

Тімченко Р. О., д.т.н., професор, Крішко Д. А., к.т.н., доцент,
Савенко В. О., к.т.н. (Криворізький національний університет)

ДОДАТКОВІ ВПЛИВИ І НАВАНТАЖЕННЯ НА БУДІВЛІ І СПОРУДИ ІЗ ОСНОВОЮ, ЩО НЕРІВНОМІРНО ДЕФОРМУЄТЬСЯ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

У статті розглядаються додаткові навантаження та впливи на будівлі й споруди, зведені на територіях зі складними інженерно-геологічними умовами, зокрема за наявності основи, що нерівномірно деформується. Описано проблеми, пов'язані з недосконалістю існуючих розрахункових моделей, а також необхідність їхньої оптимізації для точного прогнозування взаємодії системи «основа – фундамент – споруда» в умовах нерівномірних деформацій основи. Акцент зроблено на вдосконаленні аналітичних методів розрахунку для зменшення трудомісткості й підвищення ефективності проєктування. У дослідженні визначено особливі та аварійні поєднання навантажень і впливів, а також методи врахування їх комбінованої дії на основи будівель.

Ключові слова: складні інженерно-геологічні умови; основа; що нерівномірно деформується; методи розрахунку.

Аналіз досліджень і постановка задачі. Проблема будівельного освоєння територій зі складними інженерно-геологічними умовами особливо із основою, що нерівномірно деформується є досить актуальною. Відсутність чітких критеріїв і правил створення розрахункових моделей призводить до некоректного моделювання взаємодії будівель і споруд із основою, що нерівномірно деформується. Прагнення збільшити точність спільного розрахунку призводить до створення більш складних розрахункових моделей, однак в складних інженерно-геологічних умовах при прояві нерівномірних деформацій основи ці розрахункові моделі є недоцільні із-за високої трудомісткості. Таким чином розвиток методів спільного розрахунку будівель і споруд із основою, що нерівномірно деформується в складних інженерно-геологічних умовах, і зокрема аналітичних методів є актуальним.

Теоретичною основою досліджень є роботи, які об'єднані в тематичні групи:



– за методами розрахунку та моделювання системи «основа – фундамент – споруда» та її елементів при розв’язанні контактних задач, що відображені в роботах Алексеєва С.І., Банаха В.А., Віннікова Ю.Л., Горбунова-Посадова М.І., Городецького О.С., Клепікова С.М., Левіна В.М., Малишева М.В., Метелюка Н.С., Петракова О.О., Тер-Мартirosяна З.Г., Тімченка Р.О., Кришка Д.А., I.L. Kristić, Coulomb Ch., Roscoe K.H., Borland J.B., Vermeer P.A. [1–4];

– за методами визначення деформаційних впливів на будівель і споруд зі сторони основи в складних інженерно-геологічних умовах та особливостями їх моделювання, що відображено в роботах Гильмана Я.Д., Гольдштейна М.Н., Григоряна А.А., Кушнера С.Г., Левченко А.П., Невзорова А.Л. [5];

– САПР, що застосовуються для розрахунку системи «основа – фундамент – споруда», що відображено в роботах Городецького О.С., Клованича С.Ф., Перельмутера А.В., Borland J.B., Vermeer P.A. [6].

Відомо, що кожен будівельний об’єкт являє собою багатокомпонентну систему взаємодії елементів «основа – фундамент – споруда», напружено-деформований стан яких залежить від жорсткісних характеристик всіх елементів системи. Аналіз науково-технічної літератури показав, що у більшості сучасних програмних комплексів застосовується контактна модель Пастернака П.Л. [7], застосування якої в розрахунках конструкцій на пружній основі є спірним, оскільки дотичні напруження, що виникають на контактній поверхні, можуть призвести до зниження внутрішніх зусиль в конструкціях фундаментів. Механічні моделі ґрунтової основи більш трудомісткі, вимогливі до обсягів та програми інженерних вишукувань і не завжди дозволяють врахувати особливі властивості ґрунтів, що характерні для деяких складних інженерно-геологічних умов.

Нелінійні моделі основи, що засновані на вирішенні змішаної пружньопластичної задачі із застосуванням різних видів умов міцності, в практичному використанні мають, як правило, спрощений вид. Застосування таких моделей не завжди доцільне, оскільки не обґрунтовується суворий математичний розрахунок при недостатній точності визначення вихідних даних про механічну поведінку ґрунтів.

Метою дослідження є визначення основних та додаткових навантажень і впливів та їх поєднань при розрахунках системи «основа – фундамент – споруда» в складних інженерно-геологічних умовах.

Викладення основного матеріалу

При визначенні впливів від складних інженерно-геологічних умов зусилля (напруження) у конструкціях визначаються як сумарні від основного та особливого поєднання навантажень. В основне поєднання навантажень входять постійні, тривалі та короткочасні навантаження. У цьому поєднанні враховується зумовлена (детермінована) нерівномірність деформування основи. Особливі поєднання навантажень, включають до себе вплив у вигляді додаткових (стохастичних) нерівномірних переміщень (осідань, кренів та горизонтальних зсувів) деформованої основи, викликаних тими чи іншими складними інженерно-геологічними умовами. Окремо слід виділити аварійні навантаження або впливи з боку основи (сейсмічні впливи та деформації, що викликані корінною зміною структури ґрунту).

В нормативних документах України, що регламентують проєктування будівель та споруд у складних інженерно-геологічних умовах [8], при розрахунку будівель та споруд на епізодичні навантаження розглядаються два типи аварійних поєднань навантажень та впливів:

– основне поєднання навантажень (постійних, тривалих та короткочасних) без урахування вітрових) та знакозмінних сейсмічних впливів;

– основне поєднання навантажень та особливе поєднання, що включає дії, обумовлені деформаціями основи, що супроводжуються зміною структури ґрунту (просідання), або осіданням земної поверхні в результаті підробітку території або карстоутворення.

Прийнято вважати, що виникнення найбільш несприятливих умов деяких видів особливих впливів настільки низька, що можливий їх роздільний облік. Тобто додаткові зусилля в конструкціях від цих впливів не підсумовуються, а вживаються максимально несприятливими для кожного з цих впливів. Практика експлуатації будівель і споруд показує, що такий підхід зустрічається рідко, а більшість випадків – це можливі поєднання просідання і підробки, підробки та підземні вибухи та ін.

Розрізняють два види нерівномірних переміщень деформованої основи, що враховуються в особливому поєднанні:

– переміщення від зовнішніх навантажень на основу, спричинені зміною деформаційних характеристик ґрунтів у стиснутій товщі, та навантаження;

– переміщення основи, спричинені напруженим станом масиву ґрунтів та гірських порід від дії його власної ваги, величини яких не

залежить від навантажень, переданих спорудою основу.

Нерівномірні переміщення першого виду враховуються у розрахунковій схемі споруди на деформованій основі шляхом моделювання основи змінної жорсткості [9]. Нерівномірні переміщення другого виду враховуються у розрахунковій схемі споруди на основі, що деформується, як вимушені переміщення межі товщини основи, що стискається.

При розрахунку конструкцій просторово жорстких споруд, що взаємодіють з нерівномірно деформованою основою, рекомендується враховувати нелінійність деформування ґрунтів, оскільки це дозволяє знижувати нерівномірність деформацій, спричинених іншими факторами.

Пропонується модель нелінійно деформованого ґрунтового масиву (рис. 1) [10], в якій:

– при тисках, що не перевищують початковий критичний тиск p_{cr} , ґрунт основи сприймається як тіло, що лінійно деформується;

– при тисках у діапазоні від p_{cr} до граничного опору основи p_u – пружнопластичне тіло, в якому: при зростанні тиску на основу залежність деформацій від тиску апроксимується дробово-лінійною гіперболічної функцією, а при зменшенні тиску – лінійної залежністю.

Відповідно до чинних нормативних документів [8] при визначенні вертикальної складової граничного опору основи передбачається, що ґрунти основи нижче підшви однорідні на глибину не менше ширини підшви фундаменту.

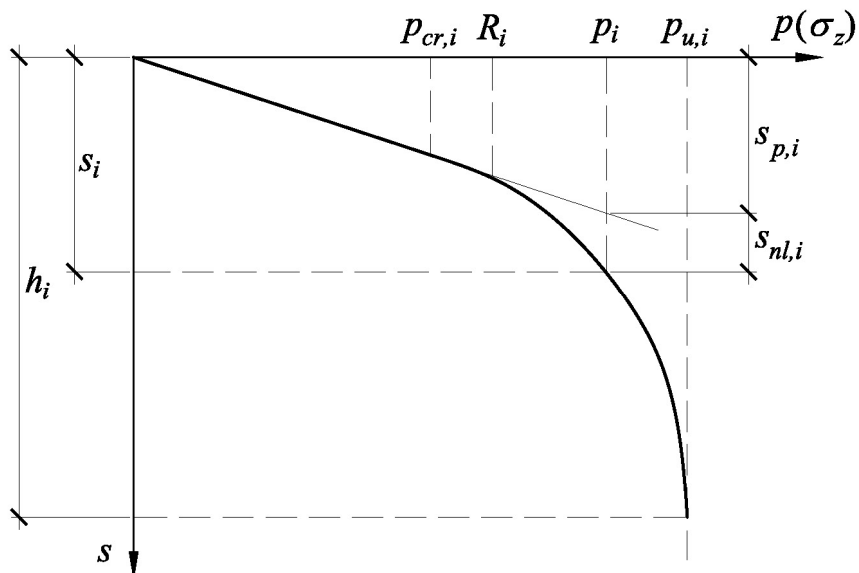


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення осідання в елементарному шарі основи від тиску, що перевищує початковий критичний тиск

При визначенні осідань за межею лінійної деформованості, глибина, в межах якої проводиться середня питома вага та міцності ґрунту, визначається за формулою (1), але приймається не менше ширини підшви фундаменту b .

$$z_{из} = \frac{S_R \cdot \bar{E}}{\beta \cdot \rho_0}, \quad (1)$$

де \bar{E} – середнє значення модуля деформації в межах товщини, що стискається;

ρ_0 – додатковий вертикальний тиск на основу.

Розглянуто складні інженерно-геологічні умови, а саме території із особливими умовами (підроблювальні та сейсмонебезпечні).

При підробці будівля піддається складному деформаційному впливу з боку основи. Очікувані (імовірні) деформації земної поверхні розраховуються інженерами-маркшейдерами за методиками, викладеними у діючих інструктивно-нормативних документах рис. 2.

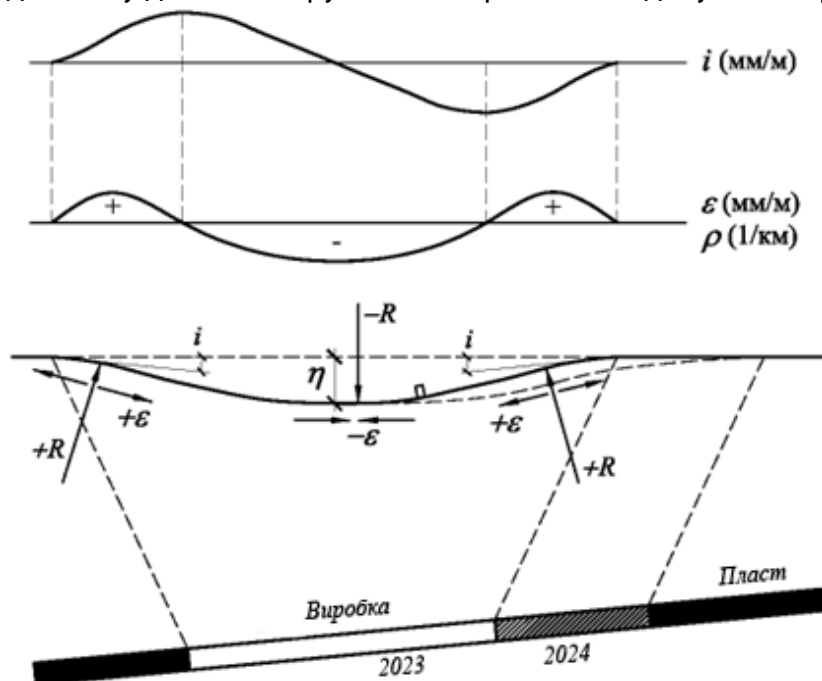


Рис. 2. Мульда зсуву та епюри деформацій земної поверхні при зрушенні порід у формі плавного прогину (при пологому заляганні пластів корисних копалин)

Відмінністю підроблюваних територій від інших причин виникнення нерівномірних деформацій основи є повна незалежність нерівномірного деформування земної поверхні від тисків, що передаються будівлею на основу. У зв'язку з цим нерівномірні

переміщення основи від впливу підробки враховуються в розрахунковій схемі споруди на основі, що деформується, як вимушені переміщення межі товщі, що стискається.

Сучасні проблеми будівництва будівель та споруд на підроблюваних територіях розглянуті в роботах Тімченка Р.А., Петракова О.О., Светлицького С.А. [10; 11].

Деформації земної поверхні визначаються розрахунком при гірничо-геологічному обґрунтуванні будівництва, однак при технічній діагностиці будівель, що експлуатуються на територіях, що підробляються, можливе їх уточнення за результатами геодезичного моніторингу [12].

Традиційно при розрахунках будівель і споруд на складні навантаження розглядають динаміку:

- окремої підсистеми, не пов'язаної із суміжними конструкціями та середовищами, що мають спрощену (у порівнянні з реальною) схему динамічних впливів;

- всієї споруди, але з усередненими динамічними властивостями.

Одночасне врахування двох особливих впливів на будівлю призводить до надмірного ускладнення конструктивного рішення, підвищенню матеріаломісткості та відповідно вартості (таблиця).

Таблиця

Поєднання складних інженерно-геологічних умов

Вид складних умов	Просідаючі	Набухаючі	Елювіальні	Насипні	Намивні	Пучиністі	Карстонебезпечні території	Підтоплювані території	Техногенні впливи
Підроблювальні території	-	-	+	+	+	+	-	+	+
Сейсмонебезпечні території	-	+	+	+	+	+	-	+	-

Тому при можливих подібних поєднаннях особливих впливів доцільно один з них знизити або усунути доступними засобами на стадії проєктування, наприклад, передбачити усунення просадних властивостей ґрунту ущільненням, закріпленням тощо. При цьому заходи, спрямовані на зниження одного особливого впливу, не повинні посилювати другий.

Висновки і перспективи досліджень

Запропоновані поєднання навантажень і уточнена класифікація складних інженерно-геологічних умов, що враховує вид нерівномірних переміщень основи, що деформується, дозволяють визначити найбільш несприятливу сумарну потенційну нерівномірність деформацій основи.

В подальшому необхідно розглянути аналітичні методи визначення деформацій основи, викликаних різними складними інженерно-геологічними умовами, з урахуванням потенційної нерівномірності від їх можливих поєднань.

1. Винников Ю. Л., Суходуб А. В., Кичаева О. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния системы «реконструируемое здание – фундаменты – основание». *Вестник ПНИПУ : науч.-теорет. журн.* Пермь, 2015. № 2. С. 50–63. 2. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев : Факт, 2005. 344 с. 3. Петраков А. А. Практические методы решения упруго-пластических задач при сложном нагружении бетонных конструкций. *Современные проблемы строительства : сб. науч. трудов.* Донецк, 1999. № 7. С. 65–69. 4. Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. The hardening soil model: formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics : collection of scientific papers.* Balkema, Rotterdam. 1999. P. 281–290. DOI:10.1201/9781315138206-27. 5. Гольдштейн М. Н., Макаренко Н. М. Об определении просадочных свойств лессовых грунтов. *Основания, фундаменты и механика грунтов : науч.-техн. журн.* Москва, 1970. № 6. С. 10–13. 6. Городецкий Д. А., Барабаш М. С., Водопьянов Р. Ю., Титок В. П., Артамонова А. Е. Программный комплекс Лира-САПР 2013. Москва, 2013. 376 с. 7. Пастернак П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. Москва : Госстройиздат, 1954. 56 с. 8. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. [Чинний від 2017-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 35 с. 9. Тимченко Р. А. Расчет фундаментных плит с комплексным учетом нелинейных факторов. *Механика грунтов и фундаментостроение : материалы Украин. науч.-техн. конф. (17–19 сентября 1997 г.).* Одесса, 1997. Т. 2. С. 400–401. 10. Тимченко Р. О., Крішко Д. А., Савенко В. О. Використання діаграм деформування ґрунту для розрахунку конструкцій в складних інженерно-геологічних умовах. *Розвиток національної економіки: теорія і практика : міжн. наук.-практ. конф. (3–4 квітня 2015 р.).* Івано-Франківськ, 2015. С. 94–95. 11. Петраков А. А., Светлицкий С. А. Современные проблемы строительства зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. *Світ геотехніки : наук.-техн. журн.* Київ, 2013. № 4. С. 20–24. 12. Лобов М. И., Морозова Т. В. Воздействие подработки на здания и сооружения. *Вестник ДонНАСА : сб. науч. трудов.* Донецк, 2016. № 6. С. 110–114.

REFERENCES:

1. Vynnykov Yu. L., Sukhodub A. V., Kychaeva O. V. Modelyrovanye napriazhenno-deformyrovannoho sostoiannya systemy «rekonstruyruemoe zdanye – fundamente – osnovanye». *Vestnyk PNYPU : nauch.-teoret. zhurn.* Perm, 2015. № 2. S. 50–63.
 2. Horodetskyi A. S., Evzerov Y. D. *Kompiuternye modely konstruktsyi.* Kyev : Fakt, 2005. 344 s.
 3. Petrakov A. A. *Praktycheskiye metody resheniya upruho-plastycheskykh zadach pry slozhnom nahruzhenyy betonnykh konstruktsyi.* *Sovremennye problemy stroitelstva : sb. nauch. trudov.* Donetsk, 1999. № 7. S. 65–69.
 4. Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. The hardening soil model: formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics : collection of scientific papers.* Balkema, Rotterdam. 1999. P. 281–290. DOI:10.1201/9781315138206-27.
 5. Holdshstein M. N., Makarenko N. M. Ob opredelenyy prosadochnykh svoistv lessovykh hruntoy. *Osnovaniya, fundamente y mekhanyka hruntoy : nauch.-tekhn. zhurn.* Moskva, 1970. № 6. S. 10–13.
 6. Horodetskyi D. A., Barabash M. S., Vodopianov R. Yu., Tytok V. P., Artamonova A. E. *Prohrammnyi kompleks Lyra-SAPR 2013.* Moskva, 2013. 376 s.
 7. Pasternak P. L. *Osnovy novoho metoda rascheta fundamentov na uprugom osnovanny pry pomoshchy dvukh koэфfitysyentov postely.* Moskva : Hosstroiyzdat, 1954. 56 s.
 8. DBN V.1.1-45:2017. *Budivli i sporudy v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Zahalni polozhennia.* [Chynnyi vid 2017-10-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2017. 35 s.
 9. Tymchenko R. A. *Raschet fundamentnykh plyt s kompleksnym uchetom nelyneinykh faktorov.* *Mekhanyka hruntoy y fundamentostroenye : materyaly Ukrayn. nauch.-tekhn. konf. (17–19 sentiabria 1997 h.).* Odessa, 1997. T. 2. S. 400–401.
 10. Timchenko R. O., Krishko D. A., Savenko V. O. *Vykorystannia diahram deformuvannia gruntu dlia rozrakhunku konstruktsii v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Rozvytok natsionalnoi ekonomiky: teoriia i praktyka : mizhn. nauk.-prakt. konf. (3–4 kvitnia 2015 r.).* Ivano-Frankivsk, 2015. S. 94–95.
 11. Petrakov A. A., Svetlytskyi S. A. *Sovremennye problemy stroitelstva zdanyi y sooruzheniy na podrabatyvaemykh terrytoryakh.* *Svit heotekhniky : nauk.-tekhn. zhurn.* Kyiv, 2013. № 4. S. 20–24.
 12. Lobov M. Y., Morozova T. V. *Vozdeistvye podrobotky na zdaniya y sooruzheniya.* *Vestnyk DonNASA : sb. nauch. trudov.* Donetsk, 2016. № 6. S. 110–114.
-

Timchenko R. O., Doctor of Engineering, Professor, Krishko D. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Savenko V. O., Candidate of Engineering (Ph.D.) (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

ADDITIONAL IMPACTS AND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES WITH UNEVENLY DEFORMED FOUNDATIONS IN COMPLEX ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

The article highlights the issue of uneven deformation of building foundations in areas with complex engineering and geological conditions. It examines the additional impacts and loads that arise from such deformations and discusses methods to account for them in design and construction. It emphasizes that existing calculation models often do not take into account all possible deformation impacts on buildings under these conditions, which leads to reduced efficiency. The authors stress that in complex geological conditions with unevenly deformed foundations, traditional methods of calculating loads and impacts on buildings and structures require significant improvement. The article analyzes current approaches to addressing these issues, including the use of new analytical models and simplified calculation methods, which can reduce design complexity and increase the accuracy of predictions regarding the interaction between the foundation, substructure, and the building. The article categorizes methods into thematic groups, with key ones being: by calculation and modeling methods for the "foundation-substructure-building" system and its elements when solving contact problems; by methods of determining deformation impacts on buildings and structures from the foundation in complex engineering and geological conditions and the specific features of their modeling; and CAD systems used for calculating the "foundation-substructure-building" system. It also discusses special combinations of loads and impacts arising from subsidence, tilting, seismic actions, landslides, and land subsidence. Additionally, the article proposes improving methods for accounting for combined impacts in complex engineering and geological conditions, particularly by refining mathematical models of the foundation that consider the nonlinear characteristics of deformed soil masses. The suggested approaches allow for the consideration of factors such as soil properties and their impact on the overall stability of the structure, helping to reduce the risks of uneven deformations and ensure the longevity of buildings. The



authors conclude that the proposed combinations of loads and the refined classification of complex engineering and geological conditions, which take into account the type of uneven displacement of the deformed foundation, enable the determination of the most unfavorable cumulative potential for uneven foundation deformations. Further research should focus on analytical methods for determining foundation deformations caused by various complex engineering and geological conditions, considering the potential unevenness from their possible combinations.

***Keywords:* complex engineering and geological conditions; unevenly deforming foundation; calculation methods.**