



О. О. ВОВК,
доктор техн. наук
(НТУУ «КПІ»)

УДК 622.235

Методи запобігання та локалізації небезпечних сейсмодинамічних проявів під час ведення гірничовидобувних робіт

Розглянуто методи запобігання та локалізації небезпечних сейсмодинамічних проявів під час ведення гірничовидобувних робіт шляхом улаштування сейсмозахисних екранів та запропоновано методи вибору заповнювачів із урахуванням екологічних і техніко-економічних показників.

Ключові слова: сейсмозахисні екрани, гірські породи, матеріал заповнювача, зв'язуючі компоненти.

Контактна інформація: o.a.vovk@mail.ru

Нині вугілля видобувають з пластів, що залягають на значних глибинах. Цей процес супроводжується динамічними явищами високої інтенсивності насамперед у вигляді гірничих ударів, що спричинюють руйнування і ушкодження підземних об'єктів, порушення технологічних процесів під час виконання підготовчих і очисних робіт іноді до аварійних ситуацій. Сейсмічні коливання, що емітуються при цьому, часто досягають поверхні Землі, викликаючи негативні процеси на значній території шахтного поля і за його межами над епіцентром, порушуючи рівновагу зсувонебезпечних схилів, режим водних потоків і впливаючи на поверхневі інженерні об'єкти з інтенсивністю, що перевищує граничні параметри сейсмостійкості. Усе це потребує проведення комплексних досліджень, спрямованих на запобігання або локалізацію динамічних проявів, максимально можливої нейтралізації небезпеки в підземних виробках, на розробку сейсмозахисних, протизсувних заходів на денній поверхні для природних та інженерних об'єктів, що потрапляють у сейсмонебезпечну зону.

У разі, коли знизити інтенсивність дії сейсмовибухових

хвиль на об'єкт, що охороняється, до рівня безпечних масових швидкостей (прискорення), зміною маси (конструкції заряду, відстані тощо), з технологічних причин неможливо, між джерелом і об'єктом, що охороняється, зводиться штучна споруда, яка цілком або частково поглинає енергію цих хвиль. Інженерна практика накопичила великий і різноманітний досвід захисту будівель і споруд від різних динамічних дій, підвищення сейсмостійкості зсувонебезпечних укосів [1].

Окрім застосування фундаментів спеціальної антисейсмічної конструкції найбільш поширеними і досить ефективними заходами треба вважати облаштування сейсмозахисних екранів у вигляді суцільної або переривчастої щілини, заповненої пористим енергопоглинальним матеріалом. Такі споруди вимушені влаштувати і в разі сейсмічної обстановки, що змінюється з будь-якої причини: зростання бальності хвиль, збільшення масштабів вибухових робіт або зміни ґрунтових умов на робочому майданчику. Щодо терміну дії, вони можуть поділятися на тимчасові (на період виконання вибухових робіт, наприклад, на час вибухової обробки масивів) і довгострокові (наприклад, під час сейсмозахисту об'єктів, розташованих поблизу гірничих підприємств, які систематично застосовують масові вибухи).

За технікою виконання сейсмозахисні конструкції поділяються на виконані вибуховим, механізованим, комбінованим (вибухомеханічним) способами. Різновиди щілин можуть утворюватися в ущільнених ґрунтах внаслідок вибуху вертикальних свердловин, заповнених вибуховими речовинами. Залежно від відстані між свердловинами щілина може бути практично постійного або змінного перетину. Крім того, під час облаштування сейсмозахисних перешкод елементи, що перекривають цілики, розташовують як в одну лінію, так і у шаховому порядку [2]. Знайти параметри та-

ких порожнин радіусом $r_{\text{п}}$ та відстані між ними можна за формулою

$$r_{\text{п}} = 0,01785 K_{\text{м}} \sqrt{Q_{\text{пог}} P_{\text{пр}}}$$

де $K_{\text{м}}$ – коефіцієнт масштабу;

$Q_{\text{пог}}$ – погонна маса вибухової речовини, кг/м;

$P_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прострілюваності.

Відстань між свердловинами $a_{\text{св}}$ приймають у межах 3 – 4 $r_{\text{п}}$ або розраховують за співвідношенням

$$a_{\text{св}} = 1,85 \sqrt{Q_{\text{пог}}}$$

Матеріал заповнювача порожнин повинен мати характеристики, здатні забезпечити низку еколого-економічних і технологічних вимог, серед яких найважливіші:

- невелика густина (висока пористість), що забезпечує максимальне поглинання енергії коливань сейсмічних хвиль;
- достатня механічна міцність для запобігання обваленню стінок порожнини;
- мінімальний коефіцієнт фільтрації, що знижує вірогідність проникнення води в порожнину із заповненням відкритих пор, що важливо для збереження поглинальних властивостей заповнювача;
- приготування заповнювача, для якого використовують місцеві матеріали і відходи промислового виробництва.

З урахуванням зазначених вимог розглянемо варіанти матеріалів заповнювача у вигляді глинистих суспензій з додаванням певної кількості недорогих в'язучих компонентів. Звукопоглинальні властивості таких суспензій досягаються за рахунок додавання різних порожнистих місткостей (поліетиленових кульок, герметично закупорених порожніх флаконів, пляшок та інших видів поліетиленової або скляної тари різного призначення). Важливим моментом під час добору заповнювача є врахування взаємодії цих матеріалів з ущільненим навколишнім масивом, якому бажано додати їм певні міцнісні властивості та знизити водопроникність.

Оскільки порожнини можуть утворюватися вибуховим способом лише в глинистих ґрунтах, слід мати на увазі, що їх більшість малопридатна для зміцнення наявними в'язучими матеріалами, а ґрунти гумусних горизонтів дерново-підзолистих і напівболотяних ґрунтів, глини з числом пластичності більше 27 і важкі суглинки не рекомендується зміцнювати портландцементом і органічними зміцнювачами. Для цих умов комп-

лексні протисейсмічні і протифільтраційні екрани доцільно споруджувати за допомогою бітумозольних, бентонітових і глинофосфатних суспензій (шлікерів). Проте бентонітові суміші з часом вимиваються водою, втрачають гідрозакисні властивості і тому для довговічних споруд непридатні. Для заповнення протифільтраційних щілин варто застосовувати шлікери з додаванням фосфоромісних речовин. В'язучими домішками можуть бути продукти переробки відвальної породи вуглевидобування, зокрема вапно, клінкерні мінерали портландцементу, природний двоводневий гіпс.

Застосування зв'язуючих компонентів для глинистих суспензій, одержаних з відвальної породи вуглевидобувних підприємств. Під час розробки вугільних родовищ на поверхню видаються гірські породи у вигляді промислових відходів, які забруднюють навколишнє середовище і не використовуються. Породи, що надходять у шахтні відвали (терикони), окислюються під дією кисню повітря і самозаймаються протягом тривалого часу через наявність часток вугілля (їх може бути до 2,5 % і більше), що містяться в них, у сірці та в інших органічних домішках. Загальні запаси таких порід у відвалах становлять сотні мільйонів кубічних метрів, сконцентрованих у насипах заввишки 30–40 м при місткості одного відвала від 1 до 4 млн т. Обсяг порід, що видаються на поверхню гірськими підприємствами України, щорічно становить понад 300 млн т (у 1995 р. – 253 млн т), значна частка яких припадає на вугільні шахти [3]. Терикони, що простояли період, коли процес горіння закінчується, можуть бути джерелом сировини для переробки в слабов'язкі матеріали і заповнювачі будівельних розчинів різного призначення, – в нашому випадку для виготовлення екранів.

Зв'язуючі з відвальної породи вуглевидобування складаються з багатьох компонентів, кожний з яких по-своєму взаємодіє з твердими частинками ґрунту.

Фізико-хімічні процеси при взаємодії зв'язуючих компонентів з глинистим середовищем. На підставі досліджень хімічний і мінералогічний склад відвальної породи такий, %: SiO_2 – 50–60, Al_2O_3 – 18–25, Fe_2O_3 – 5–10, CaO – 1,5–5, TiO_2 – 0,5–2,5, MnO – 0,3–2,5, K_2O – 3–5. Склад відвальної породи і його основність міняються в досить великих межах, що зумовлюється різноманітністю гірських порід, виданих на поверхню в процесі

підземної розробки. Взаємодія цих компонентів з глинистим ґрунтом – складний хімічний, хіміко-мінералогічний, фізико-хімічний процеси і потребує докладного аналізу механізму взаємодії складних сполучень. Фосфоровмісні матеріали, що містяться в зв'язувальній речовині з відвальної породи, впливають на ґрунтові частинки подібно до описаних і в цій статті не розглядатимуться. У цьому випадку, як і у згаданих, важливою є та обставина, що на завершення складних процесів гідролізу і ретроградації фосфорнокислих солей більше 70 % аніонів фосфорної кислоти, що виділяється із складу зв'язувальних з відвальної породи, поглинається катіонами оксидів металу, що є у складі ґрунту з утворенням твердих водонерозчинних фосфатів у вигляді $AlPO_4$, $FePO_4$, $CaPO_2$ та ін.

Розглянемо питання взаємодії з глинистими ґрунтами інших зв'язувальних компонентів, які одержують під час переробки перегорілих породних териконів вугільних шахт (вапняків, клінкерних мінералів, двооксиду гіпсу). У відвальної породи міститься до 5 % головного оксиду, що утворює клінкерні мінерали, – в'язкого CaO . Переважну більшість становить кремнезем SiO_2 – до 60 %. Для участі його в хімічному з'єднанні клінкерних мінералів потрібно було б ввести до складу понад 70 % вапна. Проте навіть у такій кількості вапно не з'єднуватиметься з кремнеземом для утворення клінкерних мінералів, оскільки для цього потрібне спільне випалення. Тільки при високій температурі (близько 1450 °C) утворюються клінкерні мінерали на основі оксиду кальцію і кремнезему.

Багатообіцяючим є той факт, що у складі відвальної породи вуглевидобування є велика кількість оксиду алюмінію (до 25 %) і оксиду заліза (до 10 %). Вони потрібні для утворення клінкерних мінералів і завжди є у складі відвальної сировини, підвищуючи гідравлічну активність заповнювача порожнин. Водночас відвальним породам властиве саморозсіпання під дією штучно викликаного силікатного розпаду (так званий кристалохімічний спосіб), а також під час вивітрювання.

Як відомо, для силікатного розпаду породи треба, щоб швидкість кристалізації двокальцієвого силікату (беліта) була більша, ніж швидкість випадання RO фази (сума оксидів заліза і марганцю з частковим вмістом оксиду магнію). Значний вміст RO фази у складі відвальної поро-

ди (близько 12 %) перешкоджає силікатному розпаду. В цьому разі силікатний розпад досягається введенням до складу зв'язки певної кількості вапна, а також активізатора № 1, які утворюють достатню кількість клінкерних мінералів, що складаються з двокальцієвого силікату $2CaO \cdot SiO_2$, який забезпечує силікатний розпад. Двокальцієвий силікат як центр кристалізації викликає утворення цього мінералу в кількості, достатній для виникнення силікатного розпаду.

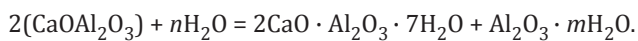
Аналізуючи теоретичні передумови отримання зв'язуючого на основі відвальної породи вуглевидобування, варто зазначити, що, судячи з мінералогічного складу і підвищеної основності наявних мінералів за участю оксидів алюмінію і заліза, така порода повинна мати значно вищу гідравлічну активність, ніж ту, що одержано активізацією в лабораторних умовах. Мала гідравлічна активність пояснюється тим, що умови лабораторії не дозволяють виготовити спільний помел компонентів і витримати такий температурний режим, який активізував би інертні мінерали, що містяться у складі всіх компонентів.

Двокальцієвий силікат, на частку всіх компонентів якого припадає близько 40 % мінеральної фази, присутній в γ -формі, що вважається неактивною за нормальних умов тверднення. Крім того, при активізації інертних мінералів домішками фосфоровмісних матеріалів (суперфосфату, активізаторів хімічних реагентів №1 і 2) утворюються клінкерні мінерали з оксидами алюмінію (заліза та ін.), які є гідравлічно активними в α - або β -модифікації. Під дією активних хімічних реагентів у складі двокальцієвого силікату утворюються складні водонерозчинні з'єднання і відповідно значно збільшується його активність. Додавання фосфоровмісних матеріалів (суперфосфату) і активізаторів викликає збільшення ступеня розпушування, активізації катіонів, які містяться у складі компонентів (у цьому разі оксидів FeO , MnO , CrO_3 і т. д.) і, отже, збільшення запасу потенційної енергії кристалічних решіток клінкерних мінералів, що і сприяє зростанню гідравлічної активності зв'язуючого.

Зазначимо, що на основі відвальної породи вуглевидобування можна одержати зв'язуюче автоклавного тверднення, оскільки більшість клінкерних мінералів (зокрема, двокальцієві силікати $2Ca \cdot SiO_2$) містяться в β - або γ -модифікаціях, які при автоклавному режимі порушують гідрав-

лічну активність і хімічні реакції з кремнеземними матеріалами. Наявність незначної кількості MgO (до 1 %) у вигляді періклаза у відвальній породі також не є перешкодою для отримання зв'язуючого, оскільки під час нормального тверднення перікла вони майже інертні. Про вплив трикальцієвого силікату – алініта буде далі. Лише вкажемо на те, що він має три різні форми кристалізації і, крім того, може містити оксиди FeO, MgO, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃, що створює моноклінну систему кристалізації. Твердий розчин алініта виражається формулою 54CaO · 16SiO₂ · MgO · Al₂O₃.

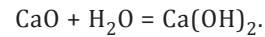
У складі відвальної породи можуть бути присутні лужні оксиди у вигляді комплексних з'єднань натрію і калію, наприклад Na₂O · 8CaO · 3Al₂O₃ і K₂O · 23CaO · 12SiO₂. Проте вони негативно не впливають на кристалізацію зв'язуючого. Наявність у складі горілої відвальної породи оксиду алюмінію (до 25 %) у вільному вигляді дає підстави під час введення певної кількості вапна одержати новий клінкерний матеріал – однокальцієвий алюмінат CaOAl₂O₃, який при розчиненні у воді гідратизується за реакцією



Гідратне з'єднання (перший доданок), що утворюється, сильно ущільнює і кристалізує гель твердіючого матеріалу, приєднує до себе вільний кремнезем і енергійно прискорює зростання міцності зв'язуючого компоненту суспензії.

Вплив вапна, що входить до складу зв'язуючого з відвальної породи, на фізико-хімічні властивості мулистих і глинистих ґрунтів. Ефективне виконання технологічних операцій щодо зміцнення ґрунтів можливе лише тоді, коли вологість оброблюваного ґрунту не перевищує її значення при оптимальному стандартному ущільненні, за якого ґрунт перебуває у напівтвердому стані. Проте мулисті і дуже водонасичені ґрунти перебувають у перезволоженому стані, тобто мають вологість, вищу за оптимальну. Ці ґрунти неможливо ущільнити. Крім того, їх важко розпушити так, щоб зв'язуюче проникало в їх агрегатні частинки. Зв'язуюче в агрегатних частинках забезпечує проникнення фосфоровмісного складового компоненту. У доведенні мулистих і перезволожених глинистих ґрунтів до оптимальної вологості істотну роль виконує обпалене вапно, що є у складі зв'язуючого з відвальної породи. Негашене вапно CaO, додане до зв'язуючого по-

ряд з вапном у складі клінкерних мінералів портландцементу, гідратизується, приєднуючи до себе воду мулистого або водонасиченого глинистого ґрунту, за реакцією



У момент цілковитого насичення вапна гідратне з'єднання вже не розчиняється, а перебуває в стані колоїдного роздроблення або гелю (холодцю). Під час подальшої гідратації гашене вапно Ca(OH)₂ склеює частинки ґрунту, втрачаючи пластичність, тобто починає тверднути. Активний аморфний кремнезем, що є у складі мулистих і глинистих ґрунтів, у присутності води зв'язує вапно і утворює гідросилікат кальцію у вигляді водонерозчинного продукту за реакцією: Ca(OH)₂ + SiO₂ + (n - 1)H₂O = CaO · SiO₂ · nH₂O. Глинозем, що входить до складу мулистих або глинистих ґрунтів, у присутності води взаємодіє з вапном, утворює гідроалюмінати кальцію, які також мають гідравлічні властивості, за реакцією: 2CaO + 2Al₂O₃ + nH₂O = 2CaO · Al₂O₃ · 7H₂O + Al₂O₃ · mH₂O. Утворене гідратне з'єднання 2CaO · Al₂O₃ · 7H₂O є дуже активним мінералом і створює достатню міцність під час тверднення.

Внесене в ґрунт зв'язуюче з відвальної породи, що містить негашене вапно, активно взаємодіє з вологою ґрунту і його тонкодисперсною частиною. Внаслідок цього вапно діє на ґрунт одночасно як осушуюча домішка і як хімічний реагент, що змінює властивості мулистих і глинистих ґрунтів. Крім того, вапно діє як зв'язуюче, тобто здатне утворити при взаємодії з компонентами ґрунту і повітря відносно міцні водостійкі з'єднання. Зниження вологості при внесенні зв'язуючого з відвальної породи, що містить вапно, в мулистих або водонасичених ґрунтах відбувається в результаті дії таких чинників [4]:

а) частка вологи при внесенні в ґрунт зв'язуючого вступає в хімічну взаємодію з її активними компонентами і переходить у твердий стан; кількість цієї вологи визначається за формулою

$$W_r = K_1 D,$$

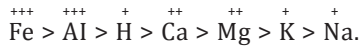
де K₁ – експериментально визначений коефіцієнт, що характеризує активність вапна і клінкерних мінералів у складі суміші відносно води; для чистого CaO коефіцієнт K₁ дорівнює 0,32, а для сухих клінкерних мінералів можна приймати K₁ = 0,45; D – доза вапна і сухих порошкоподібних складових у суміші, внесеній у ґрунт, %.

б) внесені в мулистий або водонасичений ґрунт вапно і сухий порошок зв'язуючого збільшують масу ґрунту за рахунок маси доданих матеріалів і зменшують вологість;

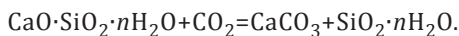
в) у процесі гасіння вапна і клінкерних мінералів теплота, що виділяється, підвищує температуру ґрунту, тому випаровування вологи з обробленого шару збільшується.

Після внесення зв'язуючого в мулистий або перезволожений ґрунт фізичні властивості ґрунту змінюються. Водночас залежно від дозування зв'язуючого можна домогтися оптимальної вологості ґрунту. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів пов'язана з коагуляцією тонкодисперсних частинок, зумовленою компенсацією їхніх зарядів.

Внутрішні частини подвійного електричного шару ґрунтової міцелли, як правило, мають негативний заряд і компенсаторами цих зарядів є катіони, які, адсорбуючись на поверхні негативно заряджених частинок, знижують їхній заряд. Іони вищих валентностей викликають коагуляцію при менших концентраціях, ніж іони нижчих валентностей. Залежно від енергії поглинання, тобто від здатності одних іонів витіснити інші, катіони розташовуються в такому порядку:



Вапно у складі зв'язуючого з відвальної породи – це типова і дуже активна коагуляція. Під час зміцнення ґрунтів додання зв'язуючого є достатніми не тільки для повного насичення поглинального комплексу іонами Ca, а й для створення значного надлишку лужного середовища, що підвищує обмінну здатність. Вапно утворює зворотні зв'язки кристалізацій між частинками ґрунту, а потім карбонізує за реакцією



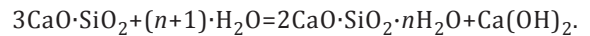
Отже, вапно, що є у складі зв'язуючого з відвальної породи, ефективно діє на зміцнення мулистих і глинистих ґрунтів, створює сприятливі умови наростання міцності з утворенням гіросилікатів кальцію, прискорює процеси кристалізації і карбонізує гідрати оксиду кальцію.

Вплив клінкерних мінералів портландцементу, що входять до складу зв'язуючого з відвальної породи, на фізико-механічні властивості мулистих і глинистих ґрунтів. У складі зв'язуючого є значна кількість клінкерних міне-

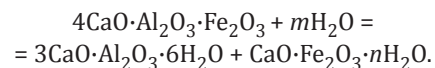
ралів портландцементу: трикальцієвий силікат $3CaO \cdot SiO_2$; двокальцієвий силікат $2Ca \cdot SiO_2$; трикальцієвий алюмінат $3CaO \cdot Al_2O_3$; чотирикальцієвий алюмоферит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Ці чотири з'єднання і є основними складовими частинами цементного клінкеру, причому силікати кальцію становлять 70–80 % його маси. Ці мінерали не можуть поглинатися мулистими і глинистими ґрунтами, оскільки не розщеплюють сполучені агрегати цих ґрунтів, щоб при твердненні склеювати. Тому агрегати розщеплює фосфорна кислота, проникаючи між агрегатами ґрунтів разом з розчинами вказаних клінкерних мінералів. Поглинаючи фосфорну кислоту з розчину клінкерних мінералів, частинки ґрунтів покриваються іншими частинками і тверднуть.

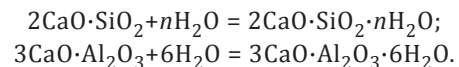
Тверднення клінкерних матеріалів – це складний фізико-хімічний процес, в результаті якого в цементному камені утворюються нові з'єднання, відсутні в цементному клінкері. Під час внесення зв'язуючого з відвальної породи у масив мулистих або водонасичених глинистих ґрунтів поверхневі шари клінкерних мінералів вступають з водою, що міститься у ґрунті, в хімічну реакцію. Трикальцієвий силікат піддається гідролізу і гідратації, утворюючи два нових з'єднання – гідросилікат кальцію і гідроксид кальцію:



Чотирикальцієвий алюмоферит під час дії на нього води гідролізується за реакцією



Двокальцієвий силікат і трикальцієвий алюмінат тільки гідратуються (приєднують до себе воду), утворюючи відповідно гідросилікат і гідролумінат кальцію:



Гідратні з'єднання, що утворюються, маючи порівняно погану розчинність (особливо гідросилікат кальцію), швидко насичують розчин. Хоча на початку тверднення гідратація кальцієвих з'єднань відбувається інтенсивно, у внутрішні шари частинок цементу вода проникає слабо. Тому процес взаємодії води з сухими клінкерними мінералами, що є у складі зв'язуючого з від-

вальної породи, в цілому протікає поволі і поступово згасає. У момент цілковитого насичення розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який є у складі клінкерних мінералів, вже не розчиняється, а перебуває у стані колоїдного подрібнення.

Під час гідратації клінкерних мінералів і зменшенні вільної води склеювальна здатність цементного тіста збільшується. Клінкерні мінерали склеюють частинки кремнезему, що міститься у ґрунті, і цементне тісто починає тверднути. Стійкіші в колоїдному стані гідроксид кальцію і трикальцієвий гідроалюмінат поступово починають переходити в стійкий – кристалічний стан. Водночас гель гідросилікату кальцію, що поволі кристалізується, склеює частинки ґрунту і ущільнюється. Кристали гідроксиду кальцію і трикальцієвого гідроалюмінату зростаються і, пронизуючи колоїдні маси, що складаються з гідросилікату кальцію, утворюють стійкий кристалічний зросток. При твердненні клінкерних мінералів на повітрі процес кристалізації доповнюється карбонізацією гідроксиду кальцію, що сприяє підвищенню міцності цементного каменю.

Клінкерні мінерали тверднуть тим швидше, чим більше в їхньому складі трикальцієвого силікату (аліту) і трикальцієвого алюмінату, але з часом приріст міцності уповільнюється. Клінкерні мінерали, що містяться у складі зв'язуючих з відвальної породи, якщо є багато двокальцієвого силікату (беліту), тверднуть повільно, а в подальшому міцніють тривало і рівномірно. Під час тверднення клінкерних мінералів на повітрі внаслідок випаровування води відбувається усадка, а під час тверднення у воді спостерігається зворотний процес – набухання. Додавання клінкерних мінералів до складу зв'язуючого з відвальної породи відіграє важливу роль при зміцненні ґрунтів і різко змінює фізико-механічні властивості зміщених ґрунтів.

Вплив природного двоводного гіпсу у складі зв'язуючого з відвальної породи на фізико-механічні властивості мулистих і глинистих ґрунтів. У складі зв'язуючого з відвальної породи є певна кількість природного двоводного гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Його додавання до складу зв'язуючого дають змогу регулювати терміни тужавлення і тверднення скріплювача. Якщо до складу зв'язуючого як домішку використано фосфогіпс, що утворюється в значних кількостях під час сірчано-кислотної переробки фосфатів (апатиту і фос-

фориту), фосфорну кислоту екстракції згідно з рівнянням $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 > 3\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{CaSO}_4 + \text{HF}$, то сполуки CaSO_4 і HF додатково позитивно вплинуть на зміцнення ґрунтів. Гіпс – зв'язуючий матеріал. Для отримання зв'язуючого з природного гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ його нагрівають (дегідратизують) у гіпсоварильному казані. Хімічно чистий двоводний гіпс складається з таких оксидів, %: CaO – 32,6, SO_3 – 46,5 і H_2O – 20,9. Під час нагрівання двоводного гіпсу в інтервалі температур 140–170 °C він швидко розкладається на напівводний гіпс і воду за реакцією



Під час отримання напівводного гіпсу варто пильно стежити за температурою нагрівання, оскільки при температурі 200 °C двоводний гіпс віддає всю воду кристалізації і поступово переходить у безводний гіпс – розчинний ангідрид, наявність якого у напівводному гіпсі погіршує властивості зв'язуючої речовини.

Додавання природного двоводного гіпсу до складу зв'язуючого обґрунтоване тим, що під час спільного помелу компонентів зв'язуючих з відвальної породи у млині вони разом з природним гіпсом нагріваються в межах 140–170 °C, і двоводний гіпс активізується, перетворюючись на напівводний. Під час змішування напівводного гіпсу з водою відбувається гідратація (приєднується вода), перетворюючись знову на двоводний гіпс за реакцією



Двоводний гіпс, зважаючи на погану розчинність, швидко насичує водний розчин, який незабаром стає перенасиченим щодо двоводного гіпсу, і останній починає виділятися у дисперсному (колоїдному) стані. Внаслідок появи нових порцій двоводного гіпсу і переходу колоїдних частинок у кристали тісто загущується, відбувається приєднання часток ґрунту і тужавлення. Надалі кристали $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ зростаються, утворюючи міцний гіпсовий камінь.

Природний гіпс добре поєднується з клінкерними мінералами портландцементу, з фосфоровмісними матеріалами, вапном, мінералами відвальної породи та іншими активізаторами, що є у складі зв'язуючого з відвальної породи. Відчутно впливають на міцність гіпсового каменю кількість води, взятої для розчинення гіпсу,

і тонкість його помелу. Для повної гідратації гіпсу теоретично потрібно води 18,6 % маси гіпсу, як і цементу для отримання рухомої маси. Гіпс розчиняють у 35–45 %, навіть у 50–75 % води. Надмірна кількість води, випаровуючись у процесі тверднення гіпсу, підвищує пористість гіпсового каменю.

Гіпс твердне тільки в сухих умовах; після цілковитого висушування зростання міцності гіпсових виробів припиняється. Проте гіпс у поєднанні з клінкерними мінералами та іншими зв'язуючими компонентами з відвальної породи може тверднути і у вологому середовищі. Початок тужавлення гіпсу – 4 хв, кінець – 30 хв. Виходячи з цього, введений до складу зв'язуючого гіпс регулює початок і кінець тужавлення зв'язуючого з відвальної породи. Введений до складу зв'язуючого з відвальної породи природний гіпс не лише регулює терміни тверднення зв'язуючого, а й бере активну участь у збільшенні міцності зміцнюваних ґрунтів, змінює їх фізико-механічні властивості.

Ефективність зміцнення мулистих і глинистих ґрунтів зв'язуючими з відвальної породи вуглевидобування можна підвищити додатковим введенням у суміш домішок сірчаноокислих солей магнію ($MgSO_4$), заліза [$FeSO_4$ і $Fe_2(SO_4)_3$], алюмінію [$Al_2(SO_4)_3$] або натрію $Na_2(SO_4)$ в кількості 0,3–3 % маси зв'язуючого. Застосування цих солей прискорює тверднення, підвищує міцність і морозостійкість закріплених ґрунтів і активізує клінкерні мінерали, що містяться у зв'язуючому. Найефективніші – домішки сірчаноокислого магнію або заліза, які позитивно впливають на клінкерні мінерали зміцнених ґрунтів за рахунок зв'язуючого і можуть зменшити витрату інших скріплювачів у 1,2–1,5 раза [5]. Отже, при вибуховому ущільненні ґрунтового масиву навколо порожнини в ньому утворюються численні радіальні щілини, в які проникатиме суспензія, що заповнює порожнину. Взаємодіючи із стінками щілини, суспензія створює по обидві сторони щілини ще дві додаткові зміцнені зони, що підвищують експлуатаційні властивості споруди.

Висновки. З метою підвищення сейсмобезпеки об'єктів гірничовидобувної інфраструктури запропоновано облаштування сейсμοзахисних екранів у вигляді суцільної або переривчастої щілини, заповненої пористим енергопоглинальним матеріалом.

Для досягнення еколого-економічного ефекту від використання сейсμοзахисних інженерних споруд запропоновано варіанти матеріалів заповнювача у вигляді глинистих суспензій з додаванням певної кількості недорогих в'язучих компонентів.

Визначено, що для цих умов створення комплексних протисейсмічних і протифільтраційних екранів відповідними заповнювачами можуть бути бітумозольні, бентонітові і глинофосфатні суспензії (шлікери з додаванням фосфоровмісних речовин). Іншими в'язучими домішками можуть бути продукти переробки відвальної породи вуглевидобування, зокрема вапна, клінкерних мінералів, портландцементу, природного двоводного гіпсу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бойко В. В.* Критерії оцінки небезпечності дії вибухових хвиль на будівлі, ослаблені тріщинами / В. В. Бойко, К. Н. Ткачук, Л. О. Митюк, Т. В. Хлевнюк // Проблеми охорони праці в Україні. – 2003. – Вип. 7. – С. 97–104.
2. *Вплив підземних гірничих робіт на стан довкілля: монографія* / В. М. Ісаєнко, О. О. Вовк, В. Г. Кравець, О. О. Вовк. – К.: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2011. – 534 с.
3. *Разработка методов прогнозирования и снижения опасности динамических процессов в угольной промышленности* / Н. С. Ремез, О. А. Вовк, В. В. Вапничная // Проблеми горного давлення: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 1–2 (22–23). – С. 18–36.
4. *Вовк О. О.* Вплив гірничовидобувного комплексу України на стан довкілля / О. О. Вовк, О. О. Печак, Н. А. Сидоренко // Вісник НАУ. – 2008. – № 1. – С. 131–134.
5. *Вовк О. А.* Оценка сейсмического влияния горных ударов на поверхностные объекты / О. А. Вовк, М. Кугель // Инженерный захист територій і об'єктів у зв'язку з розвитком небезпечних геологічних процесів: міжнар. конф. – К.: Знання, 2000. – С. 85–88.