

Особливості взаємодії плитних фундаментів значних розмірів з ґрунтовою основою

Ігор БОЙКО¹

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037
¹boyko.ip@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6841-0271>

DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.9-12

Анотація. В даний час актуальним напрямом досліджень в області геотехніки є відновлення та проектування енергетичних об'єктів, які в Україні будували часто на плитних фундаментах (АЕС, ТЕС та інші). Влаштування плитних фундаментів, які мають великі розміри в плані, що зумовлює особливості взаємодії їх з основою. На таких об'єктах проводився великий об'єм експериментальних робіт, на цих результатах і побудова ця публікація. З метою збереження експериментальних даних та виявлених нових факторів взаємодії плит з основою, а саме підйом дна котловану, при забивці паль на будівельному майданчику, за допомогою глибинних марок виявлена стислива зона, яка суттєво відрізняється від реальної (12 м практично проти 28 м розрахована за коефіцієнтами ДБН).

Окремо досліджувалися дилатансійні процеси, які зумовили підйом окремих паль до 30 см, що вимагало з'ясування обставин, що знаходяться під підшою забитих паль і яку роль в формуванні осідання плитного фундаменту це відіграє.

Аналіз напружено-деформованого стану елементів конструкцій кожної будівлі (споруди) завжди треба виявити реальну активну зону деформації. В публікації приведені матеріали аналізу напружено-деформованого стану основи в залежності від розмірів плитних фундаментів, темп прикладання корисного навантаження (на прикладі силосних корпусів). Проведено порівняння глибини стисливої зони під плитою за методом пошарового підсумування (коефіцієнт з ДБН) і фактичною Нст, яка визначалася глибинними марками які були встановлені до глибини



Ігор БОЙКО
професор кафедри геотехніки
д.т.н., проф.

28 м. Після прикладання проектного навантаження, глибинні марки на глибині більше 12 м не реагували.

Показана різниця в взаємодії великорозмірних плит з основою, а також розглянуто варіант при наявності коротких паль, які покращують властивості основи, але не виконують функції передачі напруження на більш глибинні шари ґрунтів.

Наведено приклад підйому котловану, для фундаментних плит АЕС (розміром 70х70 м), з варіантом забивних паль довжина 14,0м перерізом 35х35 см. При виконанні робіт виник підйом дна котловану більше ніж 50 см., а палі виходили за межі підйому на 30 см. Цей факт зумовив додаткові експериментальні роботи для з'ясування, для перевірки наявності під підшою пустоти

З метою популяризації експериментальних даних і збереження досвіду проектування відповідальних об'єктів на плитних фундаментах великих розмірів і підготовлена ця публікація.

Ключові слова. Плитні фундаменти, паля, ґрунтова основа, об'єкти генерації електроенергії.

ВСТУП

В даний час актуальним напрямом досліджень в області геотехніки є відновлення та проектування енергетичних об'єктів, які в Україні (СОУ НАЕК 109:2023, 2023); будувалися часто на плитних фундаментах (наприклад АЕС, ТЕС, силосні корпуси для сипучих матеріалів). В цих умовах важливо повернутися до реальних енергетичних об'єктів, де проводилися експериментальні роботи та були організовані натурні спостереження за такими об'єктами, наприклад Запорізька АЕС, Рівненська АЕС, Хмельницька АЕС, Кримська АЕС (Кримська збудована, але не введена в експлуатацію після аварії на Чорнобильській АЕС), експериментальні дослідження на Одеській АЕС (с. Біляївка). З метою збереження експериментальних даних та передачі досвіду підготовлена ця публікація.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Узагальнення досвіду використання результатів досліджень та експериментальних даних про взаємодію плитних фундаментів значних розмірів (шириною від 15м до 70 м) приведено в багатьох публікаціях (Бойко, 1988). Виявлено суттєві розбіжності в розмірах стисливої зони під плитним фундаментом шириною 3-5 м і під плитами шириною більше 15 м, також необхідно враховувати вплив темпу навантаження на неконсолідованих ґрунтах, що зумовлює значне зростання осідання таких фундаментів. Зростанням в 2 і більше раз, що і зумовлює додатково зробити аналіз причин розбіжностей.

МЕТА РОБОТИ

Показати відмінності взаємодії плитних фундаментів різних розмірів в плані від 15м до 70м, а також виявити особливості взаємодії таких фундаментів з основою. Виявити, які параметри основи, розміри фундаментів в плані, також оцінити вплив інтенсивності навантажень на осідання плитного фундаменту.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

КНУБА (тоді - КІБІ) з перших років будівництва АЕС приймає участь в розробці нормативних документів, проведення експериментальних робіт з виявленням основних факторів, які впливають на передачу навантаження з надземних і підземних конструкціях на основу, а саме:

- - вплив дилатансійної складової та стан основи в процесі влаштування фундаментів;
- - розмір стисливої зони в залежності від розміру фундаментної плити в плані.

Відомо, що зріз (зсув) в ґрунтового середовищі змінює свій об'єм, тобто де відбувся процес дилатансії, або контракції, може проявлятися підйом дна котловану.

На об'єкті будівництва Одеської АЕС (с. Біляївка), в проекті було передбачено влаштування забивних паль довжини 14 м., поперечний переріз 35х35 см. кількість паль 2500 шт. з кроком 1,4 м. Основою служили нашарування піщаних, супіщаних ґрунтів. В процесі забивання паль, розмір ростверку 70х70 м відбувався підйом дна котловану. Після забивання першого ряду паль - підйому дна котловану склав 30см., другий ряд паль подвоїв підйом дна котловану, а після третього ряду підйом склав уже 90см. Роботи по забивці паль зупинили, оскільки зафіксували не тільки підйом дна, але й підйом раніше забитих паль на величину більше 20см. Виникла дискусія, що знаходиться під подошвою паль пустота чи наявність контакту з ґрунтом. З цією метою, за ініціативою КНУБА (тоді - КІБІ) був проведений спеціальний експеримент. Була виготовлена тест-паля, а саме бічну поверхню моделювала металева труба, в якій знаходилася труба меншого діаметру і була вона з'єднана з подошвою палі. Експериментальна паля була заглиблена за проектною технологією. Труба, яка моделювала бічну поверхню і подошва палі рухалися разом, що вказало на відсутність пустоти, а зафіксували рух зовнішньої і внутрішньої труби разом.

Таким чином, проведений експеримент розв'язав сумнів про наявність пустот.

Для певних ґрунтових умов важливим є параметр, який впливає на осідання плитних фундаментів. Розміри в плані плитних фундаментів двох силосних «банок» і робоча башту, які зводились в м. Чернігів. Будівництво велось 2 роки. В перший рік побудували силосний корпус і робочу башту і їх завантажили першими зі значною інтенсивністю, бо це були жнива (липень). Завантаження з великою швидкістю привели до того, що фактично осідання склали більше 32 см проти проектного значення осадки близько 15 см. На другий рік в липні завантажували в той же час, але цього разу контролювали проектне навантаження і результати склали < 15 см. Кожна ступінь проектного навантаження контролювалася, що зумовило покращення влаштованого ґрунтового середовища і в цьому випадку осідання склали лише половину, в першому силосі, оскільки напруження за один цикл не перевищує структури міцності.

На об'єкті була організована робота по виявленню фіксації фактичних розмірів стисливої зони. Для цього було використана методика фіксації активної зони за існуючими нормами Радянського союзу, тобто додаткове напруження множили на коефіцієнт, який не враховував розмір споруди в плані. Для нашого випадку вона складала 28 м від підшви плити. Відповідно на цю позначку були встановлені глибинні марки, які фіксували появу додаткових напружень в цій зоні. Завантажуючи силосний корпус проектним навантаженням, а переміщення глибинних марок зупинилося на глибину 11,5 м, тобто на глибині 0,5 ширина в плані. В цьому випадку метод пошарового підсумування не працює, що ставить питання пошуку нового підходу, а саме перехід на числове моделювання взаємодії елементів системи «основа-фундамент-будівля».

Для отримання надійних результатів для проектування необхідно пройти такий алгоритм:

- ідентифікувати параметри ґрунтової основи (Бойко, 2021);
- вибрати і обґрунтувати моделі взаємодії

елементів системи «основа-фундамент-будівля»;

- обґрунтувати розмір ґрунтової основи, відповідно розмір скінченних елементів і крок навантаження;
- виконати моделювання на тестовій і контрольній задачі;
- розв'язати основну задачу і прийняти геометричні розміри;
- організувати спостереження за реальним процесом взаємодії споруда з основою;
- у випадку наявності значного підземний простору необхідно контролювати підйом дна котловану при інтенсивній роботі котловану.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

При проектуванні фундаментних плит великих розмірів шириною більше 20 м рекомендується виконувати аналіз стисливої зони і враховувати габарити плити. Для варіантів плити з палями, тоді слід перевірити як взаємодіє плита з основою.

Рекомендується спочатку з'ясувати, чи виконують палі свою функцію передачі навантаження через основні елементи; бічна поверхня палі, її підшва, а також через ростверк. Це варіант плити на палях. В другому випадку палі виконують функцію покращення властивостей в ґрунтовому середовищі під фундаментною плитою, активну зону деформації ґрунту створює плита значних розмірів (більше 15м) і палі тільки покращили властивості в межах довжини палі.

Підйом дна котловану зумовлюють об'ємом матеріалів паль, а також зміна об'єму при зрізанні ґрунту по бічній поверхні паль, це вклад дилатансійних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко И.П. (1988) *Свайные фундаменты на нелинейно-деформируемом основании* (Дис. ... д-ра техн. наук). НИИОСП. Москва.
2. Бойко І.П., Скочко (Бондарева) Л.О., & Хоронжевський. М. В. (2021) Ідентифікація параметрів ґрунту на основі натурних випробувань паль. *Основи та фундаменти:*

Науково-технічний збірник, 42. С. 9-18. DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.9-18.

3. Експлуатація технологічного комплексу. Моніторинг будівельних конструкцій АЕС. Загальні вимоги: СОУ НАЕК 109:2023. (2023). Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом».

REFERENCES

1. Boyko I.P. (1988). *Svajnye fundamenty na nelinejno-deformiruemom osnovanii* [Pile foundations on a non-linearly deformable base]. *Dys. doktora tekhn. nauk. NIIOSP. Moscow.* (in Russian).
2. Boyko I.P, Skochko (Bondareva) L.O, & Khoronzhevskiy M.V (2021). *Identifikatsia parametriv gryntiv na osnovi rezyltativ natyrmih vuprobuvan pal* [Identification of soil parameters based on the results of field tests of piles]. *Osnovu ta fundamenty: Naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*, 42, 9-18 (in Ukrainian). DOI: 10.32347/0475-1132.42.2021.9-18.
3. *Ekspluatatsiya tekhnolohichnoho kompleksu. Monitorynh budivel'nykh konstruktsiy AES. Zahal'ni vymohy: [Operation of the technological complex. Monitoring of NPP building structures. General requirements]* SOU NAEK 109:2023. (2023). *Derzhavne pidpryyemstvo «Natsional'na atomna enerhoheneruyucha kompaniya «Enerhoatom».* (in Ukrainian).

Specific features of interaction of massive slab foundations with the soil

Igor BOYKO

Summary At this time, the actual direction of research in the geotechnical sciences is the rehabilitation and design of energy objects, which in Ukraine were often built on slab foundations (NPPs, TPPs and others) The arrangement of slab foundations, which are large in plan, which determines the peculiarities of their interaction with the base. A large quantity of experimental work was carried out at such objects, and this publication is based on these results. In order to preserve the experimental data and identify new factors of interaction between slabs and the base, namely the rise of the bottom of the pit, when driving piles at the construction site, the compressible zone was identified with the help

of depth marks, which differs significantly from the real one (12 m practically against 28 m calculated by the DBN coefficients).

The dilatancy processes that caused the rise of individual piles up to 30 cm were studied separately, which required clarification of the circumstances under the sole of driven piles and the role it takes in the formation of slab foundation settlement.

The analysis of the stress-strain state of structural elements of each building (structure) always requires identifying the real active deformation zone. The publication presents the materials of the analysis of the stress-strain state of the base depending on the size of slab foundations and the rate of payload application (for example, silo buildings). A comparison of the depth of the compressible zone under the slab using the method of layer-by-layer summation (coefficient from DBN) and the actual Hst, which was determined by depth marks installed to a depth of 28 m, was carried out. After the design load was applied, the depth marks did not respond at a depth of more than 12 m.

The difference in the interaction of large-sized slabs with the foundation is shown, and the option of short piles, which improve the properties of the foundation but do not perform the function of stress transfer to deeper soil layers, is considered.

An example of pit lifting for NPP foundation slabs (70x70 m in size) with the option of driven piles 14.0 m long with a cross section of 35x35 cm is presented. During the works, the bottom of the pit rose by more than 50 cm, and the piles exceeded the rise by 30 cm. This fact led to additional experimental work to find out whether there was a void under the sole

In order to popularize the experimental data and preserve the experience of designing critical facilities on large slab foundations, this publication was prepared.

Keywords. Slab foundations, piles, base, electricity generation plants.