

Розрахунок підпірних стін в піщаних ґрунтах

Олег Малишев, доц., канд. техн. наук¹ (ORCID: 0000-0002-2804-6217),
Василь Горбунов, магістр¹ (ORCID: 0009-0003-4498-6596)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Сучасні програмні комплекси для розрахунку підпірних стін, хоч і представлені на ринку в обмеженій кількості, значно підвищують ефективність інженерного проектування, зменшуючи трудомісткість і час виконання розрахунків. Вони забезпечують можливість моделювання складних інженерно-геологічних умов, дозволяють проводити аналіз за допомогою чисельних методів та автоматизують процеси, які раніше вимагали ручних обчислень. Проте, в алгоритмах і розрахункових модулях таких програм часто реалізуються методики, що базуються на європейських або міжнародних нормативних документах, теоретичних положеннях чи інженерних підходах інших країн. Це може призводити до невідповідності результатів вимогам національних нормативів або до ігнорування специфічних перевірочних умов, обов'язкових згідно з чинними державними стандартами (ДБН, ДСТУ). Як наслідок — обмежується можливість безпосереднього впровадження таких результатів у проектну документацію без додаткової перевірки або адаптації.

У межах дослідження було розглянуто специфіку взаємодії кутових підпірних стін зі стандартною та укороченою консоллю, де остання зумовлює формування несиметричної призми обвалення. Така геометрична особливість впливає на розподіл зусиль у конструкції, особливо при наявності незв'язаних ґрунтів у основі. Було проведено порівняння результатів розрахунків кутових підпірних стін, отриманих за класичними інженерними методами (аналітичними підходами) та за допомогою сучасних програмних комплексів. Аналіз показав, що один із ключових факторів, який впливає на значення згинальних моментів у стіновій частині конструкції — це її висота, особливо при взаємодії з піщаними ґрунтами. Отримані результати мають важливе практичне значення для етапів конструювання та реалізації підпірних споруд, оскільки дозволяють враховувати не лише стійкість і міцність, а й деформаційні характеристики конструкцій у реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: підпірні стіни, стійкість, деформації, основа, програмні комплекси.

1. ВСТУП

У сучасних умовах розвитку міської інфраструктури одним із ключових напрямів є ефективне використання вільних від забудови ділянок для створення нових логістичних, промислових і транспортних об'єктів. Такі території зазвичай характеризуються великими площами, і навіть при незначному ухилі природного рельєфу виникає потреба у проектуванні та зведенні підпірних стін значної протяжності. Конструктивне виконання підпірних стін може суттєво варіюватися — від масивних гравітаційних до тонких монолітних залізобетонних конструкцій із різними схемами армування. Водночас відмінності у типах ґрунтових умов, геометричних параметрах та призначенні споруд визначають необхідність використання відповідних методів їхнього розрахунку.

Вибір методу розрахунку підпірної стіни безпосередньо впливає на точність оцінки стійкості, несучої здатності, деформаційних характеристик та економічної доцільності конструкції. У практиці інженерного проектування найчастіше використовуються:

Аналітичні (інженерні) методи, які базуються на класичних теоретичних підходах із урахуванням граничних станів. Вони передбачають окрему перевірку умов стійкості, несучої здатності основи, міцності та жорсткості елементів конструкції. Такі методи регламентовані національними нормативними документами (ДБН, ДСТУ) і передбачають використання коефіцієнтів надійності, запасу та інших параметрів, що забезпечують безпечну експлуатацію.

Чисельні методи, зокрема метод скінченних елементів (MCE), реалізований у програмних комплексах, таких як **PLAXIS**, **LIRA-SAPR**, **MIDAS GTS**, які дають змогу моделювати складні ґрунтові умови, визначати зони пластичних деформацій, оцінювати реальний механізм обвалення конструкції тощо. Основною перевагою є можливість комплексного аналізу напружено-деформованого стану системи, однак такі методи потребують високої кваліфікації користувача та значних ресурсів.

Емпіричні підходи, які можуть використовуватися на ранніх етапах проектування для попереднього оцінювання геометричних параметрів конструкцій на основі статистично оброблених даних про типові інженерні рішення.

У межах дослідження було проведено порівняння результатів розрахунків кутових підпірних стін, виконаних за класичними інженерними методами та за допомогою програмних засобів, що реалізують чисельні методики. Результати аналізу свідчать про наявність певних розбіжностей, зумовлених як принциповими відмінностями у підходах до моделювання, так і різним трактуванням граничних станів, зокрема при оцінці деформацій, тиску з боку зворотної засипки, впливу геометрії стіни (висоти, консолі) тощо.

Таким чином, вибір найбільш доцільного методу розрахунку підпірних стін має ґрунтуватися на комплексному аналізі умов будівництва, інженерно-геологічних характеристик, вимог нормативної документації та стадії проектування. Поєднання аналітичних та чисельних підходів дозволяє забезпечити як

надійність конструкції, так і оптимізацію матеріальних витрат у процесі її реалізації.

У сучасних умовах розвитку міської інфраструктури одним із пріоритетних напрямів є освоєння вільних від забудови територій для розміщення нових логістичних комплексів, які забезпечують ефективну роботу міської інфраструктури. Такі території, як правило, мають значну площу забудови, і навіть незначний ухил рельєфу часто зумовлює необхідність проєктування та зведення підпірних стін великої довжини. Ці стіни можуть відрізнятися за конструктивними особливостями, використовуваними матеріалами, типом взаємодії з ґрунтовою основою, а також методами розрахунку, що безпосередньо впливає на їх подальшу експлуатаційну ефективність.

У зв'язку з цим важливим завданням є порівняння різних методів розрахунку підпірних стін з метою вибору найбільш раціонального варіанта. Це дозволить оптимізувати процес проєктування і підвищити загальну ефективність реалізації інженерних рішень.

2. МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є проведення комплексного аналізу існуючих інженерних методів розрахунку підпірних стін та порівняння їх з результатами, отриманими за допомогою сучасного комп'ютерного програмного забезпечення, з метою визначення найбільш ефективних і точних підходів для проєктування підпірних конструкцій.

3. ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати розрахунків демонструють, що значення ексцентриситету при переході від стандартної консолі до короткої збільшується у 10 разів за даними «керівництва 84» та у 3,5 рази за «посібником 91». При цьому різниця між результатами для одного типу консолі, отриманими за різними методиками, становить 4,2 та 1,5 відповідно для довгої та короткої консолі.

Слід зазначити, що наведені величини є наближеними і можуть змінюватися залежно від типу ґрунту зворотної засипки, його характеристик та габаритів підпірної стіни. Проте ці дані свідчать про наявність суттєвих розбіжностей у результатах, що вказує на більший запас міцності при розрахунках за «посібником 91».

Для підтвердження збільшених коефіцієнтів запасу при розрахунках за «керівництвом 84» у порівнянні з «посібником 91» було виконано розрахунки підпірної стіни за I та II групою граничних станів.

Аналіз результатів, представлених у таблиці 2, показує, що при розрахунку на стійкість відмінності між методами можуть складати від 0 до 15% для довгої консолі та від 8 до 35% — для короткої. Розбіжність значень напружень під підшоною підпірної стіни коливається в межах 5–30% для довгої консолі та 33–200% — для короткої. Найменші розбіжності спостерігаються у напруженнях стиску, а найбільші — у напруженнях розтягу.

Наступним етапом було виконання розрахунків підпірних стін із застосуванням програмних комплексів. Для порівняння було обрано модуль «Підпірна стіна» в програмному комплексі МОНОМАХ-САПР та систему Geo5.

Порівняння результатів розрахунку підпірних стін на стійкість вказує на високу збіжність значень отриманих за «керівництвом 84» та ПК «Мономах» — до 2% - для стін з

стандартною консоллю та до 10 % - для стін з короткою, в той час різниця значень для «посібника 91» становить — до 15 та 27 % відповідно.

Найбільшу збіжність значень тиску під підшоною підпірної стіни мають результати розрахунку за «керівництвом 84» та ПК «Мономах» 7-26% - для стандартної консолі та 1-69% - для короткої консолі, для розрахунків за «посібником 91» — 7-11% та 25-130% - для стандартної та короткої консолі відповідно. Найбільшу збіжність мають напруження стику, найменші — розтягу. Значення тиску, визначені за Geo5 мають відхилення 24% і 14% - для для стандартної та короткої консолі відповідно у порівнянні з «керівництвом 84».

Встановлено порядок найбільшої збіжності результатів: «керівництво 84», ПК «Мономах», Geo5, «посібник 91».

Список літератури

- [1] ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014. Настанова з проєктування підпірних стін:– [Чинний від 2015.10.01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. – 86с..
- [2] ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – [Чинний від 2019–01–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018. – 36с.
- [3] Gucunski N. Seismic analysis of retaining walls, buried structures, embankments, and integral abutments / N. Gucunski, H. Najm, H. Nassif. Piscataway: Dept. of Civil & Environmental Engineering Center for Advanced Infrastructure & Transportation (CAIT) Rutgers, 2005 – 160 p.
- [4] Timchenko R. Modeling using the LIRA 9.6 software package of contact interaction of the retaining wall with the base / R. Timchenko, D. Krishko, V. Savenko // *ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Poltava, 2019. – Vol. 1 (52). – P. 133-138.
- [5] Gerhard B. Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGEO / B. Gerhard. – Second edition. – Berlin, 2012. – 338 p.
- [6] Iskander M. Active static and seismic earth pressure for c-Φ soils / M. Iskander, Z. Chen, M. Omidvar // *Soils and Foundations*. – 2013. – 53. – P. 639–652.
- [7] Tiwary A. Performance Comparison and Critical Finite Element Based Experimental Analysis of Various Forms of Reinforcement Retaining Structural System / A. Tiwary, S. Bhatia, S. Singh // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2022. – P. 1-13.
- [8] Salman F. Comparative study on earth pressure distribution behind retaining walls subjected to line loads / F. Salman. M. Fattah, S. Shirazi // *Scientific Research and Essays*. – 2011. – 6. – P. 2251-2267.