

ІНЖЕНЕРНА МЕХАНІКА MECHANICAL ENGINEERING

УДК 624.1

doi: [10.31474/1999-981X-2018-1-130-135](https://doi.org/10.31474/1999-981X-2018-1-130-135)

Н.В. Зуєвська
Л.В. Шайдецька

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВРАХУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ ВІД БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА БУДІВНИЦТВІ

Метою проведених досліджень є забезпечення міцності кріплення котловану з врахуванням динамічного впливу від схеми розташування комплексу будівельної техніки при проведенні будівельно-монтажних робіт з урахуванням обмеженості в просторі в щільній міській забудові. Для виконання моделювання впливу на деформації конструкції огороження котловану була обрана будівельна техніка, яка перелічена в роботі.

Методика дослідження полягає в комп'ютерному моделюванні з використанням програми «Plaxis» з узагальненням відомих наукових результатів та практичного досвіду запобігання деформації кріплення котловану.

Результати дослідження. Розглянуто особливості проведення будівельних робіт в щільній міській забудові де велике значення для вибору типу кріплення огорожуючої стіни в котловані має рух будівельної техніки поблизу. Конструкція «стіна в ґрунті» з анкерною системою закріплення погано переносить навантаження які утворюються при роботі великогабаритної будівельної техніки. Для отримання безпечної відстані, яка потім відображається в проекті виробництва робіт був використаний розрахунковий комплекс PLAXIS. Програма PLAXIS є багатофункціональною, що дозволяє розглядати всі аспекти складних геотехнічних систем. Моделювання сумісної роботи «конструкція – ґрунт» є важливою задачею для багатьох проектів геотехнічних споруд. В програмі PLAXIS є можливість моделювати поведінку ґрунтів, використовуючи декілька моделей. В представленій роботі була використана модель ґрунту, що набуває жорсткості (Hardening Soil Model), яка на наш погляд більш наближена для моделювання глибоких виїмок.

Наукова новизна. Встановлено закономірності зміни деформаційних характеристик та зусиль в кріпленні котловану в залежності від безпечної відстані розташування будівельної техніки. Встановлено залежність переміщення конструкції огороження котловану і згинаючого моменту від схем розташування будівельної техніки під час будівельно-монтажних робіт.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють обрати можливі варіанти розташування та пересування різноманітної будівельної техніки на будівельному майданчику в залежності від інженерно-геологічних умов та виду кріплення котловану.

Ключові слова: інженерні вишукування, геотехнічне моделювання, щільна забудова, чисельне моделювання, модель ґрунту.

Вступ.

Для моделювання огорожуючої конструкції при виконанні глибокої виїмки та визначення впливу на її стійкість в залежності від розташування різних видів будівельної техніки в її верхній частині був використаний розрахунковий комплекс PLAXIS.

Для моделювання поведінки ґрунту необхідні спеціальні схеми, щоб врахувати внутріпоровий тиск незалежно від того, є він гідростатичним чи ні [1, 2]. Хоча моделювання ґрунту являє собою важливу задачу, для багатьох геотехнічних проектів потрібно ще моделювання конструкції і системи її взаємодії з ґрунтом. Програма PLAXIS є дуже багатофункціональною, що дозволяє розглядати всі аспекти складних геотехнічних систем [3].

Отже, в програмі PLAXIS є можливість моделювати поведінку ґрунтів, використовуючи такі моделі:

- модель Мора-Кулона (Mohr-Coulomb Model);
- модель тріщинуватих скельних порід (Jointed Rock model);
- модель ґрунту, що стає жорсткішим (Hardening Soil Model);
- модель для м'яких ґрунтів (Soft Soil Model);
- модель для м'яких текучих ґрунтів (Soft Soil Creep Model).

Нижче розглянемо дві моделі ґрунтів, що найчастіше використовуються для вирішення поведінки конструкцій огороження котловану в різні інженерно-геологічних умовах, опис їх застосувань, а також параметри які необхідні для розрахунків.

В розглянутій моделі була використана Модель ґрунту, що стає жорсткішим (Hardening Soil Model), яка більш наближена для моделювання глибоких виїмок.

Метою проведення досліджень є забезпечення міцності кріплення котловану з врахуванням динамічного впливу від схеми розташування комплексу будівельної техніки при проведенні будівельно-монтажних робіт.

Виклад основного матеріалу досліджень.

В розглянутих варіантах моделювання були обрані: стіна в ґрунті без додаткового кріплення; стіна в ґрунті та розпірні конструкції з труб металевих Ø820x10 з кроком 5м; "стіна в ґрунті" зі встановленням ґрунтових ін'єкційних анкерів

Для виконання моделювання впливу на деформації конструкції огороження котловани була обрана наступна будівельна техніка:

- бульдозер Liebherr PR 714 LGP (транспортні розміри 3,6x2,8 м, вага 12,6-14,3 т)
- кран Liebherr HS 883 HD (довжина гусінь 5,49 м, ширина гусінь 4,92 м, вага 105,1 т)
- автобетонозмішувач КамАЗ-65115-3958 (габаритні розміри 8,5x2,5x3,6 м, вага 25,2 т)

Виходячи з геологічної будови і зважаючи на просторову мінливість, склад, стан та властивості ґрунтів, на будівельному майданчику виділені сім інженерно-геологічні елементи (рис.1.).

ID	Назва	Тип	Глибина [м]	Тип	γ_s [кН/м ³]	γ_d [кН/м ³]	E_{s0}^{ref} [МПа]	E_{s0}^{ref} [МПа]	E_{s0}^{ref} [МПа]	E_{s0}^{ref} [МПа]	ν_{ref} [°]	ν [°]
1	Смерч	Drained	19.5	19.5	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
2	Заповнений	Drained	19.4	19.4	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
3	Заповнений	Drained	19.4	19.4	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
4	Заповнений	Drained	20.4	20.4	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
5	Скопаний	Drained	19.5	19.5	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
6	Заповнений	Drained	19.7	19.7	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9
7	Заповнений	Drained	19.7	19.7	9.9000	3.0000	24000.0	24000.0	22000.0	2.0	27.0	9.9

Рис. 1. Інженерно-геологічні характеристик ґрунтів будівельного майданчику

Для повної картини досліджень були сформовані шість основних варіантів комбінацій елементів при моделюванні. Перший варіант - розрахункова модель 1, 2, 3 відображує роботу конструкції огороження котловану, що виконана

методом "стіна в ґрунті", шириною 0,8 м, довжиною 26 м з чотирма ярусами розпірних конструкції з металеві труби Ø820x10 кроком 5м (рис.2,3). В даній розрахунковій моделі не прикладені навантаження від будівельної техніки, а отримані результати слугують для зрівняння впливу обраних типів техніки на переміщення конструкції огороження котловану та зусиль, що в ній виникають [4].

В зв'язку з тим, що розрахунковий комплекс двовимірний і не дає можливості змоделювати навантаження від гусені бульдозера тільки в місці контакту з поверхнею ґрунту – навантаження прикладене як розподілене в кН/м² і дорівнює вазі бульдозера поділений на транспортну площу техніки. Подальші прикладання навантаження від різних видів будівельної техніки розраховувалися аналогічно. Навантаження від бульдозера Liebherr PR 714 LGP на відстані 2 м - максимальне переміщення "стіни в ґрунті" складає 47,6 мм, а згинаючий момент – 93,18 тм, що становить приблизно на 1,5% більше ніж на вихідній схемі.

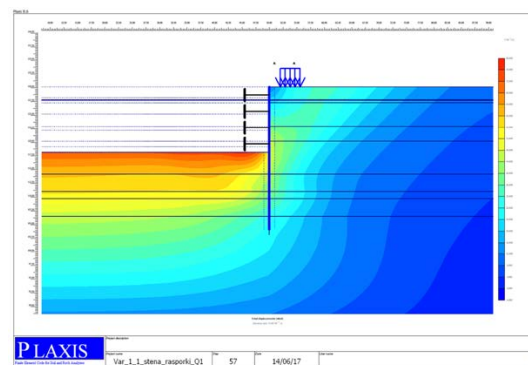


Рис. 2. Конструкція огороження – "стіна в ґрунті", 4 яруси розпірок. Загальні переміщення розрахункової моделі

В зв'язку з незначним впливом прикладеного навантаження на конструкцію огороження, розрахунки з прикладанням навантаження на відстані 5 м не були виконані.

На основі цих даних можна зробити висновок, що легка будівельна техніка, така як Бульдозер Liebherr PR 714 LGP, вагою до 12-14 т не має значного впливу на стійкість конструкції "стіна в ґрунті".

Розрахункова модель 2 – будівельна техніка, кран Liebherr HS 883 HD, на

відстанях 2 та 5 м від осі огороження. На відстані – 2 м від брівки котловану максимальне переміщення складає 62,01 мм, а на 5 м – 61,19 мм. При прикладанні навантаження на відстані 5 м від осі конструкції огороження можна побачити незначне зменшення в значеннях переміщень в конструкції.

Якщо існує необхідність розташування важкої техніки близько до огороження котловану – необхідно провести перевірочні розрахунки конструкції огороження та прийняти необхідні зміни для попередження ненормативних переміщень, та перевищення величини згинаючого моменту від розрахункового [5].

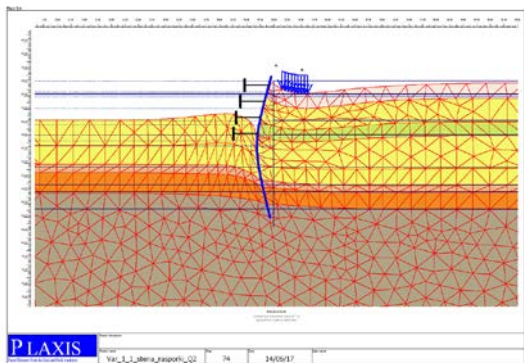


Рис. 3. Конструкція огороження – "стіна в ґрунті", 4 яруси розпірок.
Деформована сітка кінцевих елементів розрахункової моделі

Розрахункова модель 3 - будівельна техніка, а саме автобетонозмішувач КамАЗ-65115-3958, на відстанях 2 та 5 м від осі огороження. На відстані – 2 м від брівки котловану максимальне переміщення складає 58,72 мм, а на 5 м – 50,24 мм. Найбільший вплив обрана техніка має при повному заповненні бетоном автобетонозмішувача (при середньому значенні об'єму перевезення бетонної суміші 10 м³ додаткова вага буде складати 25 т)

При прикладанні навантаження на відстані 5 м можемо спостерігати зменшення переміщень на 8,5 мм, а величини згинаючого моменту на 23 тм, що вказує на те, що розвантаження бетону на будівельному майданчику на відстані 5 м від огороження має менший вплив на конструкцію огороження котловану ніж на відстані 2 м, що необхідно враховувати при проектуванні пересування будівельної

техніки по площадці будівництва в Проекті виробництва робіт та вибору площадок для розвантаження бетонної суміші.

Другий варіант - розрахункова модель 4, 5, 6 відображує роботу конструкції огороження котловану, що виконана методом "стіна в ґрунті", шириною 0,8 м, довжиною 26 м з чотирма ярусами тимчасових ін'єкційних ґрунтових анкерів з кроком 2 м (рис.4, 5).

Розрахункова модель 4. В даній розрахунковій моделі не прикладені навантаження від будівельної техніки, а отримані результати слугують для зрівняння впливу обраних типів техніки на переміщення конструкції огороження котловану та зусиль, що в ній виникають. Максимальне переміщення "стіни в ґрунті" складає 118,29 мм, а згинаючий момент – 149,0 тм.

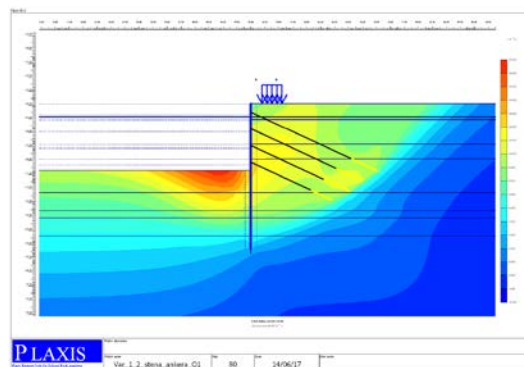


Рис. 4. Конструкція огороження – "стіна в ґрунті", 4 яруси ґрунтових анкерів
Загальні переміщення розрахункової моделі

Розрахункова модель 5 – будівельна техніка, а саме кран Liebherr HS 883 HD, на відстанях 2 та 5 м від осі огороження.

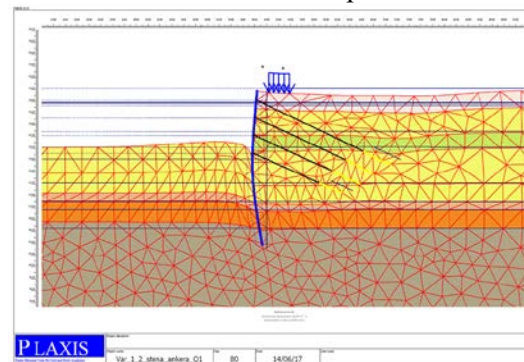


Рис. 5. Конструкція огороження – "стіна в ґрунті", 4 яруси ґрунтових анкерів
Деформована сітка кінцевих елементів розрахункової моделі

До розрахункової моделі 4 прикладене навантаження від будівельної техніки, а саме Бульдозер Liebherr PR 714 LGP і відображає вплив на поведінку конструкції огороження котловану від техніки на відстані 2 м.

В зв'язку з незначним впливом прикладеного навантаження на конструкцію огороження, розрахунки з прикладанням навантаження на відстані 5 м не були виконані.

На основі цих даних можна зробити висновок, що легка будівельна техніка, така як Бульдозер Liebherr PR 714 LGP, вагою до 12-14 т не має значного впливу на стійкість конструкції "стіна в ґрунті" як при використанні розпірних конструкцій так і при ґрунтових анкерах.

Згідно з попередніми результатами аналогічної схеми огороження котловану з розпірними конструкціями, можемо зробити висновок, що важка будівельна техніка не має такого значного впливу на поведінку конструкції огороження котловану з ґрунтовими анкерами, що пов'язано в свою чергу з тим, що стійкість "стіни в ґрунті" забезпечується за рахунок роботи ін'єкційного кореня анкерів в ґрунті і при прикладанні додаткового навантаження на поверхню ґрунту основну частину цього навантаження буде сприймати канатна тяга вільної частини ґрунтових анкерів.

Розрахункова модель 6 показує вплив на поведінку конструкції огороження котловану від прикладеного навантаження від будівельної техніки, а саме автобетонозмішувач КамАЗ-65115-3958, на відстанях 2 та 5 м від осі огороження.

При порівнянні аналогічної розрахункової моделі з розпірками можна зробити висновок про різницю робіт конструкцій з розпірками та ґрунтовими анкерами та значну різницю в прирості переміщень та згинаючих моментів.

Висновки.

На основі отриманих результатів робимо висновок, що під'їзд великогабаритної та важкої будівельної техніки, такої як кран Liebherr HS 883 HD, вагою 105 т, повинен прораховуватись окремо і тільки при отриманні безпечної відстані відображати переміщення цієї техніки в проекті виробництва робіт. Велике значення для вибору типу кріплення

огороджуючої стіни в котловані має рух будівельної техніки поблизу. Через навантаження які створює будівельна техніка, огороджуючі конструкції піддаються додатковому впливу і це негативно впливає на геомеханічні властивості споруди.

При моделюванні в програмному комплексі Plaxis було виявлено, що конструкція «стіна в ґрунті» в якій використовуються анкерна система закріплення погано переносить навантаження які утворюються при роботі великогабаритної будівельної техніки .

Список літератури

1. Hashash Y. M. A., Levasseur S., Osouli A. et al. Comparison of two inverse analysis techniques for learning deep excavation response // *Computers and Geotechnics*. 2010. Vol. 37. Iss. 3. P. 323-333.
2. Shanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. The hardening soil model: Formulation and verification // *Plaxis-Symposium: Beyond 2000 in Computational Geotechnics —2014 of P. 1-16.*
3. Калошина С. В., Шаламова Е. А., Безгодов М. А. Особенности инженерных изысканий и геотехнического моделирования объектов в условиях плотной городской застройки // *академический вестник УралНИИпроект. Вып.3. Строительные науки*, 2016. С.72-78.
4. H. Popa, A. Marcu & L. Batali. Numerical modelling and experimental measurements for a retaining wall of a deep excavation in Bucharest, Romania // *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Taylor & Francis Group, London,UK. 2009. P. 187-193.
5. J. Zghondi, F. Emeriault, R. Kastner. Multi-criteria procedure for the back-analysis of multi-supported retaining walls // *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Taylor & Francis Group, London,UK. 2009. P. 207-213.

References

1. Hashash Y. M. A., Levasseur S., Osouli A. (2010), «Comparison of two inverse analysis techniques for learning deep excavation response», [Comparison of two inverse analysis techniques for learning deep excavation response], *Computers and Geotechnics*, Vol. 37. Iss. 3. P. 323-333.
2. Shanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. (2014) «The hardening soil model: Formulation and verification», [The hardening soil model: Formulation and verification], *Plaxis-Symposium: Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. P. 1-16.
3. Kaloshina S. V., Shalamova E. A., Bezgodov M. A. (2016) «Features of engineering surveys and geotechnical modeling of objects in conditions of dense urban development», [Osobennosti inzhenernyh izyskanij i geotekhnicheskogo modelirovaniya obektov v usloviyah plotnoj gorodskoj zastrojki], *akademicheskij vestnik UralNIIProekt. Vyp.3. Stroitelnye nauki*, S.72-78.
4. H. Popa, A. Marcu & L. Batali, (2009) «Numerical modelling and experimental measurements for

a retaining wall of a deep excavation in Bucharest, Romania» [Numerical modelling and experimental measurements for a retaining wall of a deep excavation in Bucharest, Romania], Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Taylor & Francis Group, P.187-193. London, UK.

5. J. Zghondi, F. Emeriault, R. Kastner. (2009) «Multi-criteria procedure for the back-analysis of multi-

supported retaining walls», [Multi-criteria procedure for the back-analysis of multi-supported retaining walls], Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Taylor & Francis Group, P. 207-213, London, UK.

Надійшла до редакції 21.04.2018

Рецензент д-р. техн. наук, проф. В.В. Левіт.

Зуєвська Наталя Валеріївна – доктор технічних наук, професор, кафедра геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (вул. Борщагівська, 115, Київ, 03056, Україна)

E-mail: zuevska@i.ua

Шайдецька Любов Валентинівна – кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (вул. Борщагівська, 115, Київ, 03056, Україна)

E-mail: shaydetskaya_lubov@ukr.net

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Целью проведенных исследований является обеспечение прочности крепления котлована с учетом динамического воздействия от схемы расположения комплекта строительной техники при проведении строительно-монтажных работ с учетом ограниченности в пространстве плотной городской застройке. Для выполнения моделирования влияния на деформации конструкции ограждения котлована была выбрана строительная техника, перечисленная в работе.

Методика исследования заключается в компьютерном моделировании с использованием программы «Plaxis» с обобщением известных научных результатов и практического опыта предотвращения деформаций крепления котлована.

Результаты исследования. Рассмотрены особенности проведения строительных работ в плотной городской застройке где большое значение для выбора типа крепления ограждающих стены в котловане имеет движение строительной техники поблизости. Конструкция «стена в грунте» с анкерной системой закрепления плохо переносит нагрузки образующиеся при работе крупногабаритной строительной техники. Для получения безопасного расстояния, которая затем отображается в проекте производства работ был использован расчетный комплекс PLAXIS. Программа PLAXIS является многофункциональной, что позволяет рассматривать все аспекты сложных геотехнических систем. Моделирование совместной работы «конструкция - грунт» является важной задачей для многих проектов геотехнических сооружений. В программе PLAXIS есть возможность моделировать поведение почв, используя несколько моделей. В представленной работе была использована модель грунта, приобретает жесткости (Hardening Soil Model), которая на наш взгляд более приближена для моделирования глубоких выемок.

Научная новизна. Установлены закономерности изменения деформационных характеристик и усилий в крепление котлована в зависимости от безопасного расстояния расположения строительной техники. Установлена зависимость перемещения конструкции ограждения котлована и изгибающего момента от схем расположения строительной техники во время строительно-монтажных работ.

Практическое значение. Результаты исследований позволяют выбрать возможные варианты расположения и передвижения разнообразной строительной техники на строительной площадке в зависимости от инженерно-геологических условий и вида крепления котлована.

Ключевые слова: инженерные изыскания, геотехническое моделирование, плотная застройка, численное моделирование, модель почвы

Зуевская Наталья Валериевна - доктор технических наук, профессор, кафедра геоинженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

E-mail: zuevska@i.ua

Шайдецкая Любовь Валентиновна – кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра геоинженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

E-mail: shaydetskaya_lubov@ukr.net

MODERN METHODS OF TAKING DYNAMIC INFLUENCE FROM BUILDING EQUIPMENT IN BUILDING

The purpose of the research is to ensure the strength of the foundation pit, taking into account the dynamic effect of the layout of the location of a set of construction equipment during construction and installation work, taking into account the limited space in a dense urban building. In order to perform the simulation of the influence on the deformation of the foundation pit structure, the construction technique, which is listed in the work, was chosen.

The research methodology is computer simulation using the "Plaxis" program with a synthesis of well-known scientific results and practical experience in preventing the deformation of the foundation pit.

Research results. the peculiarities of carrying out construction works in dense urban buildings are considered. Where the construction of a nearby construction site is of great importance for the choice of the type of fastening of the enclosing wall in the foundation pit. The "wall-in-the-ground" construction with anchor fixing system badly tolerates the loads that are generated when working in large-sized construction machinery. The PLAXIS settlement complex was used to obtain a safe distance, which is then displayed in the project design. The PLAXIS program is multifunctional, which allows you to consider all aspects of complex geotechnical systems. Simulation of the joint work "design - soil" is an important task for many projects of geotechnical structures.

Scientific novelty. The regularities of the change of deformation characteristics and efforts in the forged foundation are established, depending on the safe distance of the location of the construction equipment. The dependence of the displacement of the design of the enclosure of the foundation pile and the bending moment on the layout of the construction equipment during construction and installation work is established.

Practical meaning. The research results allow to choose possible variants of location and movement of various construction equipment on the construction site, depending on the engineering-geological conditions and the type of fastening of the foundation pit.

Keywords: *engineering surveys, geotechnical modeling, density of development, numerical simulation, model of soil*

N. Zuiavska - doctor of technical sciences, professor, department of Geo-Engineering, National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnical institute"

E-mail: zuevska@i.ua

L. Shaidetska – Ph.D., associate professor, department of Geo-Engineering, National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnical institute"

E-mail: shaydetskaya_lubov@ukr.net