УДК 624.154

В. Л. Банасько
М. М. Попович

ВПЛИВ ЗМІНИ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто вплив техногенних коливань рівня ґрунтових вод (РҐВ) на урбанізованих територіях на роботу пальових фундаментів. Наведено методику та результати лабораторних випробувань моделей паль у піщаній основі при циклічному водонасиченні та осушенні на стенді кафедри ПЦБ ВНТУ. Встановлено залежність осідань паль від початкової щільності ґрунту та етапів зміни гідравлічного режиму.

Ключові слова: пальові фундаменти, рівень ґрунтових вод, несуча здатність, підтоплення, осідання, фізичне моделювання.

Abstract

This paper examines the impact of anthropogenically induced groundwater level (GWL) fluctuations in urbanized areas on the performance of pile foundations. It presents the methodology and results of laboratory tests conducted on pile models embedded in a sandy soil base, subjected to cyclic saturation and drainage, using a test rig at the Department of Industrial and Civil Construction and Safety (VNTU). The study establishes the relationship between pile settlement, the initial soil density, and the various stages of changes in the hydraulic regime.

Keywords: *pile foundations, groundwater level, bearing capacity, waterlogging, settlement, physical modeling*.

Вступ

На сучасних урбанізованих територіях формується складний, вкрай нестабільний техногенний гідрогеологічний режим. Постійні витоки з водонесучих комунікацій, «баражний» ефект від глибоких підземних споруд (паркінгів, колекторів, тунелів) та екранування поверхні асфальтобетонним покриттям призводять до підтоплення міських земель [1]. Водночас інтенсивне будівельне водовідведення та робота міських водозаборів викликають локальне осушення територій. Внаслідок цього [2] рівень ґрунтових вод (РҐВ) може коливатися на кілька метрів протягом життєвого циклу будівлі.

Такі циклічні зміни докорінно трансформують напружено-деформований стан системи «паля – ґрунтовий масив». Підняття РҐВ створює зважуючу дію води, що зменшує ефективні напруження у ґрунті та знижує розрахунковий опір по бічній поверхні палі (f_i) і під її вістрям (R) [3]. Крім того, водонасичення погіршує міцнісні показники ґрунтів та активізує суфозійне вимивання дрібних частинок. Своєю чергою, зниження РҐВ знімає зважуючу дію води, викликає консолідацію верхніх шарів ґрунту та появу сил негативного тертя, що додатково навантажують палю.

Результати дослідження

Зміна гідрогеологічного режиму міських територій впливає на напружено-деформований стан системи «паля – ґрунтовий масив» за кількома ключовими механізмами:

- Підняття РҐВ (підтоплення): Викликає зважуючу дію води, що зменшує ефективні напруження у ґрунті та знижує опір по бічній поверхні палі (f_i) і під її вістрям (R) [1]. Водонасичення також погіршує міцнісні характеристики ґрунтів (зменшує кут внутрішнього тертя φ та питоме зчеплення c, провокує просідання лесових ґрунтів і суфозійне вимивання дрібних частинок.
- Зниження РҐВ (локальне осушення): Знімає зважуючу дію води, збільшуючи власну вагу верхніх шарів ґрунту. Це викликає консолідацію масиву та появу сил негативного (від'ємного) тертя, які додатково навантажують палю зверху вниз.
- Хімічна агресивність: Міські ґрунтові води часто збагачені техногенними домішками, що прискорює корозію бетону та арматури залізобетонних паль.

Для перевірки характеру деформування паль у незв'язних ґрунтах при коливаннях рівня води необхідне проведення фізичного моделювання на лабораторних установках.

Для дослідження характеру деформування паль у незв'язних ґрунтах при зміні гідравлічного ре-

жиму проведено експериментальні дослідження на лабораторному стенді, розробленому за участю автора на кафедрі промислового та цивільного будівництва (ПЦБ) Вінницького національного технічного університету (рис. 1).

Стенд дає змогу моделювати вертикальні та горизонтальні природні напруження всередині масиву, а також відтворювати реальні експлуатаційні умови роботи основи з палею. Установка складається з прямокутного водотривкого металевого лотка з краном для відведення гравітаційної води, силової рами, важільної системи навантаження зі співвідношенням плечей (1:25) та вимірювальної системи на базі індикаторів годинникового типу, з'єднаних ніхромовими струнами з важелями (рис. 2).



Рис. 1 – Загальний вигляд експериментального стенду: 1 – металевий лоток; 2 – дослідні моделі паль; 3 – важільна система навантаження; 4 – вимірювальна система

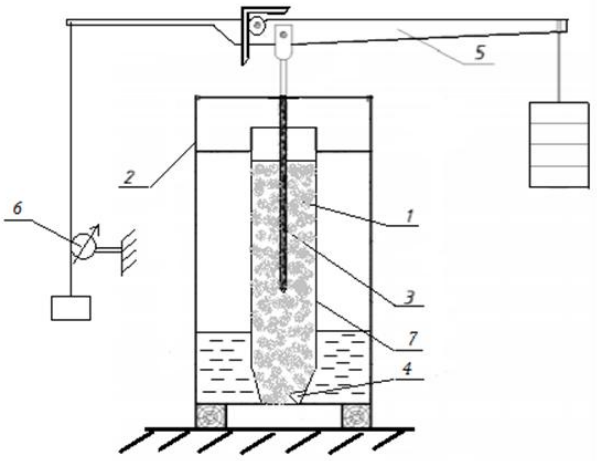


Рис. 2 – Принципова схема випробувань: 1 – незв'язний ґрунт; 2 – лоток; 3 – модель палі; 4 – дренажний отвір; 5 – важіль із вантажем; 6 – індикатор годинникового типу; 7 – ємність для ґрунту (PET)

Як моделі паль використовувалися дерев'яні стержні перерізом 10 ×10 мм і довжиною 200 мм, покриті водостійким лаком. Моделі встановлювалися у циліндричні ємності (PET) із підготовленим ґрунтом основи. Жорсткі стінки ємностей обмежували горизонтальні переміщення ґрунту, імітуючи роботу палі у складі пальового поля з фіксованим кроком, а отвори у дні, закриті дренажною тканиною, забезпечували контрольоване водонасичення та дренаж.

Дослідження проводилися на дрібному кварцовому піску із середнім розміром частинок 0,25 мм. Вплив вологості на фізико-механічні характеристики цього ґрунту подано в таблиці.

Таблиця – Залежність фізико-механічних характеристик піщаного ґрунту від вологості

W, %	c, КПа	φ	γ	E, МПа	ν
0,5	11	38,5	16,5	30	0,3
3,5	6	32,5	16,9		
16,0	4	32,5	19,0		

Підготовка зразків включала пошарове ущільнення піску динамічним навантаженням із ваговим контролем щільності та занурення моделей паль гравітаційним молотом. Після цього ємності встановлювали у лоток, монтували важільну систему та налаштовували прогиноміри.

Експериментальна програма виконувалася у чотири етапи для трьох серій моделей із різною початковою щільністю піщаної основи (Ряд 1 – найщільніша основа, Ряди 2 і 3 – менш щільні основи):

1. Випробування в сухому стані: навантаження паль у повітряно-сухому піску середньої щільності.
2. Первинне водонасичення (капілярне підняття): довантаження моделей до 100 Н та подача в лоток дегазованої води до рівня 2 см від дна. Протягом 8 діб капілярна волога заповнювала пори ґрунту, викликаючи інтенсивне осідання паль.
3. Осушення: зниження рівня води в лотку до нуля та видалення гравітаційної води протягом 2 діб.
4. Повторне підтоплення: підняття рівня води до 2/3 потужності ґрунтової основи з подальшим фіксуванням деформацій до їх стабілізації.



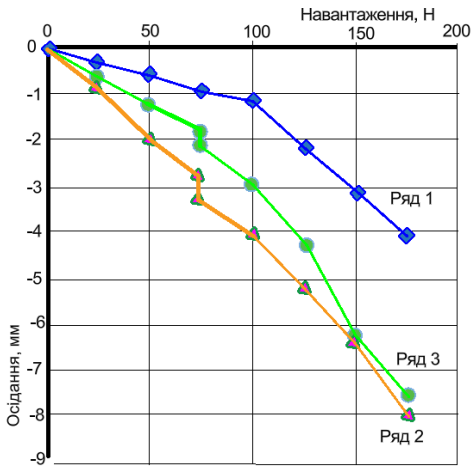


Рис. 3 Результати досліджень

На графіку (рис. 3) видно, що при подачі води на першому етапі (капілярна вода) різко збільшується переміщення паль. Проходить переущільнення ґрунту. При тому паля ряд 1 має менші переміщення порівняно з рядом 2 та 3. Це пояснюється щільністю ґрунту основи, яка по різному реагує на зміну вологості. Після зниження рівня ґрунтової вод продовжується осідання, але з меншими темпами розвитку. Після повторного підвищення рівня ґрунтової води продовжилося осідання, але з темпами, 0,01 мм /добу, що може свідчити про закінчення процесу осідання.

Початковий стан ґрунту перед випробуваннями можна приймати якісним фактором, який виражений щільністю ґрунту і глибиною занурення палі. Розмір поперечного перерізу палі не розглядався, хоча, чим більший розмір поперечного перерізу палі – тим більший об’єм ґрунту вона витіснить при влаштуванні палі, наприклад забивкою.

Висновки

Проведені дослідження показують, що при зміні гідравлічного режиму основи пальового фундаменту, проходить зміна характеристик ґрунту.

В якому випадку вони покращуються, в якому погіршуються, можна буде визначити виконавши більш довготривалі дослідження. Розрахунок несучої здатності пальових фундаментів передбачає великий запас. Не виключено, що в процесі досліджень виявиться, що необхідність оцінки несучої здатності таких паль відпаде, а проєктування незв’язних основ споруд, при зміні гідравлічного режиму, слід виконувати тільки за другою групою граничних станів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування / Мінрегіонбуд України. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 75 с.
2. Ваганов І. І., Маєвська І. В., Попович М. М. Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2014. 267 с. ISBN 978-966-641-591-5.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення / Мінрегіон України. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 36 с.

Рекомендовано до опублікування Кафедрою промислового та цивільного будівництва

Банасько Віталій Леонідович – студент групи Б-25мз, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: banaskovitalij@gmail.com

Попович Микола Миколайович – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: popovychnick@gmail.com

Vitalii Banasko – student of group B-25mz, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : banaskovitalij@gmail.com

Mykola Popovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: popovychnick@gmail.com