перешкоджає подальшому розшаруванню і обваленню приконтурного масиву. Крім того, монолітний шар набризкбетону попереджає доступ повітря і вологи до породи, тобто перешкоджає вивітрюванню і зволоженню найбільш порушеної зони порід.

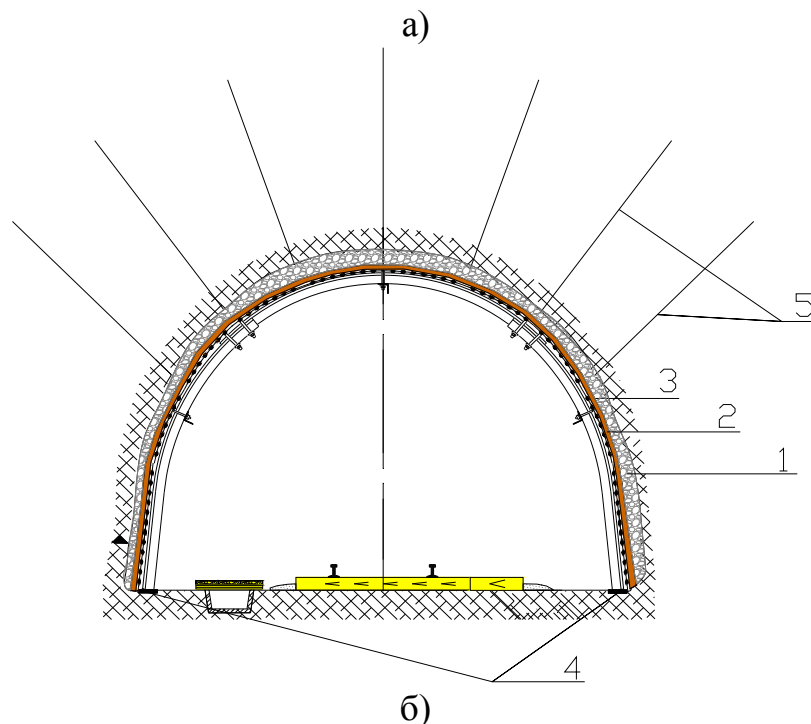
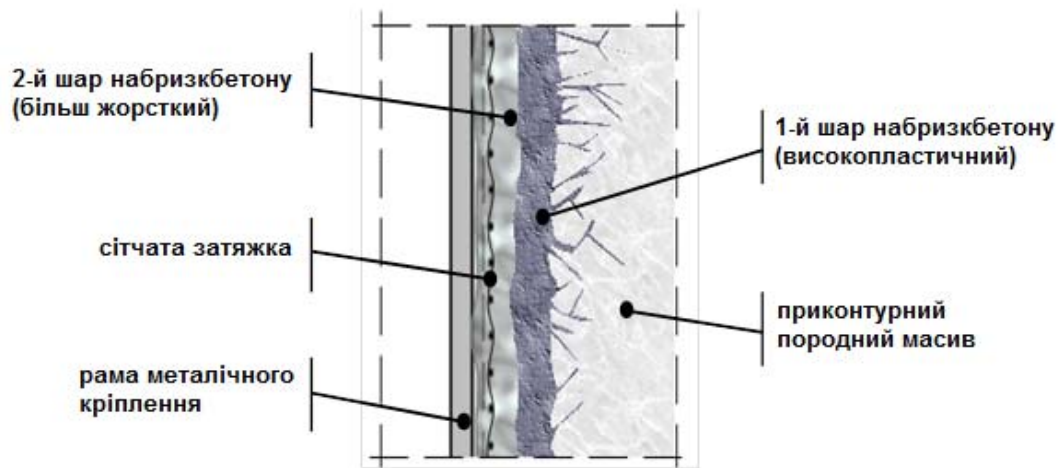


Рис. 4.13. Конструкція кріплення типу АСН-А (арка + сітка + набризк + анкер): а – структура кріплення, б - схема установки елементів кріплення: 1 – перший шар набризкбетону (високо пластичний, піддатливий), 2 – другий шар набризкбетону (жорсткий, який має несучу здатність), 3 – металева сітчаста затяжка, 4 – підп'ятники, 5 – анкери

Механізація процесу заповнення закріпного простору шаром набризкбетону збільшить темпи проведення виробки, дозволить істотно підвищити якість робіт, працездатність кріплення і, в кінцевому рахунку, забезпечить тривалу стійкість капітальних виробок.

Слід зазначити, що саме покриття з набризкбетону є несучою оболонкою, здатною витримати істотні навантаження. При нанесенні набризкбетону на породу по металевій сітці несуча здатність кріплення зростає, оскільки сітка розподіляє зусилля при виникненні місцевим вивалам породи і підвищує здатність поверхневого зміцненого шару до опору розтягуючим і зрушуючим зусиллям від впливу зовнішніх навантажень. Розрахунки показують, що наявність арматурної сітки з комірками розміром 70×70 мм з дроту діаметром

6 мм підвищує несучу здатність кріплення приблизно на 20...30%. Набризкбетон доцільно наносити шаром необхідної товщини (від 5 до 15 см) за один прийом.

Металева сітчаста зтяжка, яка застосовується для даної конструкції, також може бути вдосконалена. Застосування просторової металевої сітчастої зтяжки спільно з набризкбетоном дозволить в кілька разів збільшити несучу здатність міжрамної огорожі і, в кінцевому підсумку, знизити металоємність рамного металевого кріплення.

При перетині ділянок сильно порушених порід (зон надробки /підробки, геологічних порушень) доцільно збільшувати товщину набризкбетону максимально (до 20 см) з тим, щоб отримати єдину конструкцію з металевих арок, сітки і набризкбетону, який частково закрий самі арки. Оскільки за рахунок своєчасного нанесення набризкбетону, поверхневий породний шар зміцнюється і попереджується подальше розшарування і утворення тріщин в приконтурному масиві, тампонаж закріпного простору не виконується.

Проте, при перетині сильно тріщинуватих, нестійких ділянок породного масиву, передбачається глибинне ін'єктування тріщин та пустот з відставанням на 30...40 м від ділянки нанесення набризкбетону. Несуча здатність такої посиленої конструкції буде не нижче залізобетонного кріплення тієї ж товщини.

Перевагами даного кріплення є:

- підвищення працездатності арочного металевого кріплення за рахунок більш рівномірного розподілу зовнішнього навантаження, що дозволить істотно знизити його металоємність за рахунок зменшення маси застосовуваного профілю СВП і збільшення кроку установки рам кріплення;
- обмеження розшарування приконтурного масиву порід;
- зниження величини здирання порід підосви;
- створення в приконтурного масиву несучої армопородної конструкції;
- покращення роботи кріплення в податливому режимі;
- попередження вдавнення стійок кріплення в слабкі породи підосви;
- підвищення стійкості виробки і зменшення витрат на ремонтні роботи.

Одним з варіантів підвищення несучої здатності набризкбетонної оболонки є введення різних видів фібри – металевої, поліпропіленової, скловолоконної, оліамідної, базальтової. Зовнішній вигляд і технічні характеристики полімерних волокон представлені на рис. 4.14.

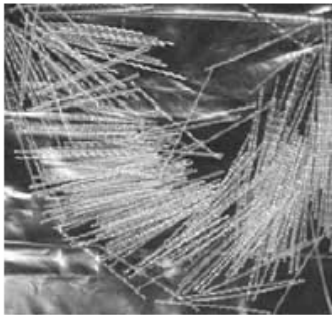
Дисперсне армування дозволяє збільшити міцність бетону при вигині в 2...3 рази. Згідно з дослідженнями Дж. Ромуальді і А. Мандела, важливу роль при цьому відіграє коефіцієнт відстані між волокнами. Чим нижче цей коефіцієнт, тим вище міцність при вигині отриманого композиційного матеріалу.

Вважається, що фібра здатна виконувати свою головну роль – зупиняти розвиток волосяних тріщин – тільки при відстані між окремими волокнами не більше, ніж 10...12 мм. Тому дисперсне армування є ефективним виключно для дрібнозернистих бетонів, так як використання крупного заповнювача не дозволяє розташувати дисперсні волокна на необхідній відстані.



а)

Щільність	0,91 г/см ³
Діаметр окремого волокна	300 ± 50 мкм
Довжина волокна	54 мм
Форма	хвиляста, окремі волокна, з'єднані в окремі пучки, які легко розпадаються
Міцність на розрив	не менше 350 МПа
Коефіцієнт розтягування	не менше 8...15 %
Модуль Юнга	більше 3500 МПа



б)

Щільність	0,91 г/см ³
Діаметр окремого волокна	0,8...1,5 мкм
Довжина волокна	50 мм
Форма	окремі плоскі хвилясті волокна
Міцність на розрив	не менше 460 МПа
Коефіцієнт розтягування	15 %
Модуль Юнга	більше 3500 МПа

Рис. 4.14. Зовнішній вигляд та технічні характеристики полімерних волокон:
а) жорстке; б) хвилясте

З іншого боку, варіювання розмірів заповнювача зі збереженням встановленої відстані між армуючими волокнами можливо в заданому діапазоні. При випробуванні зразків на одновісний стиск крупність заповнювача в значній мірі впливає на межу міцності. Із зростанням частини великого заповнювача збільшуються механічні показники неармованого бетону [156].

Введення 0,1...1% поліпропіленових волокон за об'ємом позитивно впливає на якість бетонної суміші і готового каменю: підвищується однорідність бетонної суміші і знижується її здатність до розшарування; бетон набуває здатності до деформування без руйнування при схоплюванні, що перешкоджає утворенню мікротріщин в середині затверділого бетону і гальмує розширення поверхневих тріщин, що виникають при пластичній усадці [157].

Однак введення такого армуючого елемента як фібра є технологічно і економічно доцільним тільки в разі застосування анкерного кріплення без застосування металевої сітчастої затяжки. Правильно нанесене покриття з торкрет-бетону з рекомендованим водоцементним співвідношенням має жирний блиск без сухих плям і опливання.

Контроль за якістю укладеного набризкбетону (торкрет-бетону) полягає у візуальному огляді і регулярному простукуванні покриття. На поверхні шару не повинно бути усадочних тріщин, здуття і відшарувань. Глухий звук вказує на нещільність прилягання торкрет-бетону до основи або відшарування по

товщині. Виявлені дефектні місця (опливи, відшарування, викришування, дрібні окремі тріщини і т. п.) Підлягають усуненню шляхом вирубки, очищення, промивання струменем розпиленої води, а потім закладення торкрет-бетоном.

4.6. Оцінка техніко-економічної ефективності результатів досліджень

Проведені науково-дослідні роботи з обґрунтування раціональних рецептур твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу мають комплексну ефективність. Основними особливостями розроблених сумішей є простота їх складу, доступність сировинних компонентів, а також значний економічний ефект. Вперше був розроблений комплекс твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу.

Застосування розроблених рецептур твердіючих сумішей також дозволить досягти вирішення низки екологічних і соціальних проблем, характерних для вугледобувних регіонів України. У зв'язку з цим можна виділити основні переваги застосування розроблених рецептур твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу:

- зниження витрат на зведення та ремонт гірничих кріплень;
- забезпечення повної механізації тампонажних, торкрет-бетонних і набризбетонних робіт;
- зменшення кількості порід, які видаються на денну поверхню;
- зниження навантаження на транспортну систему шахти – підйом стовола і мережу горизонтальних і похилих виробок;
- рекультивация териконових ландшафтів;
- зменшення соціально-медичних проблем, характерних для гірничодобувних регіонів.

Загальний економічний ефект від впровадження у гірниче виробництво розроблених твердіючих сумішей на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу можна визначити за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

де \mathcal{E}_1 – технологічна ефективність;

\mathcal{E}_2 – екологічна ефективність;

\mathcal{E}_3 – соціальний ефект.

Повний розрахунок техніко-економічної ефективності є досить складним і залежить від багатьох факторів. Це такі фактори як оздоровлення людей і навколишнього середовища. Очевидно, що обидва ці чинники є предметом для окремих досліджень і відносяться до проблем екології і медицини. Однак в даний час техногенне навантаження на людей і навколишнє середовище має відношення і до розробки нових технологій, здатних мінімізувати збиток, який наноситься природі і людині внаслідок господарської діяльності.

У зв'язку з цим, є цілком логічним зупинитися на оцінці техніко-економічної ефективності результатів проведених досліджень. Аналіз запропонованих технологічних схем показав, що їх впровадження дещо

ускладнять цикл робіт. Однак ці складності не є критичними, так як за їх рахунок знижується навантаження на підйом ствола і транспортну мережу шахти. Крім того, запропоноване обладнання є доступним і простим в експлуатації.

Так як в результаті проведених досліджень вносяться зміни в технологічну схему проведення робіт і енергоспоживання буде залежати від параметрів обладнання, яке буде застосовуватися, має сенс розрахувати економічний ефект в залежності від економії на матеріалах та їх доставці.

Загальна довжина гірничих виробок, з нанесенням торкретбетону і зміцненням приконтурного масиву порід тампонажним розчином з використанням пустих порід склала 630 м. Площа поперечного перерізу виробки 17,7 м². Об'єм торкретбетону, що наноситься на стінки виробки, становить 0,125 м³ на 1 метр виробки, де 113 кг піску замінялися породою. Об'єм тампонажного розчину, що закачується в приконтурний породний масив, становить 1,8 м³ на 1 метр виробки, де 1660 кг піску замінялися подрібненою породою.

Загальна кількість пустої породи, використаної для приготування торкретбетону і тампонажного розчину при кріпленні даної виробки склала 1115 т (1770 кг на 1 м виробки). Це дозволило отримати економію коштів на закупівлі піску на 115 217 грн.; знизило транспортні витрати на перевезення породи у відвали на 15000 грн, зберегло площі, заплановані для породних відвалів на 167 м².

Загальна економічна ефективність від заміни дрібного і крупного заповнювача пустими породами на експериментальній ділянці склала:

$$\mathcal{E}_1 = 115217 + 15000 = 130\ 217 \text{ грн.}$$

Об'єм проведення капітальних виробок на шахті ім. Героїв Космосу становить 5,5 км на рік. Крім того зміцнення порід навколо виробки із застосуванням твердіючих сумішей використовують при ремонті і перекріпленні виробок. Протяжність ділянок ремонтуваних капітальних виробок становить 1,2 км на рік.

Таким чином, тільки на одній шахті протяжність виробок, де можуть застосовуватися твердіючі суміші на основі пустої породи, становить 6,7 км на рік. В цілому, по компанії ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», в яку входить 10 шахт, протяжність таких виробок складе 65...67 км на рік.

Іншим напрямком підвищення стійкості капітальних виробок передбачається застосування набризкбетону товщиною до 15 см. Це складе 1,7 м³ на 1 м виробки, з заповнювачем з породи в кількості 2000 кг.

Якщо до техніко-економічної ефективності отриманих результатів досліджень також додати екологічну і соціальну ефективність, то ми отримаємо істотний результат вирішення не тільки технологічних задач шахтного і підземного будівництва, але й значні результати при вирішенні актуальних проблем гірничодобувних регіонів України. Це говорить про те, що головна мета проведених наукових досліджень досягнута.

ВИСНОВКИ

1. Залишення породи в шахті в комплексі підземних гірничих робіт дозволить розвантажити підйом ствола і знизити техногенне навантаження на поверхню землі, за рахунок зменшення площ під породні відвали, пило- та газоутворення породних скупчень. Даний комплекс заходів дозволяє зменшити кількість матеріалів (дрібного і крупного заповнювача), які подаються до ствола і необхідні для тампонажу закріпного простору або для приготування набризкбетонних сумішей.

2. Запропоновано технологічні схеми підземного комплексу подрібнення породи призначеної для подрібнення і класифікації порід, які надходять з підготовчих вибоїв, з позицій раціональності рішення і можливості застосування мінімальної кількості необхідного транспортно-вантажного і дробильно-сортувального обладнання.

3. Проведено комплексні дослідження (візуальне обстеження, інструментальні вимірювання) в капітальних виробках. Результати досліджень дозволили встановити, що зона найбільш активних зрушень масиву гірських порід знаходиться в межах 15...30 м від вибою виробки.

4. Відповідність результатів випробувань за допомогою неруйнівного методу контролю результатами руйнівного методу контролю міцності бетону характеризується поліноміальною залежністю 4-ої ступеня ($SS = 1,711$, при коефіцієнті кореляції $r = 0,997$):

$$R_2 = R_1^4 - 0,2R_1^3 + 6R_1^2 - 68,3R_1 + 275,4$$

Використання отриманої залежності дозволить з більш високим ступенем достовірності отриманих результатів використовувати склерометр для визначення міцності бетонних конструкцій.

5. Очікуваний економічний ефект за рахунок економії на природних заповнювачах для твердіючих сумішей складе 207 грн/м виробки.

ЗАКІНЧЕННЯ

Виконана робота є завершеним науковим дослідженням, в якому на підставі нових встановлених закономірностей реологічних і структурно-механічних процесів у тверддючих сумішах на основі вуглевміщуючих порід Західного Донбасу вирішена актуальна науково-технічна задача з обґрунтування ресурсозберігаючих рецептур тверддючих сумішей на основі шахтних порід, що є істотним при зведенні гірничих кріплень і утилізації відходів промисловості.

Основні висновки, результати та рекомендації полягають в наступному:

1. При зведенні гірничих кріплень для приготування тверддючих сумішей (тампонажних, торкрет-бетонних) застосовують традиційні природні наповнювачі в кількості до 85% від маси сухої суміші, участь яких в технологічному циклі вимагає витрат на їх закупку і доставку як від видобувного кар'єру до шахти, так і на їх спуск безпосередньо до місця проведення робіт.

2. Вуглевміщуючі породи Західного Донбасу (аргіліти і алевроліти) придатні для приготування на їх основі тверддючих сумішей, які застосовуються при кріпленні капітальних виробок, більше того, на їх основі можна отримати тверддючі суміші з хорошими технологічними властивостями.

3. При проведенні тампонажних робіт з метою заповнення закріпного простору і тріщин приконтурного масиву порід у виробках, закріплених металевим арочним кріпленням можливе застосування в якості тверддючої суміші тампонажного розчину складу Цемент : Пісок : Порода = 1: 0: 3 з міцністю на стиск 5,9 МПа з використанням для цього фракції породи менше 1,6 мм, що забезпечує високу пластичність суміші і хорошу проникаючу здатність розчину.

4. Для досягнення більш високої міцності скріплюючого складу (до 18 МПа) доцільно введення до складу тверддючих сумішей фракції породи менше 1,6 мм із заміною однієї частини породи дрібнозернистим піском (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2), що також забезпечує достатню пластичність суміші і проникаючу здатність розчину.

5. Набризкбетон на основі шахтної породи необхідно застосовувати в якості елемента кріплення типу АСН-А («арка - сітка - набризк - анкер») в комбінації з просторовою металевою сітчастою затяжкою, що забезпечить достатню несучу здатність кріплення при високому навантаженні.

6. Для торкретування з метою ізоляції стін виробки для виконання тампонажних робіт доцільно використовувати суміш складу Цемент : Пісок : Порода = 1 : 1 : 2. Максимально можлива міцність торкрет-бетону на стиск в цьому випадку складе 16...20 МПа. Міцність торкрет-бетону на основі породи без введення піску (Цемент : Пісок : Порода = 1 : 0 : 3) становить 8...10 МПа, що може виявитися цілком достатнім для розглянутих функцій тверддючої суміші.

7. Серед усіх досліджених добавок найбільш ефективним виявилось введення ПВА-емульсії в кількості 10...15%. ПВА-емульсія має пластифікуючий вплив на бетонну суміш, покращує адгезію торкрет-бетонної суміші до породного масиву, а також сприяє збільшенню міцності на стиск в більш пізні терміни.

8. Відповідність результатів випробувань зразків готового каменю за допомогою неруйнівного методу контролю результатами руйнівного методу контролю міцності бетону характеризується поліноміальною залежністю 4-го ступеню (стандартна помилка S становить 1,711, при коефіцієнті кореляції $r = 0,997$):

$$R_2 = R_1^4 - 0,2R_1^3 + 6R_1^2 - 68,3R_1 + 275,4$$

Використання отриманої залежності дозволить з більш високим рівнем достовірності отриманих результатів використовувати склерометр для визначення міцності бетонних конструкцій.

9. Отримані рецептури твердіючих сумішей є стійкими до контакту з мінералізованою шахтною водою. Більше того, вони є якісною протифільтраційною завісою, так як шахтна порода має здатність поглинати і утримувати воду.

10. Запропоновано технологічні схеми підземного комплексу подрібнення породи, призначені для подрібнення і класифікації породи, з позицій раціональності рішення і можливості застосування мінімальної кількості необхідного транспортно-вантажного і дробильно-сортувального обладнання.

11. Очікуваний економічний ефект за рахунок економії на природних заповнювачах для твердіючих сумішей складе 207 грн/м виробки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко В.В. Стан породних відвалів вітчизняних вугільних шахт / В.В. Радченко, В.А. Куліш, Є.В. Чепіга, В.С. Сторожчук // Уголь України. – 2013. - № 12. – С. 44 – 49.
2. Харасов Р.М. Горящие горы / Р.М. Харасов // Химия и жизнь. – 2013. - № 3. – С. 9.
3. Пашковский П.С. Самонагревание перегоревших пород отвалов / П.С. Пашковский, В.М. Кравец, В.П. Засевский // Уголь Украины. – 1996. - № 8. – С. 40 – 41.
4. Зубов А.Р. Влияние эрозионных процессов на поверхности терриконов на окружающую среду / А.Р. Зубов, Л.Г. Зубова, С.Г. Воробьев, С.И. Сиволап, Е.А. Савельева // Уголь Украины. – 2009. - № 7. – С. 28 – 30.
5. Киричок Л.С. Шляхи оптимізації лісової рекультивації терриконів / Л.С. Киричок // Уголь Украины. – 2005. - № 8. – С. 41 – 44.
6. Ульшин В.А. Отвалы угольных шахт как объекты национальной экологической сети / В.А. Ульшин, А.А. Зубов // Уголь Украины. – 2010. - № 3. – С. 28-31.
7. Петров И.В. Эколого-экономические проблемы использования земельных ресурсов при закрытии угледобывающих предприятий / И.В. Петров, И.А. Стоянова, В.А. Харченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. - № 12. – С. 293 – 296.
8. Лазоренко Л. Вторая жизнь терриконов / Л. Лазоренко // Украинская техническая газета. – 2012. - № 47 (252). – С. 7.
9. Уханева М.И. Химическая оценка отходов угледобычи / М.И. Уханева, Э.Б. Хоботова // Вестник Харьковского национального университета. – 2010. - № 895. Химия. Вып. 18(41). – С. 260 - 268.
10. Рева С.Н. Ликвидация и утилизация породных отвалов угольных шахт Украины / С.Н. Рева, В.С. Рева // Научный вестник НГА Украины. – 1999. - № 4. – С. 67 – 69.
11. Проектирование породных комплексов / [Кузнецов К.К., Смородинов М.И., Шахмейстер Л.Г. и др.]. – М.: «Недра», 1974. – 232 с.
12. Чесноков Б.В. Терриконы – «фабрика» минералов / Б.В. Чесноков // Природа. – 1989. - № 10. – С. 73 – 78.
13. Гурвич Р.М. Производство глиняного строительного кирпича. – М.-Л.: Госуд. изд-во строительной л-ры, 1940. – 192 с.
14. Носова З.А. Пустотелые керамические блоки / З.А. Носова, И.П. Скворцов, Н.Г. Чибуновский. – М.: Бюро технической информации, 1948. – 144 с.
15. Баталин Б.С. Применение отходов угольных шахт в качестве сырья для получения керамического кирпича / Б.С. Баталин, Т.А. Белозерова, С.Э. Маховер, М.Ф. Гайдай // Известия вузов. Строительство. – 2010. - № 11 - 12. – С. 21 – 25.
16. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. – М.: Стройиздат. – 1966. – 207 с.

17. Леонов П.А. Природные отвалы угольных шахт / П.А. Леонов, Б.А. Сурначев. – М.: Недра, 1970. – 112 с.
18. Абдрахимов В.З. Экологические и практические аспекты использования шлака от сжигания угля в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины / В.З. Абдрахимов, Е.С. Абдрахимова // Уголь. – 2014. - № 4. – С. 41 – 43.
19. Котляр В.Д. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения / В.Д. Котляр, А.В. Устинов, В.Ю. Ковалев, Ю.В. Терехина, А.В. Котляр // Строительные материалы. – 2013. - № 4. – С. 44 – 46.
20. Лемешев В.Г. Утилизация отходов угледобычи в технологии производства керамических строительных материалов / В.Г. Лемешев, И.К. Губин, Ю.А. Савельев, Д.В. Туманов, Д.О. Лемешев // Стекло и керамика. – 2004. - № 9. – С. 30 – 32.
21. Вайсман Я.И. Применение отходов угледобычи в производстве строительной керамики / Я.И. Вайсман, К.Г. Пугин, М.Ф. Гайдай, Н.С. Семейных // Вестник МГСУ. – 2014. - № 12. – С. 131 – 140.
22. Тимрот С.Д. Использование нефтесодержащих отходов в производстве керамзита / С.Д. Тимрот, Н.Л. Гурылева, Н.С. Яманина // Химия и химическая технология. – 2010. – Т.53., Вып. 5. – С. 117 – 118.
23. Куликов В.А. Исследование пористой структуры керамзита на основе отходов флотации углеобогащения / В.А. Куликов, В.З. Абдрахимов, И.В. Ковков // Известия вузов. Строительство. – 2011. - № 1. – С. 31 – 37.
24. Элинзон М.П. Производство искусственных пористых заполнителей. – М.: Стройиздат, 1974. – 256 с.
25. Справочник по производству искусственных пористых заполнителей / под ред. В.В. Исидорова. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву, 1966. – 322 с.
26. Уханева М.И. Экономическая эффективность утилизации отходов угледобычи в цементной отрасли / М.И. Уханева, А.В. Никитина, Э.Б. Хоботова // Вісник СумДУ. Серія Економіка. – 2011. - №3. – С. 84 – 89.
27. Кураков Ю.И. Горелые породы антрацитовых шахт в композиционных строительных материалах / Ю.И. Кураков, А.А. Алаторцев, Е.И. Головина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. - № 10. – С. 223 – 226.
28. Посыльный И.Д. Бетонные смеси на основе горелых пород для шахтного строительства / И.Д. Посыльный, А.И. Новиков, Н.И. Буравчук // Шахтное строительство. – 1981. - № 9. – С. 22 – 25.
29. Перепелица В.Г. Об оценке экологической ситуации в промышленных регионах / В.Г. Перепелица // Уголь Украины. – 1998. - № 4. – С. 43 - 44.
30. Долгова Т.И. Системно-экологическая оценка почв в Западном Донбассе / Т.И. Долгова // Уголь Украины. – 2009. - № 6. – С. 30 – 35.
31. Четверик М.С. Экологические аспекты утилизации отходов углеобогащения в Западном Донбассе / М.С. Четверик, А.П. Семенов // Уголь Украины. – 1994. - №1. – С. 47 – 48.

32. Колоколов О.В. Оставление породы в шахте как фактор повышения эффективности разработки угольных пластов на больших глубинах / О.В. Колоколов, В.Ю. Медяник, В.И. Бескровный // Науковий вісник НГУ. - 2006. - № 9. - С. 27 - 30.
33. Гречин А.Я. Сооружение насыпей подъездных дорог из шахтных пород / А.Я. Гречин // Шахтное строительство. - 1983. - № 7. - С. 31.
34. Мочков В.С. Утилизация шахтных пород Западного Донбасса / В.С. Мочков, Б.Е. Бронштейн, А.Я. Гречин // Шахтное строительство. - 1985. - № 10. - С. 21 - 22.
35. Жовтюк Г.В. Повышение экологической чистоты производства и утилизация отходов углеобогащения / Г.В. Жовтюк // Уголь Украины. - 1991. - № 9. - С. 14 - 19.
36. Бойко В.В. Економічна оцінка впливу зольності вугілля на вибір способу проведення виробок // В.В. Бойко, О.А. Аскарів, О.П. Теницька // Уголь Украины. - 2006. - № 10. - С. 7 - 9.
37. Сонин С.Д. Технологические схемы размещения породы в шахте / С.Д. Сонин, Б.М. Воробьев. - М.: Государственное научно-техническое издательство л-ры по горному делу, 1961. - 164 с.
38. Левченко А.К. Экономическая целесообразность оставления породы в шахте / А.К. Левченко, Е.В. Петренко, А.Г. Сурков. - М.: Недра, 1968. - 120 с.
39. Бондаренко В.И. К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт / В.И. Бондаренко, В.В. Русских, А.И. Яркович, Д.С. Малашкевич // Щорічний науково-технічний збірник «Розробка родовищ» - Д.: ЛізуновПрес, 2014. - С.19 - 24.
40. Пономаренко П.И. Экономические и экологические аспекты проведения выработок широким ходом / П.И. Пономаренко, Е.П. Терницкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2003. - № 4. - С. 89 - 92.
41. Федоров Г.П. Разработка тонких угольных пластов с оставлением породы в шахте / Г.П. Федоров, С.Г. Арутюнов // Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом. Известия ДГИ, Т. LX. - М.: Недра, 1971. - С. 119 - 121.
42. Нейенбург В.Е., Каира З.С. Анализ динамики основных показателей качества добываемого угля и совершенствования их прогнозирования: обзор / ЦНИЭИуголь, - М.:, 1983. - 53 с.
43. Титов Н.В. Породное хозяйство угольных шахт: проблемы и пути их решения / Н.В. Титов, В.М. Феоктистов / Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 8. - С. 69 - 71.
44. Терентьев Б.Д. Пути решения проблемы отходов при подземной разработке углей / Б.Д. Терентьев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №1. - С. 21 - 27.
45. Терентьев Б.Д. Проблема снижения зольности горной массы / Б.Д. Терентьев, В.Б. Артемьев, А.Т. Ецков // Уголь. - 2002. - № 2. - С. 63 - 65.
46. Шецер М.Г. Совещание по оставлению породы в шахте // Уголь Украины. - 1987. - № 2. - С. 5-6.

47. Иванов Ю.М. Технические решения по оставлению породы в шахте // Уголь Украины. – 1987. – № 12. – С. 14-17.
48. Тарасенко В.В. Основные направления решения проблемы оставления породы в шахтах Донбасса // Уголь Украины. – 1984. – № 4. – С. 5 - 7.
49. Артамонов В.М. Вибір і обґрунтування технологічних рішень при використанні породних відвалів вугільних шахт як сировинної бази для промисловості / В.М. Артамонов, І.М. Кузик, Т.І. Мокроусова, А.А. Балакін, В.В. Заянчуковська // Науковий вісник НГУ. – 2005. - № 10. – С. 19 – 22.
50. Черняк И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Ю.И. Бурчаков. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
51. Дружко Е.Б. Тампонаж закрепного пространства – эффективное средство снижения материалоемкости крепи / Е.Б. Дружко, И.Я. Чересло // Шахтное строительство. – 1987. - №8. – С.6 – 8.
52. Роечко А.Н. О прогнозировании структуры и объемов ремонтных работ при поддержании выработок / А.Н. Роечко // Уголь Украины. – 1998. - №10. – С. 19 – 20.
53. Темиренко А.Х. Комбинированная крепь капитальных выработок глубокой шахты / А.Х. Темиренко, В.П. Дручко, Б.В. Алферов // Уголь Украины. – 1993. - №10. – С. 16 – 19.
54. Заславский И.Ю. Новые способы тампонажа закрепного пространства горных выработок / Ю.И. Заславский, А.Г. Файвишенко, Н.Ф. Бородуля // Шахтное строительство. – 1985. - №1. – С. 11 – 14.
55. Евтушенко В.В. Применение тампонажа закрепного пространства при проведении горных выработок повышает устойчивость крепи / В.В. Евтушенко // Шахтное строительство. – 1975. - №6. – С.23 – 24.
56. Евтушенко В.В. Эффективность тампонажа закрепного пространства при креплении горных выработок металлическими арками / В.В. Евтушенко // Шахтное строительство. – 1973. - №5. - С. 29 – 30.
57. Стрельцов Е.В. О выборе крепи капитальных выработок на шахтах Западного Донбасса / Е.В. Стрельцов, А.В. Шейко, В.Д. Резун, И.В. Александров // Шахтное строительство. – 1973. - №6. - С 11 – 12.
58. Дручко В.П. Растворы для упрочнения пород со сниженным расходом цемента / В.П. Дручко, А.Ю. Шевцов, С.А. Бернштейн, Е.И. Ишина // Шахтное строительство. – 1985. - №2. – С. 15.
59. Симанович Г.А. Рациональный способ тампонажа закрепного пространства горных выработок / Г.А. Симанович, С.В. Зиньковский // Шахтное строительство. – 1985. - №1. - С. 15 – 16.
60. Юхимов Я.И. Торкрет-бетонные покрытия на зарубежных объектах / Я.И. Юхимов, В.Г. Гальперин // Шахтное строительство. – 1983. - №8. – С. 29 – 30.
61. Заславский И.Ю. Применение камерных набрызгмашин для нанесения готовых растворов / И.Ю. Заславский, А.Л. Селезень // Шахтное строительство. – 1981. - №2. – С. 28.

62. Кравченко Г.И. Крепежные свойства набрызгбетона и возможности их улучшения / Г.И. Кравченко, С.А. Константинова, В.А. Асанов, В.К. Воронин, Ю.М. Карташов // Шахтное строительство. – 1974. - №8. – С. 13 – 15.
63. Вагин Г.И. Применение бесщебеночных бетонов на шахтах Западного Донбасса / Г.И. Вагин, С.А. Бернштейн, Д.С. Аксельрод // Шахтное строительство. – 1974. - №3. – С. 26.
64. Ильенко В.В. Набрызгбетон с комплексной добавкой / В.В. Ильенко, В.Б. Глобинок // Шахтное строительство. – 1987. - №5. - С. 12 – 13.
65. Юхимов Я.И. Составы и оборудование для торкретирования выработок / Я.И. Юхимов, В.Г. Гальперин // Уголь Украины. – 1985. - №6. – С. 44 – 46.
66. Фурдей П. Г. Обоснование ресурсосберегающих рецептур тампонажно-закладочных суспензий на основе шлаковых отходов для ликвидации техногенных пустот: дис. канд. техн. наук : спец. 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство» / П. Г. Фурдей. - Днепропетровск, 2014. - 173 с.
67. Корнеева Е.В. Бесцементная закладочная смесь на основе конвертерных шлаков / Е.В. Корнеева // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2009. - №4. – С. 50 – 53.
68. Иванов Е.Г. Влияние влажности заполнителей на качество смесей набрызгбетона / Е.Г. Иванов // Шахтное строительство. – 1979. – №8. – С. 13 – 14.
69. Ильенко В.М. Новый материал для безопалубочного бетонирования горных выработок / В.М. Ильенко, В.П. Наумов, В.Я. Пехота // Шахтное строительство. – 1973. – №5 - С. 12 – 13.
70. Максимов А.П. О применении шлакобетонных смесей при креплении горных выработок набрызг-бетоном / А.П. Максимов, Г.В. Лебедева // Шахтное строительство. - 1970. - №8 – С. 9 – 11.
71. Рожанская В.И. Использование шлакосиликатбетона для шахтной крепи / В.И. Рожанская, П.П. Пастухов, В.П. Макаров // Шахтное строительство. – 1975. - № 2. – С. 13 – 14.
72. Ковтун Е.П. О выборе материалов для заполнения полостей выбросов породы / Е.П. Ковтун, В.В. Черкасов, М.С. Коротченков // Шахтное строительство. – 1973. - № 3. – С. 2 – 3.
73. Шашенко А.Н. Технология заполнения закрепного пространства торкрет-ангидритом для капитальных выработок шахт Западного Донбасса / А.Н. Шашенко, М.А. Поздняков, А.В. Солодянкин, В.И. Пилюгин // Материалы междунар. конф. “Форум горняков-2012”. Том 2. – Днепропетровск: Национальный горный университет. – 2012. – С. 94 - 100.
74. Селезень А.Л. Использование фосфогипса для тампонажа горных выработок / А.Л. Селезень, И.Ю. Заславский, А.Г. Файвищенко, А.Г. Куценко // Шахтное строительство. – 1984. - № 1. – С. 14 – 16.
75. Тарасенко В.В. Промышленные испытания фосфогипсового вяжущего на шахтах / В.В. Тарасенко, И.С. Шакин, И.Ю. Заславский // Уголь Украины. – 1986. - №2. – С. 12 – 15.

76. Симанович Г.А. Твердеющие смеси на основе фосфогипсового вяжущего для крепления и охраны горных выработок / Г.А. Симанович, Э.И. Фрадкин // Подземное и шахтное строительство. – 1991. – №11. – С. 22 – 24.

74. Заславский И.Ю. Применение затяжек из фосфогипса для крепления горных выработок / И.Ю. Заславский, А.Г. Файвишенко, Ю.М. Зыков, А.П. Стариков // Шахтное строительство. – 1989. – №5. – С. 20 – 21.

75. Аносова Г.В. Литые быстротвердеющие смеси повышенной прочности для спецсооружений в шахтах / Г.В. Аносова, В.И. Стамбулко // Шахтное строительство. – 1979. - №5. – С. 11 – 12.

76. Закономерности угленакопления на территории Западного Донбасса / Под ред. А.З. Широкова. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 452 с.

77. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – К.: Наукова думка, 1979. – 136 с.

78. Пиньковский Г.С. Определение прочностных характеристик горных пород при естественной влажности / Г.С. Пиньковский, А.В. Безазьян // Уголь Украины. – 1979. - № 8. - С. 21.

79. Безазьян А.В., Павличенко Т.А., Чередниченко Т.И. Об использовании горных пород Западного Донбасса для производства строительных материалов // Уголь Украины. – 1981. – № 8. – С. 20.

80. Халимендик Ю.М., Южакова Р.А. Применение породобетонных смесей для возведения шахтных конструкций // Уголь Украины. – 1994. – № 11. – С. 24-26.

81. Цаплин Е.Г. Проектирование ресурсосберегающих тампонажных растворов на основе местных материалов и отходов горного производства для изоляции горных выработок в сложных горногеологических условиях: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.04 / Цаплин Евгений Геннадьевич. – Днепропетровск, 1991. – 16 с.

82. Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / В.А. Перов, Е.Е. Андреев, Л.Ф. Биленко. – М.: Недра, 1990. – 301 с.

83. Беленький А.М. Добыча угля с оставлением породы в шахте / А.М. Беленький, Ю.С. Макаревич, Н.К. Бужин. – Донецк: Из-во «Донбасс», 1969. – 112 с.

84. Фурсов Е.Г. Дробление горных пород под воздействием скалывающих нагрузок / Е.Г. Фурсов // Горное оборудование и электромеханика. - № 7. – 2009. – С. 32 – 33.

85. Арсентьев В.А. Безотходная технология производства строительных материалов массового использования из изверженных горных пород / В.А. Арсентьев, Л.А. Вайсберг, А.Д. Самуков // Горный журнал. - № 12. – 2014. – С. 55 – 62.

86. Домокеев, А.Г. Строительные материалы : учеб. / А.Г. Домокеев. –М. : Высш. школа, 1982. – 383 с.

87. Александрин И.П. Строительный контроль качества бетона. - Л.-М.: Гостройиздат, 1955. - 227 с.

88. Ивачев Л.М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси. – М.: Недра, 1987. – 242 с.
89. Максимов А.П., Евтушенко В.В. Тампонаж горных пород. – М.: Недра. – 1978. – 180 с.
90. Башлык С.М., Загибайло Г.Т., Зайонц О.Л. Лабораторный практикум по основам гидравлики и промывочным жидкостям. Учебное пособие для техникумов. – М.: Недра. – 1982. – 156 с.
91. ДСТУ Б В.2.7 – 239:2010. Розчини будівельні. Методи випробувань.
92. ДСТУ Б В.2.7 – 214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
93. ДСТУ Б В.2.7 – 170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
94. Евтушенко В.В. Исследование и разработка эффективных способов тампонажа закрепного пространства при сооружении капитальных горных выработок на шахтах Западного Донбасса : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук № 05.313 / В.В. Евтушенко; Днепропетровский горный институт – Днепропетровск, 1971. - 28 с.
95. Должиков П.Н., Кипко А.Э. Физика движения вязкопластичных тампонажных растворов: Монография. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 237 с.
96. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. – 415 с.
97. Рыжков И.В. Физико-химические основы формирования свойств смесей с жидким стеклом / И.В. Рыжков, В.С. Толстой. – Харьков: «Вища школа», 1975. – 139 с.
98. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др.; под ред. д-ра техн. наук Вознесенского В.А. – Киев: Будівельник, 1983. – 144 с.
99. Зендгинидзе И.Г. Математическое планирование эксперимента для исследования и оптимизации свойств смесей. – Тбилиси: «Мецниереба», 1971. – 152 с.
100. Брукс Г. Торкрет-бетон, торкрет-цемент, торкрет-штукатурка / Г. Брукс, Р. Линдер, Г. Руфферт; пер. с нем. М.В. Алешечкиной, З.А. Липкинда; под ред. Л.А. Феднера. – М.: Стройиздат, 1985. – 205 с.
101. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высш. Шк., 1987. - 415 с.
102. Заславский И.Ю. Набрызгбетонная крепь / И.Ю. Заславский, А.В. Быков, В.Ф. Компаниец. – М.: Недра, 1986. – 198 с.
103. Стрельцов Е.В. Крепление горных выработок угольных шахт набрызгбетоном / Е.В. Стрельцов, Э.В. Казакевич, Д.И. Пономаренко. – М.: «Недра», 1978. – 237 с.
104. Бетоны и растворы для подземного шахтного строительства: Справочное пособие / О.С. Докукин, И.Г. Косков, В.П. Друцко, С.А. Бернштейн. М.: Недра, 1989. – 211 с.

105. Пономаренко Г.Г. Крепь из нового вида набрызг-бетона, возводимая вслед за подвиганием забоя / Г.Г. Пономаренко // Шахтное строительство. – 1971. - № 6. – С. 6 – 8.
106. Мазурак А.В. Оцінка технологічних параметрів при виконанні торкрет-бетонних робіт / А.В. Мазурак, В.О. Михайлечко, Т.А. Мазурак, І.В. Ковалик // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2010. - Т.9, № 2. - С. 100 – 103.
107. Мазурак А.В. Вплив технологічних чинників на міцність торкрет-бетону / А.В. Мазурак, Я.А. Балабух // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2009. – № 655 : Теорія і практика будівництва. – С. 164–167.
108. Штумпф Г.Г. Характер разрушения образцов пород и совершенствование методов определения их прочности. / Г.Г. Штумпф // Уголь Украины. – 1988. – № 6. – С. 10-12.
109. Штумпф Г.Г. Влияние соотношения размеров образцов на показатели прочности горных пород на растяжение / Г.Г. Штумпф, В.А. Шаламанов, Н.И. Бурцева // Шахтное строительство. – 1989. - № 5. – С. 17 – 21.
110. Ицкович С.М. Технология заполнителей бетона. / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. – М.: Высшая школа, 1991. – 271 с.
111. Коваленко В.В., Гаркуша В.С. Исследование физико-механических характеристик торкрет-бетонных составов на основе пустой породы [Текст] // Материалы международной конференции «Форум горняков-2014». Том 2. – Днепропетровск: ООО «Лизунов Пресс». – 2014. – с. 130-138.
112. Коваленко В.В. Особенности использования шахтной породы в качестве замены части заполнителя при приготовлении торкретбетона / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша // Уголь Украины. – 2014. - № 12. – с. 38 - 42.
113. Солодянкин А.В. Тампонажные и торкрет-бетонные смеси для крепления капитальных выработок угольных шахт / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, В.В.Коваленко, В.С. Гаркуша, А.З. Прокудин // Вісник Криворізького національного університету. – Вип. - 2015. – с. 111-116.
114. Гаркуша В.С. Исследование реологических свойств тампонажных растворов на основе шахтных пород / В.С. Гаркуша // Розробка родовищ: щорічний науково-технічний збірник. – Д.: Літограф, 2015. – С. 389 – 394.
115. Росстальной Е.Б. Тампонаж закрепных пустот как эффективный способ повышения устойчивости капитальных горных выработок / Е.Б. Росстальной // Уголь. – 2008. - № 1. – С. 15 – 16.
116. Эртин Э. Роль химических добавок при торкретировании горных выработок / Э. Эртин // Горный журнал. – 2008. - № 3. – С. 68 – 70.
117. Шубин А.А. Сооружение тампонажных завес растворами на основе фиброаполнителя / А.А. Шубин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. - № 5 - С. 308 – 310.
118. Бент О.И. Золошлаковые отходы – индикатор экологичности углей / О.И. Бент // Уголь Украины. – 1993. - № 7. – С. 39 – 40.

119. Нетеса Н.И. Легкие бетоны с золой уноса Приднепровской ТЭС / Н.И. Нетеса, Д.В. Паланчук, А.Н. Нетеса // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 5 (47). – С. 137 – 142.
120. Энтин З.Б. Еще раз о золах-уносе ТЭС для производства цемента / З.Б. Энтин, Н. Стржалковская // Цемент и его применение. – 2009. - № 2. – С. 106 – 111.
121. Энтин З.Б. Зола ТЭС – сырье для цемента и бетона / З.Б. Энтин, Л.С. Нефедова, Н.В. Стржалковская // Цемент и его применение. – 2012. - № 2. – С. 40 – 46.
122. Хрычиков В.Е. Формовочные смеси для прибылей стальных отливок с использованием золы-уноса Приднепровской ТЭС / В.Е. Хрычиков, В.Ю. Селиверстов, В.Ф. Мазорчук, Р.В. Усенко, О.С. Наумов, Г.В. Фоменко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - № 2. – С. 36 – 38.
123. Парфенова Л.М. Применение зол тепловых электростанций в бетонах / Л.М. Парфенова // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2013. - № 16. – С. 68 – 72.
124. Рояк Г.С. Применение золы уноса в бетоне – эффективный путь к экономии цемента / Г.С. Рояк, И.В. Грановская, А.Ю. Тарасова // Транспортное строительство. – 2008. - № 9. – С. 18 – 19.
125. Бердов Г.И. Влияние высокодисперсных минеральных добавок на механическую прочность цементного камня / Г.И. Бердов, Н.И. Никоненко, Л.В. Ильина // Известия вузов. Строительство. – 2011. - № 12. – С. 25 – 30.
126. Пристинська В.В. Ефективність використання хімічних добавок для виготовлення залізобетонних виробів / В.В. Пристинська // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. – Вип. 1 (43). – С. 170 – 175.
127. Кудряков А.И. Зернистый пористый материал из микрокремнезема / А.И. Кудряков, Н.А. Свергунова // Строительные материалы. – 2009. - № 6. – С.86 – 87.
128. Урханова Л.А. Конструктивные легкие бетоны на безобжиговых зольных заполнителях / Л.А. Урханова, А.С. Еременко // Вестник ИрГТУ. – 2011. - № 1. – С. 100 – 104.
129. Ежов П.А. Влияние добавок поверхностно-активных веществ и наполнителей на проницаемость и механические свойства тампонажных цементов и бетона : автореф. дис. канд. техн. наук / П.А. Ежов. – Москва, 1962. – 15 с.
130. Русина В.В. Коррозионная стойкость мелкозернистых бетонов на основе техногенного сырья / В.В. Русина, Е.В. Корда, С.А. Львова // Строительные материалы. – 2011. - № 8. – С. 29 – 31.
131. Добрянський І.М. Вплив мікроструктури цементного каменю на його фізико-механічні властивості / І.М. Добрянський, І.І. Ніконець // Будівництво України. – 2009. - № 3. – С. 35 – 36.

132. Подвальный А.М. О классификации видов коррозии бетона / А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2004. - № 2. – С. 23 – 27.
133. Москвин В.М. Коррозия бетона. – М., 1952. - 342 с.
134. Кузнецова И.Н. Процессы коррозии цементного камня в его структуре / И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – Вып. 2 (24). – С.49 – 52.
135. Меликулов А.Д. Обоснование и выбор рациональных параметров тампонажных завес и технологии их возведения для повышения долговечности коллекторных тоннелей глубокого заложения: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.04 / Меликулов Абдусаттар Джаббарович. - Москва, 1980. – 14 с.
136. Коваленко В.В. Защита металлической крепи от коррозии с использованием торкрет-бетона: Монография / В.В. Коваленко. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2012. – 108 с.
137. Курилко А.С. Влияние хлоридных кальциевых рассолов на прочность торкрет-бетона, изготовленного на основе местных заполнителей (на примере рудика «Удачный») / А.С. Курилко, А.В. Дроздов, К.Н. Алексеев, А.Д. Никифорова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. - № 2. – С. 17 – 21.
138. Миндели Э.О. Коррозионная стойкость цементов в сероводородной среде / Э.О. Миндели, Т.Г. Читаишвили, Э.Н. Гуджеджиани, И.А. Чкуасели // Шахтное строительство. – 1978. - № 4. – С. 13 – 15.
139. Дудля Н.А. Глиноцементные тампонажные растворы в горном деле: Монография / Н.А. Дудля, Н.Н. Тельних, А.В. Попов, Е.Г. Цаплин. – Днепропетровск: Национальный горный университет. – 2004. – 191 с.
140. Коваленко В.В. Исследование влияния золы-уноса на прочностные показатели породобетона / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша, П.А. Бакум // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Вип. 2. - 2014. – с. 141 – 149.
141. Гаркуша В.С. Торкрет-бетонні суміші на основі відходів добування кам'яного вугілля для кріплення гірничих виробок / В.С. Гаркуша // Вісник національного гірничого університету. – 2015. - № 3. – с. 17-23.
142. Коваленко В.В. Исследование влияния ПВА-эмульсии на реологические свойства тампонажных растворов на основе пустых пород / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2015». Том 2. – Днепропетровск: НГУ. – 2015. – с. 110 - 115.
143. ДСТУ Б В.2.7 – 220:2009. Бетони. Методи визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю
144. Чихунов Д.А. Методика и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов [Электронный ресурс] // Геостройизыскания, 2015. Режим доступа: <http://www.gsi.ru/art.php?id=87> (дата обращения: 20.04.2015).
145. Снежков Ю.Д. Неразрушающий контроль прочности бетона конструкций сегодня: практический аспект [Электронный ресурс] / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонтович // Современные проблемы внедрения

европейских стандартов в области строительства, 2014. Режим доступа: <http://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/15796/%D0%A1.%20145-157.pdf> (дата обращения: 29.04.2015).

146. Кульчицкий Л.И. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород / Л.И. Кульчицкий, О.Г. Усыров. – М.: Недра, 1981. – 212 с.

147. Кульчицкий Л.И. Роль воды в формировании свойств глинистых пород / Л.И. Кульчицкий. – М.: Недра, 1975. – 211 с.

148. Чураков К.Н. Комплекс ПЗК для закладки выработанного пространства на шахтах // Уголь Украины. – 1983. – № 4. – С. 13.

149. Солдатов В.И., Кравец В.Г. Оставление породы в шахте (опыт проектирования) // Уголь. – 1992. – № 2. – С. 23-27.

150. Яркович А.И., Малыхин А.В. Опыт и перспективы оставления пород в шахтах Западного Донбасса // Розробка родовищ. Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 201-205.

151. Анализ состояния технологии утилизации отходов добычи и обогащения угля. Зарубежный опыт использования породы // Режим доступа: <http://mboutil.com/opit>.

152. Солодянкин А.В. Совершенствование технологии тампонажа закрепного пространства в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса / А.В. Солодянкин, М.А. Выгодин, В.В. Коробченко, А.В. Смирнов, А.З. Прокудин // Розробка родовищ : щорічний науково-технічний збірник. – Д.: Літограф, 2014. – С. 171 – 178.

153. Смирнов А.В. Напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности выработки с комбинированной крепью / А.В. Смирнов / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. - № 6. – С. 116 – 120.

154. Солодянкин А.В. Оценка геомеханических условий и состояния протяженных горных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» / А.В. Солодянкин, А.В. Мартовицкий, А.В. Смирнов // Инженерный вестник Дона. – № 2, ч. 2 (2015). Режим доступа: <http://studydoc.ru/doc/298080>.

155. Солодянкин А.В. Обоснование эффективных решений по поддержанию протяженных выработок на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» на основе оценки геомеханических условий / А.В. Солодянкин, А.В. Мартовицкий, А.В. Смирнов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №3 (2015). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN315.pdf> (доступ свободный).

156. Коваленко В.В. Дослідження впливу розміру заповнювача на міцність фібробетону на вигин / В.В. Коваленко // Науковий вісник НГУ. – 2011. - № 6. – С. 40 – 43.

157. Коваленко В.В. Лабораторные исследования деформационных характеристик фибробетона на жестких и извилистых полимерных армирующих волокнах / В.В. Коваленко // Науковий вісник НГУ. – 2010. - № 11- 12. – С. 23 – 27.

158. Коваленко В.В. Сравнительный анализ использования неразрушающего и разрушающего методов контроля бетонных образцов / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша // Уголь Украины. – 2015. - № 6. – с. 44 - 47.

159. Мкртчян С.В. Перспективы использования шахтной породы в твердеющих смесях для обеспечения устойчивости капитальных выработок / С.В. Мкртчян, В.В. Коваленко, М.А. Выгодин, В.С. Гаркуша // Уголь Украины. – 2016. - № 1. – с. 28 - 32.

160. Гаркуша В.С. Управление устойчивостью капитальных выработок с пучащей почвой / В.В. Коваленко, В.С. Гаркуша // Пучение пород почвы в выработках угольных шахт: Монография / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, А.В. Смирнов. – Д.: ООО «ЛизуновПресс», 2015. – с. 201 – 217.

Наукове видання

Гаркуша Віталія Сергіївна

**КРІПЛЕННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ВИРОБОК
З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДІЮЧИХ СУМІШЕЙ
НА ОСНОВІ ШАХТНОЇ ПОРОДИ**

Монографія

Видано в редакції автора.

Підписано до друку 12.06.2017. Формат 30х42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 7,3.
Обл.-вид. арк. 7,0. Тираж 35 пр. Зам. № ____.

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.