

15. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / под ред. Н.Д. Егупова, 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. 744 с.

16. Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора. ААЭКС, 2009. №2 (24)

17. Ротач В.Я., Клюев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984. 272 с.

18. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат, 1991. 234 с

Рукопис подано до редакції 30.03.2021

УДК 624.131.23:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викл.,
Т.А. БАРОН, магістрант, Криворізький національний університет

ВЛАШТУВАННЯ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ НА ПРОСІДАЮЧИХ ҐРУНТАХ

Мета. Вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Методи дослідження. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування. Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології. Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу за глибиною тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і навантаження від сил тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються зміни в лесовому масиві за його глибиною. При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати: виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів та конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань. Зведення будівель на просідаючих ґрунтах займає особливе місце в теорії і практиці будівництва. Це пояснюється, з одного боку, досить чутливою реакцією просідаючих ґрунтів на зовнішні впливи (зміна вологості, додаткового тиску від споруджуваних будинків і споруд та ін.), з іншого – розширюється спектр об'єктів, що будуються (висотні будівлі житлового та громадського призначення, великі виробничі та фабричні споруди, будівельні комплекси та ін.).

Наукова новизна. Вибір раціональної схеми усунення просідаючих властивостей основи в залежності від типу просідання.

Практична значимість. Від прийнятого проектного рішення залежать в значній мірі вартість і матеріаломісткість об'єкта, терміни будівництва, а також його експлуатаційна надійність.

Результати. Раціональні рішення з конструкції основ і фундаментів досягаються на основі сумісного врахування особливостей ґрунтових умов майданчика, закономірностей розвитку просідань, конструкційних особливостей будівель, умов їх експлуатації, наявності можливих джерел замочування.

Ключові слова: просідаючі ґрунти; пальовий фундамент; група граничних станів, будівля.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-41-46

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На конструкції будівель і споруд діє комплекс несприятливих факторів, а окремі з них мають вирішальний вплив на їх несучу здатність і довговічність. Передчасне вичерпання їх експлуатаційних якостей і порушення технологічного процесу призводить до значних матеріальних витрат.

При будівництві часто стикаються зі складними інженерно-геологічними умовами (просідаючі, насипні і слабкі водонасичені ґрунти) з впливом агресивного середовища. Внаслідок помилок, допущених на етапах досліджень, проектування, будівництва та експлуатації, термін служби будинків і споруд в ряді випадків значно коротше проектного. Наявність тріщин, локальних руйнувань порушує нормальну експлуатацію будівель. Витрати на відновлювальні роботи найчастіше співрозмірні з вартістю нового будівництва. Все це вимагає більш обґрунтованого підходу до врахування особливих умов при проектуванні і будівництві.

Аналіз досліджень і публікацій. На просідаючих ґрунтах при складних деформаціях основи не завжди можливо використовувати відомі технічні рішення, так як вони непридатні до цих умов роботи. Перші нормативні документи, що регламентують проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах, з'явилися на початку 30-х років ХХ-го століття. Основна роль в становленні науки про будівництво на просідаючих ґрунтах на цьому етапі належить Ю.М.

Абелеву. Подальший розвиток цього напрямку відбито в працях: М.Н. Гольдштейна, А. А. Григоряна, С.М. Клепікова, В.І. Крутова, А.А. Мустафаєва, З.Г. Тер-Мартіросяна, Я.Д. Гільмана, Н.О. Цитовіча, О.О. Петракова, Р.О. Тімченка, В.Б. Швеця, В.Р. Мустакімова, П.П. Шагіна, С.Г. Кушнера, П.А. Коновалова, А.С. Трегуба, І.О. Розенфельда, І.В. Матвеева, Coduto Donald P., M.J. Tomlinson, Frank R. та ін. [1-10, 14-18]. Дослідження стали основними принципами проектування на просідаючих ґрунтах і послугували їх застосування у діючих нормах [11-13].

Розрахунок міцності та стійкості фундаментних конструкцій стає особливо необхідним і тому актуальним в умовах просідаючих ґрунтів II типу. Усунення шкідливих наслідків просідаючих деформацій під дією маси ґрунту в ґрунтових умовах другого типу з застосуванням різних інженерних заходів і конструктивних рішень або практично не досягається або ж призводить до економічно не вигідного рішення. Тому в цих випадках повинна перевірятися експлуатаційна придатність будівель і споруд та при необхідності призначаються конструктивні або інші заходи відповідно до розрахунку будівель і споруд на вплив очікуваних деформацій основ.

Аналіз досліджень і публікацій показує необхідність вивчення влаштування фундаментів на ґрунтах, що змінили свої властивості в процесі експлуатації, а також розглянути посилення ґрунтів шляхом підвищення їх несучої здатності, застосування фундаментів, здатних сприймати негативні впливи просідання ґрунтів.

Постановка задачі. Розглядається можливість застосування пальових фундаментів на просідаючих ґрунтах, які дозволяють ефективно використовувати непридатні для забудови території.

Викладення матеріалу і результати. В інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах при будівництві використовуються традиційні способи фундування, включаючи:

пальові фундаменти із забивних призматичних паль завдовжки 3-16 м на слабких водонасичених, заболочених, замулених, насипних, просідаючих і інших проблемних ґрунтах;

пальові фундаменти з буронабивних залізобетонних паль довжиною 12-20 м, діаметром від 300 до 1200 мм, що застосовуються в ґрунтах і насипних ґрунтах, на схилах і в умовах обмеженого простору міської забудови. У слабких водонасичених ґрунтах використовуються буронабивні залізобетонні палі в обсадних трубах;

стовпчасті і стрічкові фундаменти малого закладення в збірному і монолітному виконанні під будівлі та споруди, що зводяться на природних основах четвертинних відкладень;

плитні фундаменти з монолітного залізобетону під висотні будівлі.

Аналіз досвіду фундування в геологічних умовах дозволяє запропонувати до застосування нові й ефективні типи фундаментів і сучасні технології, включаючи:

комплексні пальово-плитні фундаменти, які використовуються під висотні будівлі і споруди з великою власною вагою, при тиску на ґрунт основи від 0,3-0,5 МПа до 1,0 МПа;

фундаменти глибокого закладення, що зводяться за методом «стіна в ґрунті», палі або опускних колодязів. При цьому прорізаються відносно слабкі четвертинні відкладення і тиск від важких будівель передається на надійні корінні породи. Вирішується питання підземної урбанізації, ефективно використовується міська територія, підвищується рівень охорони навколишнього середовища;

на майданчиках з поширенням просідаючих і насипних ґрунтів – фундаменти у витрамбованих котлованах;

використання струмінєвої геотехнології при влаштуванні штучних основ і армування ґрунтів цементно-ґрунтовими елементами, як в період до будівництва, так і при посиленні ґрунтів основ під існуючими фундаментами будівель;

для структурно нестійких, різнорідних і перешаруваних ґрунтів використовується пристрій штучних основ за допомогою заповнюючої, пропитуючої, віджимаючої та розривної ін'єкції ґрунтів під тиском від 5-20 до 300-500 атм.

На лесових ґрунтах II типу умов просідання для житлових, цивільних, промислових будівель з несучими стінами висотою до 9-12 поверхів, а також щодо жорстких каркасних будинків висотою до 6-8 поверхів найбільш раціональним є застосування комплексу заходів, що включає підготовку основи шляхом поверхневого ущільнення ґрунту з метою ліквідації в ґрунтах властивостей його в межах деформованої зони від навантаження фундаментів і створення суцільного маловодопроникного екрану, водозахисні заходи, що виключають можливість замочування

ґрунтів в основі, і конструктивні заходи, що розраховуються на можливі просідання ґрунтів в основі і спрямовані на забезпечення міцності, стійкості і нормальної експлуатації зведених будинків і споруд. Для відносно гнучких, а також будівель підвищеної поверховості при частому розташуванні несучих конструкцій і фундаментів ефективним є глибинне ущільнення просідаючих ґрунтів на всю величину їх посадкової товщі шляхом пробивки свердловин з послідовним заповненням ґрунтовим матеріалом.

Особливість методу глибинного ущільнення полягає в тому, що відповідно до сумарної епюри розподілу по глибині тисків від навантаження фундаментів, власної ваги ґрунту і сил навантаження тертя, що виникають при просіданнях оточуючих ґрунтів, відбуваються такі зміни в лесовому масиві за його глибиною:

в нижній частині ущільненого масиву створюється несучий шар шляхом утрамбовування до відмови в дно пробитої свердловини жорсткого матеріалу (щебеню, шлаку, піщано-гравійної суміші тощо) окремими порціями висотою $0,8-1,2 d$ (d – діаметр снаряду для трамбування);

в середній частині формується зона підвищеної міцності шляхом заповнення свердловин жорстким матеріалом з ущільненням кожної порції, відсипати висотою $1,5-2,0 d$;

у верхній частині створюється щільна зона шляхом заповнення пробитої свердловини місцевим лесовим ґрунтом з ущільненням.

Механізм просідання лесу представлений на рис. 1. Ґрунт зволожується, вода розм'якшує і розчиняє кристалізаційні зв'язки і викликає розклинююче напруження плівкової води. Це знижує міцність зв'язків між частинками, ґрунт під тиском ущільнюється – макропори зменшуються, відбувається вертикальне переміщення.

Лесові ґрунти за проявою просідаючих властивостей діляться на два типи – I та II [3] відповідно за рис. 2а.

При проектуванні фундаментів на лесових породах існує два основних напрямку, особливості яких необхідно враховувати:

Напрямок №1. Виняток неприпустимих осідань при розрахунку фундаментів за II групою граничних станів.

Напрямок №2. Конструктивні заходи щодо виключення (обмеження) осідань.

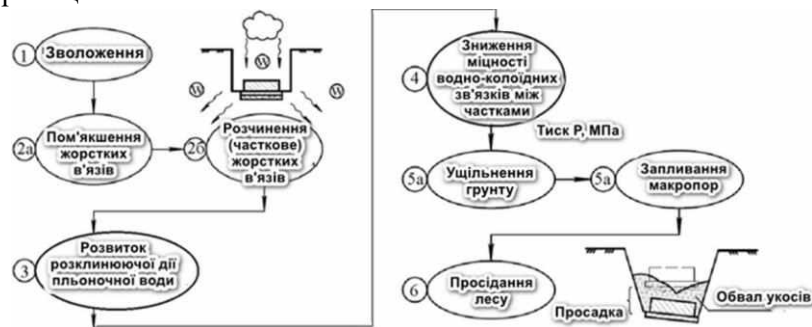


Рис.1. Схема просідання лесового ґрунту

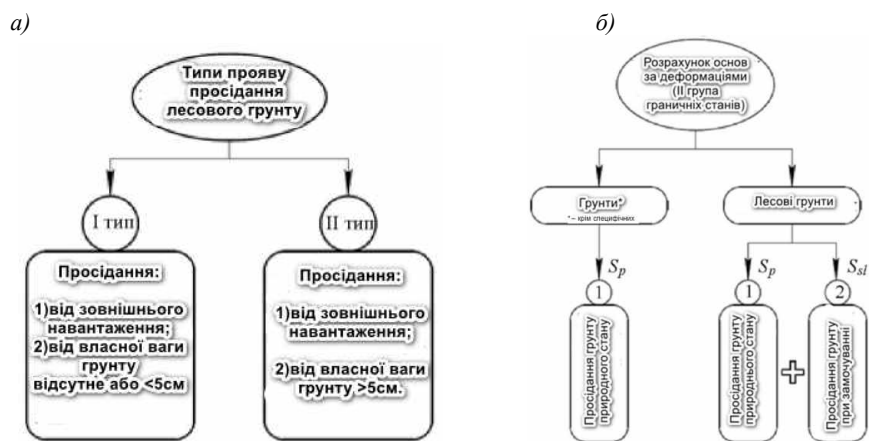


Рис.2. Схеми: а – типів прояву просідання лесового ґрунту; б – розрахунку основ за деформаціями (II група граничних станів)

В рамках першого напрямку проводиться розрахунок основ і фундаментів з урахуванням сумарного просідання ґрунтів природного стану і просідання при впливі вологи. В рамках другого напрямку виключають або зберігають просідаючі властивості основи конструктивними методами [1]. Збереження в ґрунтах властивостей лесу тільки обмежене використання в зв'язку з небезпе-

кою просідань і використовується при належному обґрунтуванні, чим може служити будівництво малоповерхових будівель індивідуальної забудови за вагомої кошторисної вартості заходів, спрямованих на виключення просідання лесу. При цьому необхідно зберігати природний рельєф поряд з будівлею, проектувати вимощення по всьому периметру шириною більше 2 м з ухилом в бік залізобетонних лотків, а під підземними трубопроводами каналізації та водопостачання влаштувати непроникні для води лоточки з відведенням води від просідання товщі.

Розрахунок основ за II групою граничних станів, на відміну від ґрунтів без специфічних властивостей, ведеться з урахуванням просідань S_p ґрунтів природного стану і просідань S_{sl} ґрунтів при замочуванні відповідно до рис. 2б. Розрахунок проводиться з умови не перевищення сумарної деформації допустимого значення – $S = S_p + S_{sl} \leq S_u$.

Важливо відзначити, що норматив встановлює вимогу, відповідно до якого, за умови, що напружень на ґрунт від зовнішнього навантаження і власної ваги не більше початкового просідаючого тиску, а лес за характером прояву просідання відноситься до I типу, розрахунок з урахуванням осідання не проводиться. Причому якщо відносно просідання шарів менше 0,01, то розрахунок також не проводиться.

Для ґрунтів I типу просідання допускається усувати просідання тільки на 2/3 всієї товщі при значенні просідання і її нерівномірності, що не перевищує 1/3 гранично допустимих значень. Це посилює розрахунок і дає запас деформаційних властивостей.

Важливим є напрямок при проектуванні фундаментів на лесових породах – це вибір раціональної конструктивної схеми фундаментів і штучно поліпшених основ. Класичні схеми усунення просідаючих властивостей основи (зменшення) відповідно до навчальної та нормативно-технічної літератури в залежності від типу просідання наведені на рис. 3, 4.

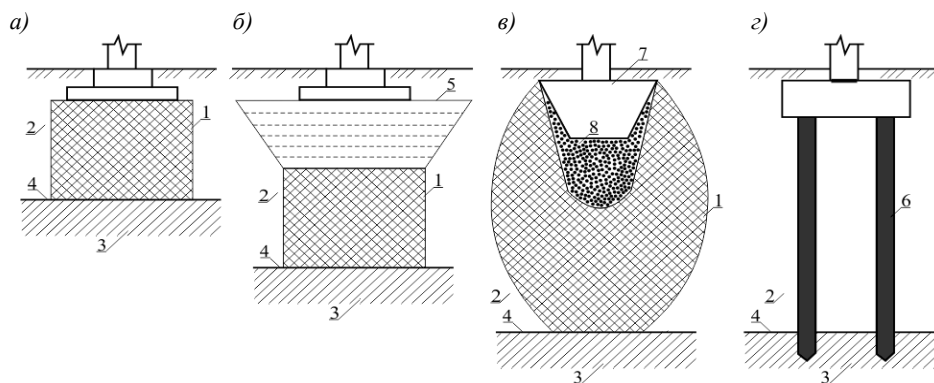


Рис. 3. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах I типу просідання: а – ущільнення ґрунтів за допомогою важких трамбівок після доведення вологості ґрунту до оптимальної; б – ущільнення і устрій подушок з непросідаючих місцевих ґрунтів; в – ущільнення ґрунтів підводними вибухами з використанням попереднього замочування; з – устрій пальових фундаментів з прорізом всієї товщі просідання ґрунтів з метою передачі тиску на непросідаючі підстилаючі шари ґрунту; 1 – ущільнений ґрунт; 2 – просідаючий ґрунт; 3 – непросідаючий ґрунт; 4 – нижня межа просідаючого ґрунту; 5 – ґрунтова подушка, ущільнена пошарово; 6 – палі; 7 – набивний або забивний фундамент, пірамідальна коротка паля; 8 – щєбінь, який втрамбовано в ґрунт

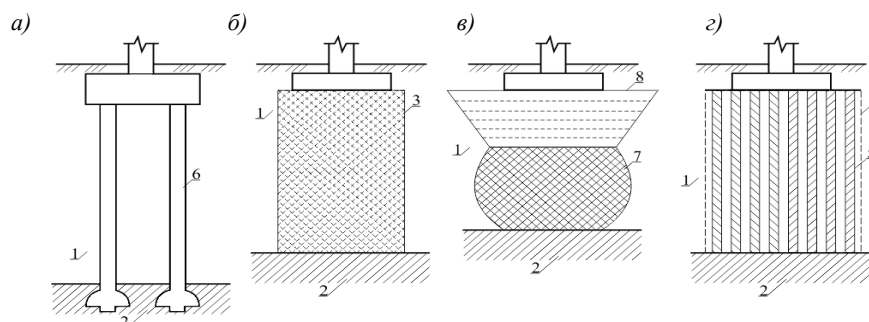


Рис. 4. Різні варіанти влаштування основ і фундаментів в ґрунтових умовах при II типі просідання: а – прорізка просідаючої товщі палями різного типу або глибокими фундаментами; б – закріплення ґрунтів хімічними або термічними способами; в – ущільнення ґрунтів попереднім замочуванням в поєднанні з глибинними вибухами і ущільнення важкими трамбівками; з – ущільнення ґрунтів ґрунтовими палями; 1 – просідаючий ґрунт; 2 – непросідаючий ґрунт; 3 – закріплений ґрунт; 4 – зона ущільнення ґрунтовими палями; 5 – ґрунтові палі; 6 – палі; 7 – ущільнений ґрунт; 8 – ґрунт, ущільнений важкими трамбівками

Розрахунковий опір ґрунту основи визначається в залежності від можливості або неможливості замочування, пояснення коефіцієнтів умов роботи при його визначенні – вони приймаються як для глинистих ґрунтів з відповідним показником плинності.

Коефіцієнт умов роботи з орієнтацією на глинисті ґрунти не випадковий – лес за гранулометричним складом є суглинком.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Навіть при ретельному виконанні заходів щодо запобігання замочування лесових ґрунтів вони не гарантовані від місцевого замочування при аваріях трубопроводів або будь-яких інших причин. Тому крім заходів щодо захисту від замочування використовують конструктивні прийоми, що дозволяють знижувати чутливість будівель і споруд до нерівномірних осідань, або усувати несприятливі наслідки нерівномірності осідань. При цьому слід прагнути до запобігання нерівномірних осідань за допомогою закріплення ґрунтів і вживати термінових заходів щодо ліквідації виниклого процесу замочування.

При виборі принципів і методів здійснення щодо забезпечення міцності і нормальної експлуатації будівель і споруд на просідаючих ґрунтах враховують тип ґрунтових умов за просіданням, ймовірність замочування основи на всю величину просідання товщі або її частини, можливу величину осідання, взаємозв'язок проєктованих будівель і споруд з сусідніми об'єктами і комунікаціями на основі, техніко-економічного обґрунтування.

Застосування звичайних пальових фундаментів в ґрунтових умовах України доцільно лише у випадках залягання в основі просідаючої товщі підстилаючих ґрунтів з підвищеною несучою здатністю: пісків великих і середньої крупності, твердих глин або скельних ґрунтів.

Список літератури

1. Крутов В. И., Багдасаров Ю. А. Устройство подземных этажей на просадочных и насыпных грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 5. – С. 22–27.
2. Применение геоинформационных систем в инженерно-геологических изысканиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, М. О. Кравченко, Ю. В. Чугай // Зб. наук. ст. "Галузеве машинобудування, будівництво". – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38). – Т.2. – С. 359-367.
3. Применение математического моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния системы „основание – фундамент – верхнее строение” в сложных инженерно-геологических условиях / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, С. О. Попов, О. П. Сухан // Зб. наук. ст. "Строительство. Материаловедение. Машиностроение". Серия: Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – Дн-ск: ПДАБА, 2014. – Вип. 78. – С. 263-269.
4. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Седін В. Л. Розрахунок фундаментів-оболонки для споруд баштового типу на вплив нерівномірних осідань основи // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 7. – С. 34-40.
5. Математичне моделювання нелінійно-непружних контактних задач / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, А. В. Богатинський, В. О. Савенко // «Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» – Дн-ск: ПДАБА, 2015. – № 8. – С. 50-58.
6. Застосування програмного комплексу LIRA 9.6 для моделювання роботи системи «основа – інженерна споруда» / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, І. В. Хоруженко // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та інформаційні технології в освіті, науці та управлінні» – Дн-ск: ПДАБА, 2019. – С. 48-49.
7. Швец В. Б., Феклин В. И., Гинзбург А. К. Усиление и реконструкция фундаментов. – М.: Стройиздат, 1985. – 204 с.
8. Coduto Donald P. Foundation Design: Principles and Practices. – New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 883 p.
9. Frank R. Some aspects of soil-structure interaction according to Eurocode 7 «Geotechnical design» // Engenharia Civil. – Vol. 25, 2006. – PP. 5–16.
10. Tomlinson, M. J., Boorman R. Foundation design and construction. – Edinburgh: Prentice Hall, 2001. – 583 p.
11. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 35 с.
12. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.
13. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 42 с.
14. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленнопросадочных грунтах I и II типа по просадочности / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Л.А. Анисимов, Е.В. Щекочихина, А.Ф. Алексеев // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2015. – № 41 (60). – С. 14–23.
15. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.В. Кузнецова, И.Ю. Кузьменко, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-2. – С31-39.
16. Соколов Н.А. Проблема лессов// Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №9. – С. 86–93.
17. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks // In book: Proceedings of International Scientific Conf. – Vladivostok: Dalnauka, 2009. – P. 130–131.
18. Пантюшина Е.В. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств// Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 127–130

Рукопис подано до редакції 31.03.2021

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ НА МЕХАНІЗМ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Мета. Встановлення залежності якості дроблення гірської маси та її зменшення при вибухових навантаженнях від впливу полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху, вивчення нових можливостей використання поверхнево-активних речовин, а також дослідження даного фактору впливу на подальші процеси переробки.

Методи досліджень. Проведений аналіз теоретичних і практичних досліджень впливу середовища на результати навантажень механічного характеру на зразки різних гірських порід і матеріалів підтвердили актуальність даних досліджень, лабораторних експериментів і можливого подальшого промислового випробування задля вивчення впливу ефекту Ребіндера на дезінтеграцію міцних порід при вибухових навантаженнях.

Наукова новизна. Зроблено заділ по вивченню механізму впливу середовищ різної полярності при вибуховому навантаженні різної інтенсивності на результати руйнування. Встановлений екстремальний характер впливу поверхнево-активних речовин на якість дроблення гірських порід. Знайдені нові можливості для ефективного руйнування масиву.

Практичне значення. Проведені експерименти свідчать про те, що впровадження технічних рішень, які забезпечили б створення в момент вибуху з підвищеним вибуховим навантаженням середовища з високим вмістом води, водяної пари або аерозолу з високою концентрацією води, дозволило б зменшити питомі витрати енергії на подальше дроблення і подрібнення матеріалу на 15-25%.

Результати. Встановлено, що ефективність вибухового навантаження гірської маси залежить від полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху. Для гідрофільних мінеральних агрегатів ефективність вибухового руйнування підвищується з ростом полярності середовища. Вплив полярності середовища на результати вибухового руйнування посилюється зі зростанням вибухового навантаження (питомої витрати вибухової речовини) і має деяке оптимальне значення, залежне від властивостей мінеральної системи. При вибуховому руйнуванні гідрофільних мінеральних систем у водному середовищі введення поверхнево-активних добавок (ПАР), які активно адсорбуються на твердій фазі, інтенсифікує процес руйнування. При перевищенні критичної концентрації міцелоутворення ефективність дії ПАР знижується. Подрібнення рудної маси, підірваної в сильнополярному середовищі, протікає з більшою швидкістю і меншим шламуютворенням, ніж маси, підірваної в неполярному середовищі.

Ключові слова: гірські породи, вибухове навантаження, ефект Ребіндера, полярність середовища, зменшення порід, поверхнево-активні добавки, кінетика подрібнення.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-46-51

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для інтенсивного руйнування в гірських породах повинні бути присутніми або повинні бути заново утворені тріщини, які діють як модифікатори напруг, приводячи до зниження значення межі міцності. Додавання навантаження викликає поширення тріщин, створюючи додаткові поверхні. Відомо, що розкриття мінералів вимагає найбільших енергетичних витрат в процесі збагачення. Енергія вибуху - найдешевший вид енергії, в силу цього її максимальне використання для розкриття мінералів стало предметом цілого ряду досліджень. При цьому встановлено, що використання розроблених методів ведення буропідричних робіт при підвищених питомих витратах вибухових речовин (ВР) дозволяє не тільки знизити крупність гірської маси в процесі відбою, але і створити в матеріалі мережу мікротріщин, які реалізуються в процесі подальшої переробки [1-3]. В результаті досягається зниження питомих витрат енергії на механічне дроблення і подрібнення на 10-15%.

Однак мікротріщинуватість, що виникає при вибуховому навантаженні гірської маси, з часом в значній мірі зникає - мікродфекти релаксують [4]. Важливо відзначити, що навколишнє середовище може взаємодіяти з поверхнями тріщин, приводячи до змін їх довжини і, як результат, до зміни міцності матеріалу.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням впливу навколишнього середовища на руйнування гірських порід присвячений ряд публікацій. Ребіндер П. А. і його співавтори ймовірно, були першими, хто провів систематичні дослідження по визначенню впливу рідкої фази на руйнування твердих порід, зокрема при бурінні [5]. В результаті проведених робіт було встановлено, що рідини, і в першу чергу вода, відіграють активну роль в процесі руйнування.

У більш пізніх роботах [6,7] показано суттєве зменшення межі міцності деяких порід при стисканні з добавкою рідини. Так, для базальтів межа міцності знизилась в 2 рази, для гранітів - в 1,5; для вапняків - в 1,8; для кварцитів - в 1,3 рази [7]. В ході експериментів встановлено, що зменшення тріщиностійкості склоподібних матеріалів, викликане різними умовами середовища, змінюється від декількох до 300%. Наприклад, при дослідженні впливу на крихкий розрив або злам кремнію спостерігали, що пари води знижували опір розриву на 40-50% від його початкового значення в вакуумі [7]. В цілому результати досліджень свідчать, що навколишнє середовище з присутністю полярних молекул значно впливає на механічні характеристики матеріалу, зокрема, на властивості міцності.

Встановлено також, що вода і вологе повітря зменшують твердість різних матеріалів, наприклад оксидів, силікатів, сульфідів, фторидів, карбідів і карбонатів [7]. Проведено велике вивчення впливу різних середовищ на твердість MgO і CaF_2 . Показано, що твердість цих двох мінералів зростає або знижується в залежності від навколишнього середовища. Автори приписували спостережувані ефекти, викликані адсорбцією, властивостям потоку в міжповерхневій зоні, які регулюються переміщенням поверхневих дислокацій.

Експерименти підтверджують, що в доповнення до механічних характеристик, зовнішнє середовище впливає на кінетику процесу і крупність матеріалу при подрібненні. Руйнування порід в млині відбувається як в межах самих зерен, так і по кордонах зрощень мінералів. Якщо внутрішньозернове руйнування є достатнім для зниження крупності частинок, то для виділення корисних компонентів необхідно міжзернове руйнування. Як правило, процес подрібнення включає розрив хімічних зв'язків для утворення нових поверхонь. Можна припустити, що будь-яке явище, що сприяє розриву хімічних зв'язків і перешкоджає возз'єднанню розірваних поверхонь, інтенсифікує процес подрібнення.

У ряді робіт, присвячених подрібненню, доведено, що вологе подрібнення більш ефективне, ніж сухе. Це пояснюють, в першу чергу, хімічними реакціями між розірваними поверхневими зв'язками і молекулами води. Отже, можна припустити, що водяна пара має такий же вплив, оскільки він здатний легко проникати в вершину тріщини. В підтвердження цього впливу встановлено [7], що водяна пара підвищує ефективність сухого подрібнення цементу у вібраційному млині. А у повідомленні [7] відзначено, що ступінь подрібнення вапняно-натрієвого скла у вологій атмосфері вища, ніж у вакуумі.

Особливий інтерес викликає додавання в воду поверхнево-активних речовин (ПАР). Досягнута досить висока ефективність використання ПАР при механічному руйнуванні гірських порід різцевим інструментом [8]. У проведених дослідженнях розчин ПАР подавали в зону різання прохідницького комбайна, в результаті чого робота комбайна стабілізувалася, а витрати енергії значно зменшилися. Цікаві залежності отримані при випробуваннях міцності кернів пісковиків насичених розчинами ПАР різної концентрації при одновісному стисканні [9].

Ряд інших досліджень також присвячений використанню ефекту Ребіндера, зокрема додаванню ПАР при подрібненні гірських порід. Так, в роботі [7] введення в млин поверхнево-активної добавки дозволило забезпечити 100%-ве збільшення поверхні кварцу і 75%-ве збільшення поверхні вапняку. Відзначено також підвищення ефективності подрібнення кремнезему завдяки додаванню в млин розчину ПАР. Однак необхідно відзначити, що іншими дослідниками отримані протилежні результати, які показують погіршення процесу подрібнення при додавці ПАР у внутрішньомлинове завантаження [7]. Це можна пояснити відсутністю в даний час критеріїв вибору ПАР та їх концентрацій для конкретних технологічних процесів і умов.

Постановка задачі. Незважаючи на значний обсяг робіт, присвячених даному напрямку наукових досліджень, до теперішнього часу практично не вивчено питання впливу середовища і поверхнево-активних добавок на процес руйнування гірських порід вибухом. Тому пошук шляхів вибухового знеміцнення гірської маси при покращенні якості її дроблення становить певний науковий і практичний інтерес.

Викладення матеріалу і результати. Для проведення експерименту були відібрані дві проби руди по природним мінеральним різновидам: магнетитові (П-1) і залізнослюдко-мартитові (П-2) кварцити. Проба П-1 представлена мілковкрапленими різницями середньошарової текстури. Основним рудним мінералом є магнетит, нерудні мінерали представлені кварцем, карбонатами, силікатами. Для проби П-2 характерне переважання тонкошарових текстур, тонкозернистість, складні зрощення рудних мінералів з кварцем. Рудними мінералами є мартит, залізна

слюдка і гідроксида заліза. Основу нерудних мінералів становить кварц. Міцність кварцитів проби П-1 складає 12-16, а П-2 дорівнює 10-12 за шкалою Протод'яконова.

Крупність зразків становила 100-150мм. Для кожного з них була розрахована навеска амоніту № 6 ЖВ, згідно умов експерименту, і закріплена на його поверхні за допомогою спеціально виготовленої з пластиліну форми. Зразки кожної з проб піддавалися вибуховому навантаженню в різних середовищах з різними питомими витратами ВР. Для цього рудні шматки з закріпленими на них накладними зарядами розміщувалися у пакетах, які були попередньо заповнені досліджуваними рідинами. Підривання здійснювалося у вибуховій камері, яка представляє собою товстостінну трубу з масивними пробками на торцях і дозволяє максимального знизити втрати матеріалу під час вибуху.

У разі підривання в парах води пакет, заповнений водою, був встановлений в камері в безпосередній близькості від зразка. Ініціювання зарядів здійснювалося електродетонаторами. В якості критерію ефективності руйнування прийнятий середньозважений діаметр шматка, який визначено в результаті обробки отриманих гранулометричних характеристик підірваного матеріалу.

Таким чином, встановлено вплив рідин різної полярності на результати вибухового навантаження. Характеристика досліджених рідин наведена в табл.1.

Таблиця 1

Характеристика полярності досліджених рідин

Рідини	Діелектрична постійна ϵ	Поверхневий натяг, мН/м
Вода	78,3	72,0
Гліцерин	42,4	62,1
Ацетон	20,7	23,7
Хлороформ	4,7	27,1
Керосин	1,9	20,3

Дані рис.1 показують, що з ростом полярності середовища середньозважений діаметр ($d_{ср}$) шматків, отриманих після вибуху, зменшується. Причому з ростом питомої витрати ВР ефект середовища посилюється. Спостерігається деяка різниця в поведінці магнетитових і більш пухких і гігроскопічних окислених кварцитів. Для магнетитових кварцитів характерний мінімальний вплив полярності середовища при діелектричній постійній вище 5 і високому вибуховому навантаженню (1,5 г/кг). Для окислених кварцитів, навпаки, збільшення питомої витрати ВР більше 0,75 г/кг практично не впливає на результати вибухового дроблення, основний ефект обумовлений властивостями середовища. Мабуть, це пов'язано з різною здатністю магнетитових і окислених кварцитів адсорбувати вологу. Окислені кварцити більш гідрофільні, ніж магнетитові, тому їх ефективне руйнування здійснюється в більш полярних середовищах (діелектрична постійна більш 20).

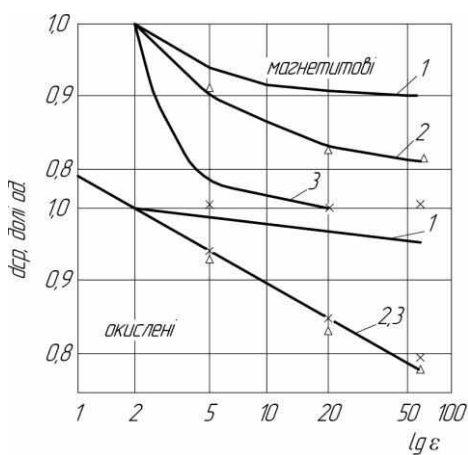


Рис. 1. Залежність якості дроблення від полярності середовища: 1, 2, 3 – питомі витрати ВР відповідно 0,30; 0,75; 1,5 г/кг

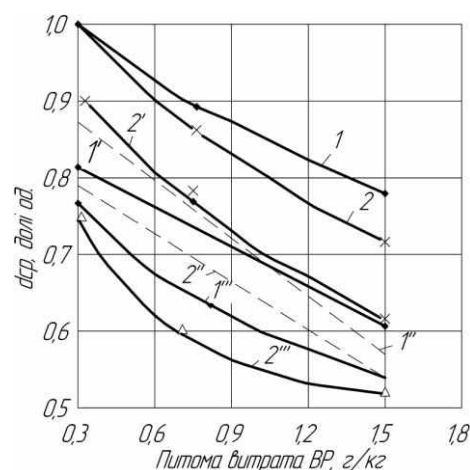


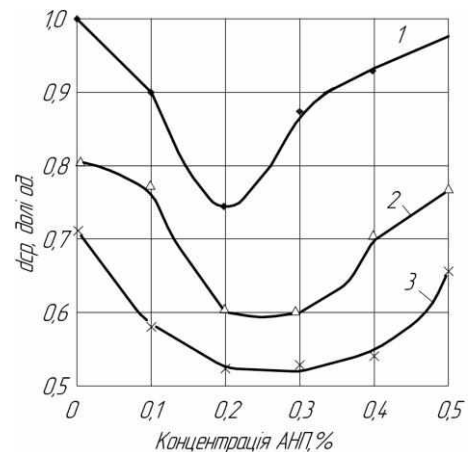
Рис. 2. Залежність якості дроблення магнетитових (1; 1'; 1'', 1''') та окислених (2, 2'; 2'', 2''') залізистих кварцитів, підірваних в різних середовищах, від питомої витрати ВР. Середовище підірвання: 1, 2 – повітря; 1', 2' – водяна пара; 1'', 2'' – вода; 1''', 2''' – розчин АНП (0,2%)

Цікаво порівняти результати вибухового руйнування кварцитів в повітряному середовищі з різною відносною вологістю. На рис. 2 представлені результати руйнування зразків кварцитів в середовищі з відносною вологістю 30% (криві 1 і 2) і з вологістю 100% (криві 1' і 2'). Зі збільшенням концентрації водяної пари в повітряному середовищі ефективність вибухового навантаження підвищується і наближається до значень, одержаних у водному середовищі (криві 1'' і 2''). Отже, підвищення ефективності вибухового руйнування може бути досягнуто не тільки підриванням у водному середовищі, а й в атмосфері, насиченої водяними парами.

Викликає інтерес дослідження впливу ПАР на процес вибухового руйнування. Виходячи з властивостей досліджуваної мінеральної системи в якості ПАР був обраний катіоноактивний реагент АНП (суміш амінів $C_{14} - C_{16}$), який активно адсорбується на силікатних мінералах.

Дані рис. 2, 3 свідчать, що при підриванні у водному середовищі, що містить реагент АНП, руйнування породи інтенсифікується - середньозважений діаметр шматків зменшується на 25-30%. Цікаво, що дія ПАР проходить через концентраційний максимум - найбільший ефект від АНП спостерігається при концентрації 0,2-0,3%. З ростом концентрації ПАР більше 0,3% ефективність падає. Мабуть, це може бути пояснено тим, що при перевищенні критичної концентрації міцелоутворення (ККМ) відбувається утворення міцел зі зворотною орієнтацією молекул ПАР, які мають меншу активність.

Рис. 3. Вплив концентрації АНП на результати вибухового дроблення: 1 - 3 – питомі витрати ВР відповідно 0,30; 0,75; 1,50 г/кг



Порівнюючи відносний вплив збільшення питомої витрати ВР при дії різних факторів (рис. 2), можна відзначити, що найбільший ефект спостерігається від поєднання сильнополярного середовища - води з ПАР і підвищеного вибухового навантаження.

Для оцінки впливу середовища, в якому здійснюється підривання, на накопичення мікрodefektів в матеріалі була проведена серія дослідів з подрібнення зразків, які піддавалися вибуховому навантаженню, в дволітрових кульових млинах, встановлених на рольгангах. Подрібненню піддавалися частини проби П-2, підірвані в повітрі, воді та керосині з питомою витратою ВР, рівною 1,5г/кг. На рис. 4 наведені дані, що свідчать про те, що проби, підірвані у водному середовищі, при мокрому кульовому подрібненні подрібнюються значно швидше, ніж проби, підірвані в неполярному середовищі - керосині або повітрі. Це свідчить про те, що розклинюючий ефект води, який реалізується в момент вибуху, сприяє збереженню мікротріщин, які забезпечують поліпшення подрібнюючих можливостей матеріалу.

Цікаво, що підривання у водному середовищі сприяє руйнуванню мінеральних зростків по площинах спайності, про що свідчить зменшення шламоутворення при подрібненні проб, підготовлених різними способами (рис. 5).

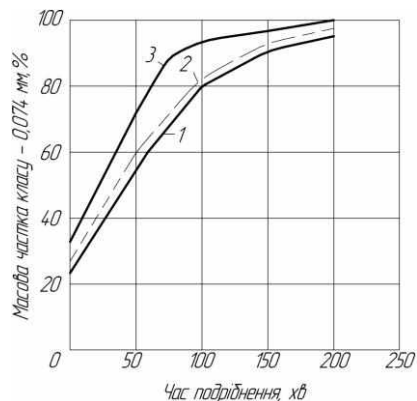


Рис.4. Кінетика подрібнення залізистих кварцитів, підірваних у керосині (1), повітрі (2) і воді (3)

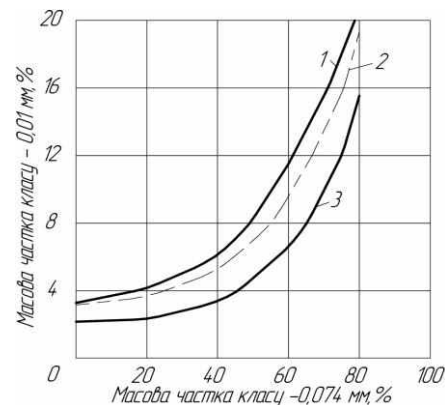


Рис. 5. Кінетика шламоутворення при подрібненні залізистих кварцитів, підірваних в керосині (1), повітрі (2) та воді (3)

Таким чином, отримані дані підтверджують основну умову прояву ефекту Ребіндера: енергія міжфазної взаємодії твердого тіла з середовищем повинна бути того ж порядку, що і енергія зв'язків в самому твердому тілі. Отже, для інтенсифікації вибухового руйнування гірських порід, представлених гідрофільними мінералами, доцільно створювати сільнополярне середовище.

Проведені експерименти свідчать про те, що впровадження технічних рішень, які забезпечили б створення в момент вибуху з підвищеним вибуховим навантаженням середовища з високим вмістом водяної пари або аерозолі з високою концентрацією води, зокрема описані раніше [10], дозволило б знизити питомі витрати енергії на подальше дроблення і подрібнення матеріалу на 15-25%, тобто майже в два рази скоротити їх в порівнянні з показниками, досягнутими на даний час.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Ефективність вибухового навантаження гірської маси залежить від полярності середовища, що контактує з матеріалом в момент вибуху. Для гідрофільних мінеральних агрегатів, наприклад, окислених залізистих кварцитів, ефективність вибухового руйнування підвищується з ростом полярності середовища.

Вплив полярності середовища на результати вибухового руйнування посилюється зі зростанням вибухового навантаження (питомої витрати ВР) і має деяке оптимальне значення, залежне від властивостей мінеральної системи.

При вибуховому руйнуванні гідрофільних мінеральних систем у водному середовищі введення ПАР, які активно адсорбуються на твердій фазі, інтенсифікує процес руйнування. При перевищенні ККМ ефективність дії ПАР знижується.

Подрібнення рудної маси, підірваної в сільнополярному середовищі, протікає з більшою швидкістю і меншим шламоутворенням, ніж маси, підірваної в неполярному середовищі.

Список літератури

1. Влияние интенсивности взрывных нагрузок на технологические свойства железистых кварцитов/**Ю. С. Мец, В. Я. Шварцер, П. А. Гонтаренко, Т. Н. Гапич**//Обогащение руд. 1981. № 1. С. 5—8.
2. Влияние технологии взрывной рудоподготовки на самоизмельчение и обогащение крепких руд/**Лисянский Л.Н., Антонов А.Ю., Ширяев А. А.** и др.// В кн.: Пути повышения качества концентратов руд черных металлов, М.: Недра, 1988 13-17 с.
3. **Антонов А.Ю.** Исследование усталостного микросекундного взрывания/**Антонов А.Ю., Мец Ю.С., Федоренко П.И.**// Гірничий вісник . Збірник наукових праць Криворізького національного університету - 2019. - Вип. 105.- С.99-102.
4. **Хопунов Э.А.** Исследование механизма селективного разрушения руд//Интенсификация технологических процессов рудоподготовки: Междвед. сб. науч. тр./«Механообр». Л., 1987. С. 116—135.
5. **Ребиндер П.А., Шрейнер Л.А., Жигач К.Ф.** Понижители твердости в бурении. М.—Л., 1944. 200 с.
6. Евсеев В.Д. Механизмы влияния жидкости на разрушение горных пород при вдавлении индентора // Труды XIII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Томск, 2009. С. 499 - 502
7. Физико-химические аспекты измельчения — обзор применения добавок/ЦООНТИ/ВПО. № 4569. Киев, 18.12.85. 36 с. Пер. ст. El-Shall H. Somasundaran P. из журн.: Powder Technology. 1984. N0. 3. P. 275—293.
8. **Кусов Н. Ф., Эдельштейн О. А., Шоболова Л. П.** Применение адсорбционно-активных сред для понижения сопротивляемости горных пород разрушению//Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем: Респ. межвед. сб. науч. тр./АН УССР, Ин-т коллоидной химии и химии воды. Киев, 1986. Вып. 18. С. 41—46.
9. **Гладков П.Д., Рогачев М.К.** Исследование влияния гидрофобизирующих составов на механическую прочность образцов полимиктовых песчаников/Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №1 <http://www.ogbus.ru>
10. А.С. 1623303 (СССР), МКИ Е 21 С 37/00 Способ разрушения горных пород/**А.А. Гурин, А.Ю. Антонов, В.А. Арсентьев**, 1988 г.

Рукопис подано до редакції 31.03.21