

Література

1. Hunter R. N., Self A., Read J. The Shell Bitumen Handbook. 6th ed. London: ICE Publishing, 2015. 680 p. <https://doi.org/10.1680/tsbh.58378>
2. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон для автомобільних доріг і аеродромів. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 2012. 25 с.
3. Kwan A. K. H., Mora C. F. A study of the properties of asphalt concrete. Magazine of Concrete Research. 2001. Vol. 53, No. 2. pp. 91–100. DOI: <https://doi.org/10.1680/macrc.2001.53.2.91>
4. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон для автомобільних доріг і аеродромів. Метод випробування. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 71 с.

УДК 624.21:624.1:004.94

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ У ПРОГРАМІ PLAXIS 3D

Овчаренко Олексій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки імені В.О. Російського, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: ol.ovcharenko1@gmail.com, ORCID: [0000-0003-1906-7021](https://orcid.org/0000-0003-1906-7021)

Фітаров Владислав Сергійович, аспірант кафедри мостів, конструкцій і будівельної механіки імені В.О. Російського, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: fitarov24@gmail.com, ORCID: [0000-0003-0478-3893](https://orcid.org/0000-0003-0478-3893)

Актуальність теми роботи пов'язана з нагальною потребою відновлення транспортної інфраструктури України, значна частина якої була зруйнована під час воєнних дій, а також із необхідністю підвищення надійності та економічної ефективності мостових фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах [1, 2]. Розроблення раціональних конструкцій фундаментів потребує точного прогнозу осідань, напружень і взаємодії споруди з основою, що можливе лише завдяки застосуванню сучасних числових методів, зокрема програмного комплексу PLAXIS 3D [3].

Метою дослідження є оцінка можливостей і ефективності застосування програмного комплексу PLAXIS 3D для моделювання фундаментів мостових споруд, з особливим акцентом на пальово-плитні системи.

Об'єктом дослідження є процес взаємодії елементів пальово-плитного фундаменту мосту з ґрунтовою основою.

Предметом дослідження є вплив параметрів конструкції та обраної моделі ґрунту на осідання, розподіл напружень і частку навантаження, яку сприймають палі та плита в системі «плита – палі – ґрунт».

Програмний комплекс PLAXIS 3D базується на методі скінченних елементів і призначений для тривимірного аналізу напружено-деформованого стану основ і споруд. Він дозволяє моделювати взаємодію споруди з основою з урахуванням послідовності будівництва, гідрогеологічних умов та фізико-механічних властивостей шарів ґрунту [4]. Серед його переваг – можливість поєднання геотехнічного та конструктивного аналізу в єдиній моделі.

У бібліотеці PLAXIS 3D реалізовано понад 10 моделей ґрунтів, серед яких Mohr-Coulomb, Hardening Soil (HS), HSsmall, Soft Soil, Jointed Rock, Sekiguchi-Ohta та інші [4]. Для попередніх розрахунків застосовується спрощена модель Mohr-Coulomb, що дозволяє швидко оцінити напружено-деформований стан. Для точного прогнозу осідань використовується модель Hardening Soil, у якій враховується залежність модуля деформації від рівня тиску та розрізняються три параметри жорсткості — E_{50} , E_{oed} та E_{ur} . Модель HSsmall додатково відтворює ефекти малих деформацій, що є важливими для оцінки експлуатаційної придатності фундаментів мостів.

PLAXIS 3D дозволяє враховувати різні типи навантажень – постійні, тимчасові, температурні, сейсмічні – та контролювати етапи їх прикладання. Завдяки інтерфейсним елементам програма забезпечує адекватне відтворення дотичної взаємодії між фундаментом і ґрунтом. Також реалізована можливість визначення тисків порової води, побудови ізоліній осідань, епюр напружень і діаграм згинальних моментів у плиті.

Для підтвердження можливостей програмного комплексу було змодельовано фундамент мосту на автобані А45 (Гіссен – Ашаффенбург, Німеччина). Конструкція фундаменту – пальово-плитна, що забезпечує спільну роботу паль і плити. У моделі враховано стратиграфію ділянки, рівень ґрунтових вод і фізико-механічні характеристики шарів. Палі змодельовано як об'ємні тверді тіла, плиту – як пластинчастий елемент із ґрунтовими інтерфейсами (Рис. 1).

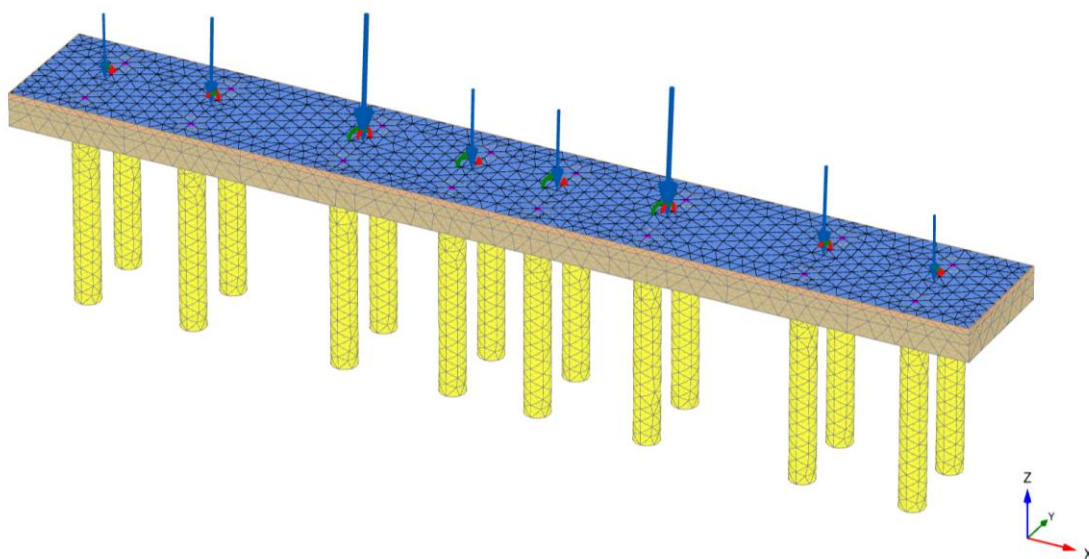


Рисунок 1 – Модель пальово-плитного фундаменту у PLAXIS 3D.

За результатами моделювання визначено, що розрахункове навантаження на фундамент становить $P_{tot} = 59,9$ МН, з яких палі сприймають $\sum P_p = 40,6$ МН, а плита – $P_r = 19,3$ МН. Коефіцієнт взаємодії визначено за формулою:

$$\alpha_{pr} = \frac{\sum P_p}{P_{tot}} \quad (1)$$

що свідчить про комбіновану роботу системи ($0 < \alpha_{pr} = 0,68 < 1$) [5].

Отримані осідання становлять 0,9-1,3 см (Рис. 2), що задовольняє нормативні вимоги до мостових споруд. Порівняння результатів із іншими експериментально-числовими дослідженнями показало добру збіжність: модель PLAXIS 3D дає незначне завищення осідань у бік безпеки [6, 7, 8]. Аналіз напружень підтвердив рівномірний розподіл у плиті й адекватну передачу навантаження через палі.

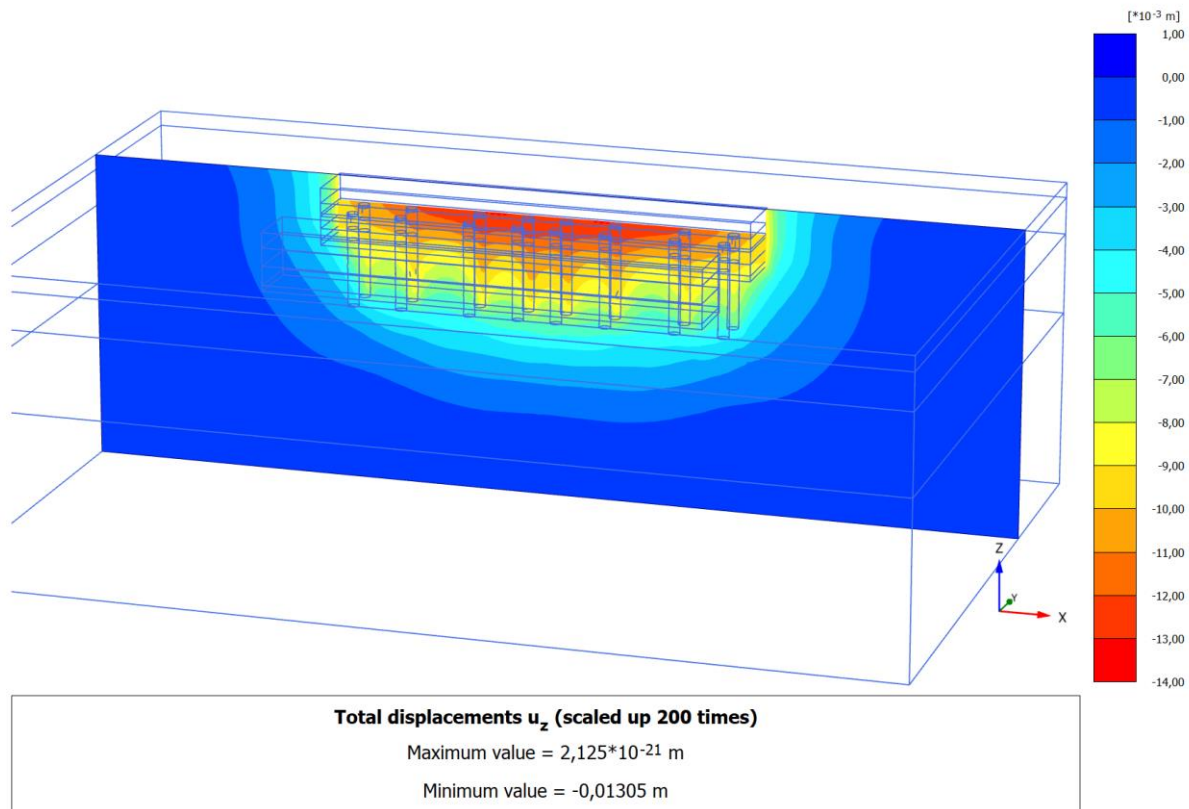


Рисунок 2 – Ізоповхні осідань пальново-плитного фундаменту у розрізі.

Результати свідчать, що використання PLAXIS 3D дозволяє об’єктивно прогнозувати просторову роботу мостових фундаментів, оцінювати напружено-деформований стан і забезпечувати перевірку конструкцій на граничні стани [5]. Застосування пальново-плитних систем дає змогу оптимізувати кількість палей, забезпечити нормативні вимоги до осідань і зменшити вартість будівництва. Для умов післявоєнного відновлення України це є технічно та економічно доцільним рішенням.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на параметричний аналіз впливу кількості, довжини та кроку паль, товщини плити й рівня ґрунтових вод на роботу системи, а також на моделювання динамічних і сейсмічних впливів.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило, що PLAXIS 3D є потужним та універсальним інструментом для моделювання фундаментів мостових споруд, здатним враховувати складну геотехнічну поведінку ґрунтів, поетапність будівництва та просторову взаємодію елементів конструкції. Для розглянутого прикладу мосту на автобані А45 отримано коефіцієнт взаємодії $\alpha_{pr} = 0,68$, що свідчить про ефективну спільну роботу паль і плити. Розраховані осідання, що становлять близько 1 см, відповідають критеріям експлуатаційної придатності мостових фундаментів. Отримані результати демонструють здатність PLAXIS 3D точно відтворювати реальні процеси деформування, забезпечувати достовірний розподіл напружень і сприяти оптимізації конструктивних параметрів фундаментів під час проєктування мостів і відновлення транспортної інфраструктури України.

Література

1. State Agency for Infrastructure Restoration and Development of Ukraine, “Фахівці Агентства відновлення увійдуть до складу Комісії з перевірки технічного стану мостів в Україні [Experts of the Restoration Agency will join the Commission for inspection of the technical condition of bridges in Ukraine],” Agency for Restoration – Blog, 29 Jun. 2023. [Online]. Available: <https://restoration.gov.ua/blog/fahivczi-agentstva-vidnovlennya-uvijdut-do-skladu-komisiyi-z-perevirky-tehnichnogo-stanu-mostiv-v-ukrayini/> (accessed Aug. 27, 2025).
2. Ministry for Development of Communities and Territories of Ukraine, “Комісія з перевірки мостів завершила свою роботу та представила остаточні висновки щодо стану штучних споруд в Україні [The commission for bridge inspection has completed its work and presented the final findings on the condition of engineering structures in Ukraine],” News, Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <https://mtu.gov.ua/news/34627.html> (accessed Aug. 27, 2025).
3. F. F. Chimdesa, F. F. Chimdesa, N. Z. Jilo, A. Hulagabali, O. E. Babalola, T. Tiyasha, K. Ramaswamy, A. Kumar, and S. K. Bhagat, “Numerical analysis of pile group, piled raft, and footing using finite element software PLAXIS 2D and GEO5,” Scientific Reports 13, 15875 (2023).
4. Bentley Systems, PLAXIS 3D 2024.3: General Information Manual, last updated Apr. 3, 2025. [Online]. Available: https://bentleysystems.service-now.com/sys_attachment.do?sys_id=6c1d3ad79751a61081d373b0f053af88 (accessed Aug. 27, 2025).

5. R. Katzenbach and D. Choudhury, ISSMGE Combined Pile-Raft Foundation Guideline (Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2013). ISBN 978-3-942068-06-2.
6. O. A. Abdel-Azim, K. Abdel-Rahman, and Y. M. El-Mossallamy, "Numerical investigation of optimized piled raft foundation for high-rise building in Germany," Innovative Infrastructure Solutions 5, 11 (2020).
7. A. M. J. Alhassani and A. N. Aljorany, "Experimental and numerical modeling of connected and disconnected piled raft," KSCE Journal of Civil Engineering 27, 2442-2454 (2023).
8. P. Deb, B. Debnath, R. B. Reang, and S. K. Pal, "Structural analysis of piled raft foundation in soft soil: An experimental simulation and parametric study with numerical method," Ocean Engineering 261, 112139 (2022).

УДК 625.85

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНУ ЗА ВІД'ЄМНИХ ТЕМПЕРАТУР: ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ

Хомутенко Денис Геннадійович, аспірант кафедри ТДБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: denis.homutenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1226-3601

Існує багато методів вимірювання температурного коефіцієнту лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів, які згідно [1], поділяють на абсолютні та відносні, макроскопічні та мікроскопічні.

Питанням визначення ТКЛР асфальтобетону займалися українські вчені Аксьонов С. Ю., Дорожко Є. В., Невінгловський В. Ф., Онищенко А. М., Різніченко О. С., Ряпухін В. М., Сьоньї Г. К. [2; 3; 4] та закордонні вчені Abbas A. R., Akentuna M., Goetz W. H., Hooks C. C., Kim S. S., Nazzal M., Hou T.-C., Huang S.-J., Hsu C., Islam M. R., Tarefder R. A. [5; 6; 7; 8; 9].

Серед результатів зазначених досліджень існують протиріччя, в тому числі щодо форми залежності ТКЛР від температури, а також не всі методи враховують швидкість охолодження та дозволяють проводити виміри в інтервалі як додатніх так і від'ємних температур.

Lord J. D., Nimmo W., Cooper D. та Morrell R. [10] досліджували можливість використання тензометрії для визначення ТКЛР матеріалів.

Тому розглянуто можливість використання тензометричного методу вимірювання деформації, з температурною корекцією опору тензорезисторів, для визначення ТКЛР асфальтобетону, при охолодженні, за від'ємних температур.

Було розроблено та виконано експеримент, в результаті якого, за допомогою тензорезисторів, було виміряно деформації асфальтобетону спричинені зміною температури.