

## Аналіз напружено-деформованого стану шпунтових підпірних стін з урахуванням просторових ефектів: Порівняння 2D та 3D розрахунків

Людмила Бондарева, канд.техн.наук, доцент1 (ORCID: 0000-0001-7392-814X),  
Василь Беган, магістр1 (ORCID: 0009-0008-0357-5762)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, 03037, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31, Україна

### АНОТАЦІЯ

У статті представлено результати числового моделювання напружено-деформованого стану сталеві шпунтової підпірної стіни з використанням програмного комплексу Plaxis. Проведено порівняльний аналіз 2D та 3D моделювання для оцінки впливу просторових елементів конструкції на її поведінку. Особливу увагу приділено відмінностям у розподілі згинальних моментів у крайніх і центральних палях підпірної стіни, зумовленим врахуванням розподільчих балок та розпірних конструкцій у 3D моделі. Отримані результати підкреслюють важливість використання 3D моделювання для точнішого аналізу складних геотехнічних задач.

*Ключові слова:* Підпірна стіна, шпунт, MCE, Plaxis, Hardening Soil, числове моделювання.

### 1. ВСТУП

Сталеві шпунтові підпірні стіни широко використовуються в інженерній практиці для утримання ґрунту в складних геотехнічних умовах. Адекватне моделювання їхньої роботи є критичним для забезпечення надійності та безпеки конструкцій. Сучасні програмні комплекси, такі як Plaxis, дозволяють проводити як двовимірне (2D), так і тривимірне (3D) числове моделювання, що дає можливість більш точно враховувати особливості взаємодії конструкції з ґрунтовим масивом.

Однак, різниця між 2D і 3D підходами до моделювання може суттєво вплинути на результати розрахунків, зокрема на визначення напружено-деформованого стану (НДС) підпірних стін. 3D моделі здатні враховувати просторову роботу конструкції, включаючи вплив розпірних конструкцій, які не можуть бути точно відображені в 2D постановці.

У даному дослідженні основна увага приділяється порівнянню результатів 2D та 3D моделювання взаємодії шпунтової підпірної стіни з ґрунтовим масивом за допомогою Plaxis. Проаналізовано відмінності у НДС стіни, з метою визначення впливу тривимірного моделювання на точність і надійність отриманих результатів.

### 2. МЕТА

Метою даного дослідження є комплексний аналіз та порівняння напружено-деформованого стану сталеві шпунтової підпірної стіни, змодельованої у програмному комплексі Plaxis у 2D та 3D постановках. Дослідження спрямоване на виявлення впливу просторового моделювання на точність і надійність розрахунків, з особливою увагою до врахування тривимірної роботи конструкції.

Додатково, у рамках даного дослідження передбачається оцінка поведінки ґрунту за допомогою моделі Hardening Soil, яка враховує нелінійні характеристики деформацій ґрунту та його жорсткісні властивості. Ця модель дозволяє більш точно відтворити реальні умови експлуатації та взаємодію шпунтової стіни з ґрунтовою основою.

### 3. ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

У даному дослідженні було виконано числове моделювання сталеві шпунтової підпірної стіни з використанням програмного комплексу Plaxis, орієнтованого на аналіз ґрунтових конструкцій. Основний акцент зроблено на порівнянні результатів 2D та 3D моделювання, щоб оцінити вплив тривимірної роботи конструкції на напружено-деформований стан (НДС) стіни.

Для моделювання у Plaxis використано модель поведінки ґрунту Hardening Soil, яка враховує нелінійні деформаційні характеристики ґрунту, включаючи його жорсткість, залежність модуля деформації від рівня навантаження, а також здатність до ущільнення.

#### 3.1. 2D моделювання в ПК «Plaxis»

У Plaxis 2D для моделювання використовувались трикутні скінченні елементи типу 6-node (з шістьма вузлами), які дозволяють ефективно описувати плоскі напружено-деформовані масиви ґрунту.

2D підхід забезпечує двовимірне представлення взаємодії конструкції з ґрунтовою основою, дозволяючи отримати розподіл напружень і деформацій в площині розрізу стіни. Проте основним обмеженням цього підходу є відсутність врахування просторової роботи конструкції. Як результат, отримані значення НДС у 2D моделі можуть бути менш точними в порівнянні з реальними значеннями.

#### 3.2. 3D моделювання в ПК «Plaxis»

У 3D моделюванні використано більш складні скінченні елементи типу «10-node tetrahedral» для ґрунту, які дозволяють врахувати нелінійні характеристики матеріалу в тривимірному просторі. Ці елементи забезпечують високу точність при моделюванні складних геометрій і взаємодій між конструкцією та ґрунтом.

Врахування просторової роботи конструкції у 3D моделі дозволяє отримати більш точні результати, відображаючи реальну поведінку стіни під дією навантажень. Зокрема, у 3D моделюванні можливо врахувати наявність розпірок та інших конструкцій, які збільшують жорсткість стіни, що

значно вплинуло на розподіл напружень і деформацій по стіні, порівняно з 2D моделлю.

На рисунку 1 показано 3D з кутовими розпірками, які влаштовані в 3 яруси по вертикалі. Отримано, що найбільші переміщення отримали палі у прольотній (центральної) частині.

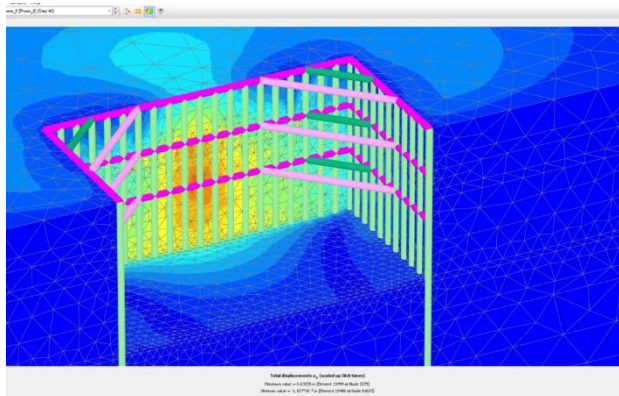


Рисунок 1. Горизонтальні переміщення отримані в 3D моделі.

### 3.3. Порівняння та аналіз результатів

Аналіз результатів показав, що для палів в зоні розташування розпірок підпірної стіни, значення згинальних моментів та характер їх розподілу у 3D моделі близькі до результатів 2D моделювання, хоча й дещо менші. Однак, розподіл згинальних моментів для центральних палів значно відрізняється. Це пояснюється тим, що в 3D моделі враховано розподільчі балки та розпірні конструкції у вигляді труб, які забезпечують більш точний розподіл навантажень по конструкції.

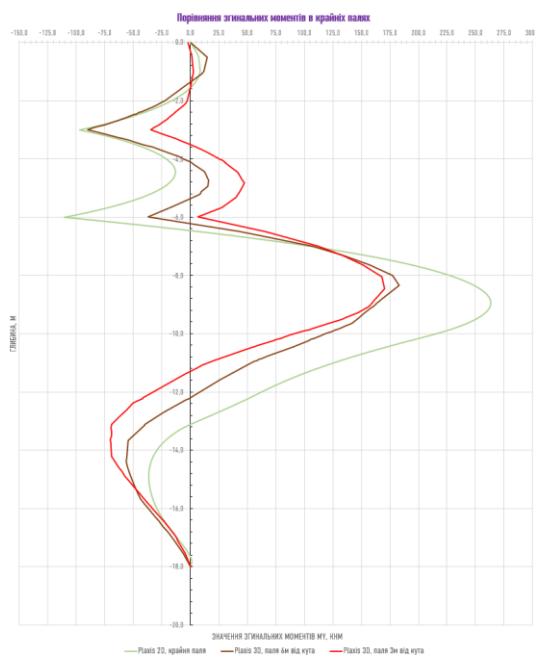


Рисунок 2. Порівняння згинальних моментів в крайніх палях

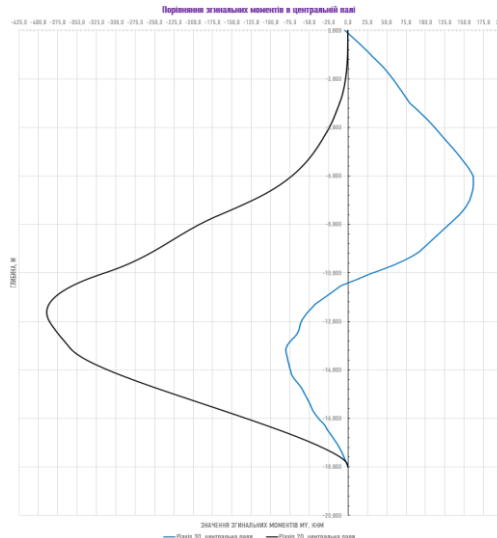


Рисунок 3. Порівняння згинальних моментів в центральних палях

Також у 3D моделі є вплив жорсткості розпірок на розподіл моментів у центральних палях.

## 4. ВИСНОВКИ

Дослідження показало, що значення згинальних моментів для крайніх палів підпірної стіни, отримані в 3D моделі, майже співпадають із результатами 2D моделювання, проте вони трохи менші. Однак розподіл згинальних моментів для центральних палів виявився суттєво іншим. Це зумовлено тим, що в 3D моделі було враховано розподільчі балки та розпірні конструкції, які забезпечують більш рівномірний розподіл навантажень по конструкції.

Отже, 3D моделювання, завдяки врахуванню просторових елементів, дозволяє точніше відтворити напружено-деформований стан підпірної стіни, що робить його більш придатним для аналізу складних інженерних задач, ніж традиційне 2D моделювання.

## Список літератури

- [1] Бондарева Л. О. Використання 2D та 3D моделювання для оцінки напружено-деформованого стану підпирних стін складних конфігурацій / Л.О. Бондарева, В.С. Носенко, А.Р. Маламан // *Науково-технічний збірник «Основи і фундаменти»*. – К.: КНУБА. – 2022. – Вип. 45. – С. 9-21. DOI: 10.32347/0475-1132.45.2022.9-21.
- [2] Schanz T. The Hardening Soil Model: Formulation and verification. / T. Schanz, P. A. Vermeer // *Beyond 200 in Computational Geotechnics*. – Balkema, Rotterdam. – 1999. – 1. – P.281-290.
- [3] Duncan J.M. Nonlinear analysis of stress and strain in soils. / J.M. Duncan, C.-Y. Chang // *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. – USA. – 1970. – 96. P.1629-1653.