

дорогоцінних металів, хоча, незважаючи на деякі успіхи в рішенні цієї задачі для спеціальних електролізерів з малим ресурсом роботи, прийнятого рішення для промислових електролізерів поки не знайдено. Твердо-полімерних електролізери характеризуються значно більшими питомими капітальними витратами, ніж лужні, але ці витрати зменшаться при переході до великих обсягів виробництва [14].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Реконфігурація систем електропостачання підприємств є необхідним кроком у подолання викликів сьогодення щодо надійності та якості електропостачання. Між тим, запропонований варіант реконфігурації діючих електричних мереж підприємств виконаний в аспекті декарбонізації та подальшої інтелектуалізації цих мереж, що в майбутньому надасть їм можливість адаптації до мереж побудованих за концепцією Smart Grid.

Список літератури

1. Енергетичні ресурси та потоки / під заг. ред. **А.К. Шидловського**. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 472 с.
2. World Energy Outlook –2021, OECD/IEA, Paris.
3. **Бойко С.М.** Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації гірничорудних підприємств. Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора **О.М. Сінчука**. – Кременчук, 2020. – 263с.
4. **Stognii B., Kyrylenko O., Prakhovnyk A., Denysiuk S.** The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2012. – № 5. – pp. 52–67.
5. **Buchholz B., Styczynski Z.** Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer – 2014. – 396 p.
6. **Ogden, Joan.** 2004. “Transition Strategies for Hydrogen and Fuel Cells.” University of California, Davis
7. **Philibert, Cédric.** 2017. “Commentary: Producing Industrial Hydrogen from Renewable Energy.” IEA news release, April 18.
8. **S. Timmerberg, M. Kaltschmitt, and M. Finkbeiner,** “Hydrogen and hydrogen-derived fuels through methane decomposition of natural gas – GHG emissions and costs,” *Energy Convers. Manag.* X, vol. 7, no. May, p. 100043, 2020.
9. ESMAP. 2020. Green Hydrogen in Developing Countries. Washington, DC: World Bank.
10. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні : монографія / **І. А. Вакулєнко, С. І. Колосок, О. В. Кубатко та ін.** ; за ред. **С. І. Колосок**. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 109 с.
11. **Русанов А.В., Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Шевченко А.А.** Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в альтернативних технологіях в 3-х т.: т. 1. Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в водневих технологіях / під загальною редакцією чл.-кор. НАНУ А.В. Русанова; НАН України, Інститут проблем машинобудування. – Харків: Видавництво та друкарня «Технологічний Центр», 2018. – 336 с.
12. **Malyshenko S.P., Borzenko V.I., Dunikov D.O., Nazarova O.V.** Metal hydride technologies of hydrogen energy storage for independent power supply systems constructed on the basis of renewable sources of energy // *Thermal Engineering (English translation of Teploenergetika)*. 2012. T. 59. № 6. — С. 468-478.
13. **Emonts B., Schiebahn S., Görner K., Lindenberger D., Markewitz P., Merten F., Stolten D.** Reenergizing energy supply: Electrolytically-produced hydrogen as a flexible energy storage medium and fuel for road transport // *Journal of Power Sources*. 2017. T. 342. — С. 320-326.
14. **Felgenhauer M., Hamacher T.** State-of-the-art of commercial electrolyzers and on-site hydrogen generation for logistic vehicles in South Carolina // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. T. 40. № 5. — С. 2084-2090.

Рукопис подано до редакції 24.04.2023

УДК 624.131:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн., наук., проф., **Д.А. КРИШКО**, канд. техн., наук, ст. викладач,
Т.А. МАРІНОВА, В.А. ГАНЖЕНКО, магістранти
Криворізький національний університет

ВЗАЄМОДІЯ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ І НЕРІВНОМІРНО-ДЕФОРМОВАНОЇ ОСНОВИ

Мета. Виконати аналіз і класифікувати причини виникнення нерівномірних деформацій основ, методи захисту від їхнього впливу, розробити метод розв'язання контактної задачі.

Методи дослідження. Математичне моделювання впливу різних чинників на роботу фундаментних плит. Метод кінцевих елементів, класичні методи будівельної механіки (початкових параметрів, сил, переміщень) для розрахунку взаємодії фундаментної конструкції та основи. Метод коефіцієнта жорсткості у розв'язанні контактної задачі взаємодії фундаментної плити і нерівномірно-деформованої основи.

© Тімченко Р.О., Кришко Д.А., Марінова Т.А., Ганженко В.А., 2023

Наукова новизна. Напружено-деформований стан фундаментної конструкції та основи за їхньої контактної взаємодії в особливих умовах роботи.

Практична значимість. Нерівномірні осідання, спричинені деформаціями основи в складних інженерно-геологічних умовах, як правило, значно перевищують відповідні величини, які мають місце у звичайних інженерно-геологічних умовах. Наслідком нерівномірних вертикальних переміщень основи є спостережувані крени споруд, різні форми деформацій вигину, зсуву, крутіння та утворення тріщин. Нерівномірні горизонтальні переміщення основи спричиняють впливи на підземні частини споруд у вигляді зсувних сил на бічних поверхнях і підопшвах фундаментів, а також унаслідок нормального тиску ґрунту, що зсувається, на стіни заглиблених у ґрунт частин споруди.

Результати. Проведені дослідження дали змогу розкрити важливість питань прогнозування перерозподілу реакцій по підопшві фундаментів і визначення додаткових зусиль, що виникають при цьому в конструкціях і вони належать до контактної задачі механіки ґрунтів, яку можна розглядати як задачу, що перебуває на стику механіки ґрунтів, будівельної механіки, теорії пружності та пластичності. Для розрахунків фундаментних конструкцій як діаграми деформування, за якими визначають коефіцієнти жорсткості основи, застосовують кусково-лінійну, гіперболічну або ступінчасту залежності, які лише якісно відображають характер деформування ґрунту під час його навантаження. Залежність між осіданням і тиском під час розвантаження основи приймають у вигляді прямої, що проходить через ту точку діаграми деформування, з якої відбулося її розвантаження

Ключові слова: нерівномірні деформації основ, ґрунти, фундаменти, впливи.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Економічний і соціальний розвиток України значною мірою буде пов'язаний зі зростанням капітального будівництва, реконструкцією та модернізацією будівель, що розміщені в складних інженерно-геологічних умовах, зокрема на підроблюваних територіях. При цьому важливим є завдання поліпшення якості проектування відповідальних будівель і споруд за раціонального використання та захисту території. В умовах зростання населення та обмеженості земельних ресурсів, перетворення підземних виробок на підземні приміщення та інфраструктуру стає дедалі більш актуальним. Це може бути економічно вигідним, оскільки відновлення існуючих об'єктів може бути менш витратним, ніж побудова нових будівель на поверхні. Однак, варто зазначити, що будівництво на підроблюваних територіях пов'язане з певними технічними та безпечнішими ризиками, які потребують уважного підходу під час проектування та будівництва [1-3].

Розрахунки споруд з урахуванням деформованості основ виконуються зазвичай у лінійній постановці. Використання в розрахунках різних розрахункових схем основ і методів врахування нелінійної деформованості ґрунтів призводить до того, що одержувані розрахунковим шляхом величини зусиль у фундаментах і конструкціях верхньої будови відрізняються від лінійного розрахунку в 2-3 рази [4, 5].

Аналіз досліджень і публікацій. До теперішнього часу не вивчено роботу масивних плитних фундаментів будівель і споруд з можливістю регулювання контактних тисків у складних інженерно-геологічних умовах, що не дає змоги з достатньою точністю оцінити їхню роботу за нерівномірних деформацій основи. Це обґрунтовує актуальність наукових досліджень, спрямованих на вивчення спільної роботи плитних фундаментів із нерівномірно деформованою основою та вдосконалення конструкцій фундаментів цього типу.

Теоретичному розробленню й експериментальному обґрунтуванню нелінійних моделей ґрунтового середовища, що дають змогу описувати процес його деформування на всіх етапах навантажування, присвячено праці І.П. Бойка, Є.Ф. Винокурова, Ю.Л. Віннікова, О.Л. Гольдіна, О.Є. Дельника, Б.І. Дідуха, Ю.К. Зарецького, М.Л. Зоценка, В.А. Іллічова, С.Н. Клепікова, М.В. Корнієнка, О.О. Крижанівського, І.В. Крижанівського, І.А. Іллічева, С.Н. Клепікова, А.Л. Крижанівського, І.Я. Лучковського, В.А. Микулича, Ю.М. Мурзенка, В.М. Миколаївського, А.А. Петракова, В.Д. Петренка, А.М. Рижова, В.Л. Седіна, Ю.А. Соболевського, Ю.М. Соловйова, В.І. Соломіна, Є.А. Сорочана, А.С. Строганова, В.Г. Таранова, Р.О. Тімченко, З.Г. Тер-Мартиросяна, С.Б. Ухова, В.Г. Федоровського, Д.М. Шапіро, В.Г. Шаповала, В.Б. Швеца, В.М. Широкова, А.В. Школи та інших. Із зарубіжних учених слід відзначити роботи А.У. Бішопа, Д. Друккера, В. Прагера, К. Роско, П. Роу, А. Скофілда та інших [6-18].

Постановка задачі. Виконати аналіз і класифікувати причини виникнення нерівномірних деформацій основ, методи захисту від їхнього впливу, розробити метод розв'язання контактної задачі.

Викладення матеріалу та результати. У складних ґрунтових умовах фундаменти піддаються впливам не тільки силових чинників, а й нерівномірних деформацій основи. До складних ґрунтових умов слід віднести: просідаючі лесові ґрунти; підроблювані та закарстовані території; набухаючі, неоднорідні, мерзлі, слабкі водонасичені ґрунти тощо. Особливістю цих ґрунтів як основи є їхня нерівномірна деформація під час експлуатації, внаслідок чого в конструкціях (передусім у фундаментах) будівель і споруд виникають додаткові зусилля. Причини цих нерівномірних деформацій різні.

Нерівномірна деформація основи може бути спричинена або її неоднорідністю, пов'язаною з геологічною будовою, або іншими зовнішніми причинами, наприклад гірничими виробками, замочуванням ґрунту тощо.

Численні дослідження поведінки різних ґрунтів (лесових, просідних, загіпсованих, заторфованих, карстових тощо) під час замочування показали, що їхня несуча здатність і податливість (жорсткість) перебувають у тісній залежності від ступеня їхньої вологості. При цьому підвищення вологості супроводжується зниженням жорсткісних характеристик основи, що може викликати нерівномірне осідання.

Під впливом гірничих робіт відбувається зсув ґрунтового масиву, що спричиняє деформації земної поверхні, яка слугує основою будівель і споруд, унаслідок чого змінюються фізико-механічні властивості ґрунту, знижуються жорсткість і несуча здатність основи.

Нерівномірні осідання, спричинені деформаціями основи в складних інженерно-геологічних умовах, як правило, значно перевищують відповідні величини, які мають місце у звичайних інженерно-геологічних умовах. Це осідання лесових просідних ґрунтів під час замочування, осідання під час відтавання льодових прошарків у замерзлому ґрунті, підйоми поверхні ґрунту під час набрякання або морозного здимання, осідання земної поверхні під час підземних гірничих робіт або прояві карстово-суфозійних процесів та ін. Під час проектування будівель і споруд у таких інженерно-геологічних умовах передбачають спеціальні заходи, що забезпечують необхідні експлуатаційні якості та довговічність об'єктів. Це досягається або шляхом створення надійної основи, що унеможливує появу неприпустимих для конструкцій деформацій, або застосуванням конструктивних заходів захисту щодо пристосування будівлі або споруди до прийняття нерівномірних деформацій основи. Необхідні посилення конструкцій і, насамперед, фундаментів визначаються розрахунком будівлі або споруди на нерівномірні деформації основи (осідання, просідання, підйоми).

Впливи на будівлі та споруди підрозділяються на силові та деформаційні.

Деформаційні впливи проявляються у вигляді складного деформування земної поверхні – викривлень опуклості – увігнутості з певним радіусом (осідаючі і підроблювальні території, карсти) або деформування локального характеру – уступів, провалів, воронок, тріщин (підроблювальні території, карсти). Розподіл вертикальних і горизонтальних переміщень основи може мати плавний або зосереджений характер.

Плавні деформації характерні під час викривлення земної поверхні внаслідок плавного зсуву під час підробітки пологих і похилих пластів корисних копалин, під час просідань від замочування лесових просідаючих ґрунтів, карстово-суфозійних процесів на великій глибині. Деформації зосередженого характеру у вигляді тріщин з уступами або без них проявляються в разі оброблення крутопадаючих пластів або в разі підробітки пологих пластів на невеликих глибинах, в разі інтенсивного замочування просідаючих ґрунтів. Деформації зосередженого характеру у вигляді провалів і лійок проявляються в разі карстово-суфозійних процесів або в місцях старих гірничих виробок.

Незважаючи на те, що природа нерівномірної деформованості ґрунтів різна, всі ці деформаційні впливи, зрештою, зводяться до нерівномірних вертикальних і горизонтальних переміщень поверхні основи (рис. 1), тобто їхні дії на будівлі та споруди ідентичні.

Найнебезпечніші види деформаційних впливів з боку основи такі: викривлення поверхні основи з певним радіусом кривизни опуклості або увігнутості; утворення уступів певної величини; різні провали; тріщини.

Деформаційні впливи можна розділити на постійні та змінні. До постійних належать умовно-миттєве утворення карстових провалів, провалів у місцях старих гірничих виробок, а також деформації земної поверхні при великій швидкості замочування просідання просідаючих ґрунтів; до змінних – деформації земної поверхні (мульди, западини), спричинені підробкою, просіданням і карстово-суфозійними процесами на великих площах.

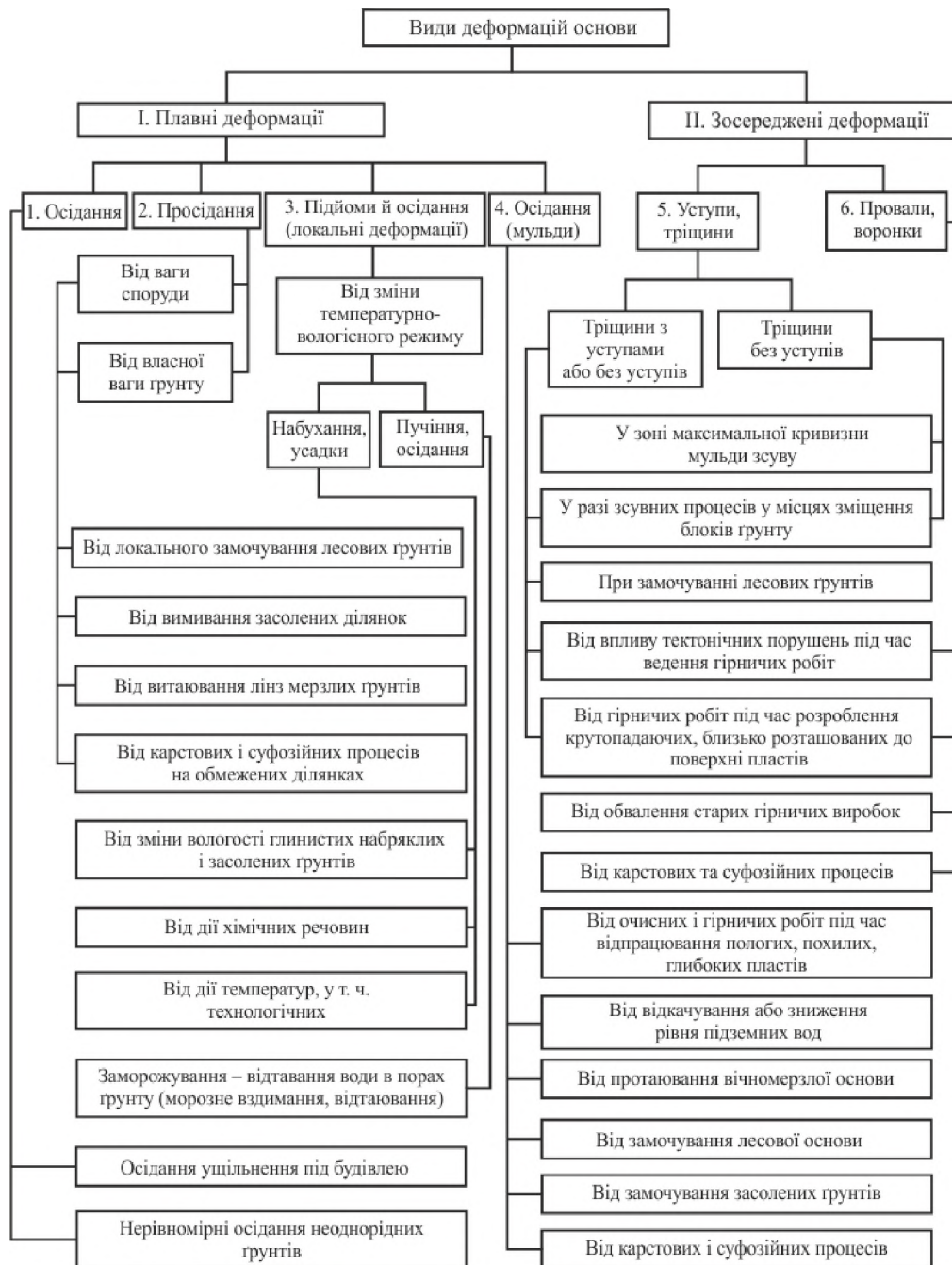


Рис. 1. Види деформацій основи

Найважчий досвід проєктування, будівництва та експлуатації будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах, а також результати натурних досліджень споруд на різних видах деформованих основ свідчать про ефективність у багатьох випадках практики пристосування конструкцій споруд до повного або часткового сприйняття нерівномірних деформацій основи. Більш того, під час будівництва, наприклад, на підроблюваних територіях конструктивні заходи захисту часто є єдино прийнятними, а в інших інженерно-геологічних умовах мають у багатьох випадках доповнювати заходи з підготовки основ.

Якщо нерівномірні деформації основи виникають у період експлуатації споруди, що, як правило, має місце в складних інженерно-геологічних умовах, то вони спричиняють більш-менш істотний перерозподіл контактних напружень, які називаються також реакціями основи. Поле реакцій основи (просідань, осідань тощо), що існувало до появи впливів основи (просідань, осідань тощо), змінюється таким чином, що на одних ділянках відбувається збільшення реакцій, а на інших – зменшення, оскільки реакції основи мають врівноважувати зовнішні, при-

кладені до споруди сили. При цьому можуть мати місце і локальна втрата несучої здатності ґрунту під фундаментом, і його відрив від ґрунту, але загальний обсяг епюр реакцій не змінюється, оскільки зовнішнє навантаження залишається незмінним.

Повна інтерпретація взаємодії споруди і нерівномірно-деформованої основи дана в роботі С.М. Клепікова. Розглядається вплив ступінчастого осідання основи на споруду, що характерно для підроблюваних територій із крутим заляганням вугільних пластів або наявністю старих гірничих виробок і тектонічних порушень, а також для закарстованих територій.

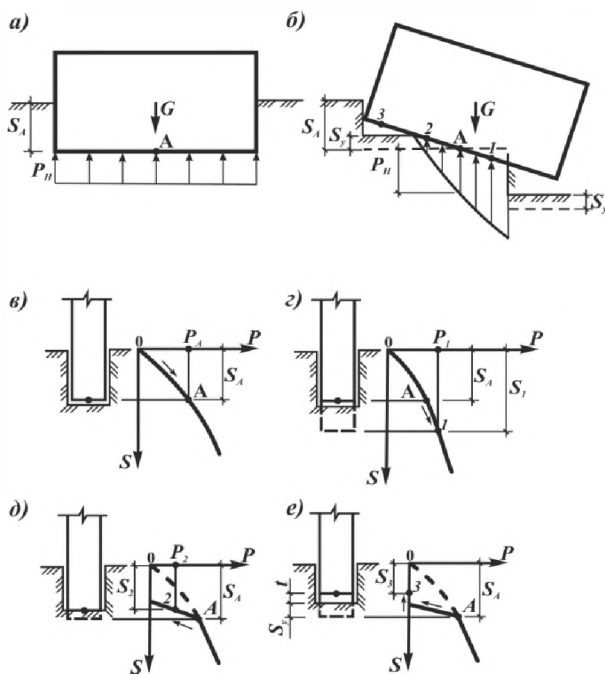


Рис. 2. Взаємодія фундаменту з нелінійною основою: *a* – початковий стан споруди; *б* – під час впливу осідання основи; *в, з, д, е* – поперечні перерізи фундаменту відповідно в початковому стані та в точках 1, 2, 3 за ступінчастого осідання основи

На рис. 2*a* схематично показано споруду вагою G і реакції основи P_n , які рівномірно розподілені по підшві фундаменту. Назвемо цей стан споруди початковим. У період експлуатації споруда піддається впливу ступінчастого осідання основи такої величини, що утворюються консольні звиси з обох торців. Епюра реакцій основи набуває вигляду, зображеного на рис. 2*б*. Найбільше збільшення реакцій основи має місце біля краю уступу. Зі збільшенням вильоту лівої консолі крайова ордината епюри зростає. У разі наближення крайового тиску на ґрунт до граничного в крайовій зоні розвиваються великі деформації, які можуть призвести до втрати рівноваги споруди.

Споруда, що втратила рівновагу, перемищаючись, обіпреться лівою консольною частиною на основу і відновить свою рівновагу.

У площині підшви фундаменту можна виділити три характерні ділянки:

- ділянку збільшення реакцій порівняно з початковим станом (зона, прилегла до точки 1);
- ділянку зменшення реакцій порівняно з початковим станом (зона, прилегла до точки 2);
- ділянку відриву підшви фундаменту від ґрунту (зона біля точки 3).

На рис. 2*в-е* зображено поперечні перерізи фундаменту в початковому стані та в точках 1, 2 і 3 у разі ступінчастого осідання основи. Поруч із кожним перерізом наведено діаграму деформування поверхні основи, на якій стрілками вказано шляхи навантаження або розвантаження основи.

Рис. 2*в* відображає початкове положення фундаменту. Від початку до закінчення будівництва споруди деформування відбувається по лінії OA ; осідання фундаменту дорівнює S_A , реактивний тиск основи (нормальна контактна напруга) – P_n .

Додаткове осідання фундаменту в точці 1 після осідання основи показано на рис. 2*з*. Тут відбувається подальше зростання навантаження на основу, і деформування відбувається від точки A вниз до точки 1. Осідання і реактивний тиск у цій точці дорівнюють S_1 і P_1 .

У точці 2 має місце часткове розвантаження основи, і шлях розвантаження на діаграмі деформування зображується відрізком $A-2$. Осадка і реактивний тиск у точці 2 дорівнюють S_2 і P_2 .

У точці 3 відбувається повне розвантаження основи з відривом підшви фундаменту від основи. Реактивний тиск у цьому випадку дорівнює нулю, а між основою і підшвою фундаменту утворюється зазор величиною $t = S_A - (S_3 + S_y)$. Тут S_y – пружна (відновлювана) частина осідання.

На наведених схемах показано контактну взаємодію фундаменту зі ступінчасто-осідаючою основою. Низка точок фундаменту перебуває в зоні контакту, інші точки – поза контактом (відрив від основи).

У міру проходження уступу зони контакту змінюються, що вказує на необхідність врахування під час проектування фундаментів і споруди загалом нелінійної залежності між наванта-

женням і осіданням основи, а також відмінності в деформації ґрунту під час навантаження і розвантаження.

Якщо під час проектування основ і споруд не враховано особливостей інженерно-геологічних умов будівництва та можливих їхніх змін у процесі експлуатації споруди, то виникають деформації, а іноді й аварії об'єктів. Багато авторів, як вітчизняних, так і закордонних, приводять численні приклади деформацій споруд, що виникають через недооцінку складних інженерно-геологічних умов будівництва. Наслідком нерівномірних вертикальних переміщень основи є спостережувані крени споруд, різні форми деформацій вигину, зсуву, крутіння та утворення тріщин. Нерівномірні горизонтальні переміщення основи спричиняють впливи на підземні частини споруд у вигляді зсувних сил на бічних поверхнях і підшвах фундаментів, а також унаслідок нормального тиску ґрунту, що зсувається, на стіни заглиблених у ґрунт частин споруди.

Сказане свідчить про важливість питань прогнозування перерозподілу реакцій по підшві фундаментів і визначення додаткових зусиль, що виникають при цьому в конструкціях. Ці питання належать до контактної задачі механіки ґрунтів, яку можна розглядати як задачу, що перебуває на стику механіки ґрунтів, будівельної механіки, теорії пружності та пластичності.

Чинні норми проектування основи будівель і споруд вимагають, щоб міцність і тріщиностійкість фундаментів і надфундаментних конструкцій перевіряли розрахунком, що враховує зусилля, які виникають під час взаємодії споруди з основою. Споруди або конструкції на деформованій основі розраховують залежно від прийнятої розрахункової схеми (моделі) основи.

Нині найбільшого розвитку набули методи розрахунку для моделей лінійно-пружних основ: вінклерівської, напівпростору, застосовно до звичайних інженерно-геологічних умов. Для моделей нелінійно-деформованих основ, які необхідно використовувати під час розрахунку споруд у складних інженерно-геологічних умовах, відповідні методи розрахунку поки що розроблено недостатньо і мало застосовують у проектній практиці. Найсуттєвішою перешкодою до широкого впровадження методів розрахунку споруд на нелінійно-деформованій основі є поки що недостатня точність прогнозу осідань за тисків, що перевищують розрахунковий опір ґрунту основи.

Висновки та напрямок подальших досліджень: Для розрахунків фундаментних конструкцій як діаграми деформування, за якими визначають коефіцієнти жорсткості основи, застосовують кусково-лінійну, гіперболічну або ступінчасту залежності, які лише якісно відображають характер деформування ґрунту під час його навантаження. Залежність між осіданням і тиском під час розвантаження основи приймають у вигляді прямої, що проходить через ту точку діаграми деформування, з якої відбулося її розвантаження.

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 09.05.2023

УДК 622.1:528.02

О. В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., О. А. КРЕМЕР, аспірант
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ТА GPS В МАРКШЕЙДЕРСЬКІЙ СПРАВІ

Мета. Метою роботи є дослідження питання доцільності використання GPS-обладнання та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) при виконанні знімальних робіт на промислових майданчиках та інших об'єктах гірничодобувних підприємств, що дозволяє вирішувати нагальні задачі маркшейдерського забезпечення гірничих робіт.

Методи дослідження. Поставлені завдання та мета для дослідження, зумовили використання нових підходів та методів виконання маркшейдерських вимірів та обчислень з необхідною точністю. Методи дослідження засновані на аналізі матеріалів, отриманих з різних наукових літературних джерел: наукових робіт іноземних та вітчизняних вчених, опублікованих у журналах та збірниках; інформації з Інтернету; офіційної нормативної бази, що регламентує проведення польових та камеральних робіт.

Наукова новизна. За результатами аналізу сучасних методів виконання знімальних робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів та GPS та порівняння їх з традиційними методами виконання таких задач, обґрунтовано вибір найбільш доцільних та ефективних методів виконання маркшейдерських знімальних робіт з подальшим опрацюванням отриманих даних, використовуючи для цього спеціальне програмне забезпечення.

Практична значимість виконаних досліджень спрямована для задоволення потреб маркшейдерських відділів гірничодобувних підприємств Криворізького басейну, для удосконалення практики виконання знімальних робіт на різних гірничодобувних об'єктах: хвостосховищах, кар'єрах, відвалах, проммайданчиках підприємств відкритої та підземної розробки родовищ корисних копалин. Досліджені сучасні методи знімання за допомогою БПЛА та GPS, мають суттєву перевагу порівняно з традиційними за рядом характеристик. Вони не поступаються за точністю, виконуються у короткий термін часу та потребують значно меншої кількості задіяних працівників маркшейдерського відділу.

Результати. У роботі розглянуто точність, яку дають традиційні та досліджені сучасні методи виконання маркшейдерських знімальних робіт, також результати опрацювання даних зйомок, отримані шляхом опрацювання їх у різному програмному забезпеченні. Досліджено результати впровадження сучасних методів на гірничодобувних підприємствах України та зарубіжжя.

Ключові слова: маркшейдерія, БПЛА та GPS, програмне забезпечення, 3D моделі.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. Оскільки маркшейдерські роботи переплітаються з багатьма галузями – мають багатофункціональне призначення, то є необхідність у забезпеченні якісного та одночасно швидкого обслуговування [4,6]. За останні роки впровадження GPS-обладнання та БПЛА для виконання маркшейдерських робіт – створення опорної маркшейдерсько-геодезичної мережі, виконання детальних зйомок гірничих об'єктів (котлованів на хвостосховищах, проммайданчиків шахт, екскаваторних вибоїв тощо) –