

УДК 624.1

Є.А. Загоруйко; С.О. Лозовий,
НТУ "КПІ", м. Київ

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ДЕФОРМАЦІЙ

АНОТАЦІЯ

Виконано імітаційне моделювання статичних випробувань паль за допомогою програми Plaxis 3D Foundation. Результатом даного моделювання є графіки залежності осідання палі від навантаження, ці результати порівнюються з результатами, отриманими при натурних статичних випробуваннях паль. Також наведені коефіцієнти кореляції окремо для навантаження та розвантаження паль.

Ключові слова: фундаменти, палі, несуча здатність, осадка, моделювання, методи розрахунку, Plaxis 3D.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Перед початком будівництва будівель та споруд, у яких в якості фундаментів використовують палі, обов'язково необхідно провести не менше двох контрольних статичних випробувань паль. Існуючі методи розрахунку несучої здатності пальових фундаментів, розрахунку осідання пальових фундаментів є досить громіздкими та потребують багато часу на їх проведення. Імітаційне моделювання пальових фундаментів у комп'ютерній програмі Plaxis 3D Foundation дозволяє скоротити час на розрахунок осідань палі, дозволяє змоделювати пальовий куц з анкерними палями та визначити їх оптимальну довжину та діаметр, провести моделювання статичних випробувань паль в різних частинах будівельного майданчика в різних ґрунтових умовах з метою скорочення витрати коштів та часу на влаштування пальових куців та проведення випробувань.

Аналіз досліджень та публікацій. За останні роки в розвитку методів розрахунків, проектування та будівництва пальових фундаментів досягнуто значного прогресу. Науковці в співдружності з фахівцями проектних і будівельних організацій узагальнили накопичений досвід застосування паль у різних ґрунтових умовах, провели великий обсяг експериментальних і теоретичних досліджень, розробили нові або вдосконалили діючі методи розрахунків і

проектування пальових фундаментів. Одним з останніх вкладів став вихід ДБН В.2.1-10-2009 "Основи та фундаменти споруд" зі зміною 1. Значний вклад у проектування та розрахунок пальових фундаментів роблять іноземні вчені, зокрема створення програми Plaxis 3D Foundation та публікацій із дослідження можливостей цієї програми [1-3].

Постановка завдання дослідження. Завданням даної роботи є дослідження нових методів моделювання пальових фундаментів у програмі Plaxis 3D Foundation, визначення осідання паль, вплив анкерних паль на контрольну палю та порівняння результатів з методами розрахунку несучої здатності паль і визначення осідання палі згідно з вимогами ДБН В.2.1-10-2009 "Основи та фундаменти споруд" та СНиП 2.02.03-85 "Свайные фундаменты".

Викладення матеріалу та результати. У якості вихідних даних для дослідження було взято результати чотирьох контрольних статичних випробувань паль.

Буроін'єкційні палі №1 та №2 \varnothing 620 мм, довжиною — 23,5 м було влаштовано при будівництві багатоповерхових житлових будинків на території житлового масиву Осокорки Північні в Дарницькому районі м. Києва. Випробування були проведені у листопаді 2010 року.

Буроін'єкційну палю №3 \varnothing 620 мм, довжиною — 9 м було влаштовано при будівництві паркінгу в ДП "Міжнародний аеропорт "Бориспіль". Випробування були проведені у травні 2011 року.

Забивну металеву палю \varnothing 1000 мм, довжиною — 25 м було влаштовано на будівництві нового об'єкта "Укриття" в м. Чорнобиль. Випробування — червень 2010 року.

Фізико-механічні характеристики ґрунтів та схеми розташування паль у куцах представлені у таблицях 1-4 та на рисунку 1 відповідно.

Були проведені розрахунки несучої здатності трьох буроін'єкційних паль згідно ДБН В.2.1-10-2009 "Основи та фундаменти споруд" та "Руководство по проектированию свайных фундаментов. НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР", також були проведені розрахунки осідання паль від статичних навантажень за методом пошарового підсумовування осідань згідно ДБН В.2.1-10-2009.

Проведене імітаційне моделювання статичних випробувань паль за програмою Plaxis 3D Foundation, результатом даного моделювання є графіки залежності осідання палі від навантаження, ці результати порівнюються з результатами, отриманими

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики ґрунтів, що прорізані буроін'єкційною палею №1

№ палі	Назва ґрунту	Щільність	Коефіцієнт фільтрації	Коефіцієнт Пуассона	Модуль деформації	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя
		γ	k	ν	E	C	φ
		[кН/м ³]	[м/добу]		[кПа]	[кПа]	[°]
1	Намитий ґрунт	17,6	10	0,3	16000	1	30
2	Пісок дрібний середньої щільності	18,8	5	0,3	34000	1	31
3	Пісок середньої крупності щільний	19,5	6	0,3	55000	1	34
4	Супісок	17,5	0,5	0,31	8000	7	19
5	Суглинок	19,5	0,05	0,35	9000	13	17
6	Суглинок з вмістом органічних речовин	15,5	0,05	0,35	6000	15	17

Таблиця 2. Фізико-механічні характеристики ґрунтів, що прорізані буроін'єкційною палею №2

№ палі	Назва ґрунту	Щільність	Коефіцієнт фільтрації	Коефіцієнт Пуассона	Модуль деформації	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя
		γ	k	ν	E	C	φ
		[кН/м ³]	[м/добу]		[кПа]	[кПа]	[°]
1	Намитий ґрунт	17,6	10	0,3	16000	1	30
2	Пісок дрібний середньої щільності	18,8	5	0,3	34000	1	31
3	Пісок середньої крупності щільний	19,5	6	0,3	55000	1	34
4	Супісок	17,5	0,5	0,31	8000	7	19
5	Суглинок	19,5	0,05	0,35	9000	13	17
6	Суглинок з вмістом органічних речовин	15,5	0,05	0,35	6000	15	17

Таблиця 3. Фізико-механічні характеристики ґрунтів, що прорізані буроін'єкційною палею №3

№ палі	Назва ґрунту	Щільність	Коефіцієнт фільтрації	Коефіцієнт Пуассона	Модуль деформації	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя
		γ	k	ν	E	C	φ
		[кН/м ³]	[м/добу]		[кПа]	[кПа]	[°]
2	Пісок дрібний, щільний	18,5	5	0,3	30000	1	32
3	Супісок лесовидний твердий	16,3	0,5	0,31	17000	30	25
4	Супісок	16,5	0,5	0,31	20000	18	25
6	Пісок дрібний, щільний	19	5	0,3	40000	1	32
8	Суглинок	18,5	0,05	0,37	22000	20	18

Таблиця 4. Фізико-механічні характеристики ґрунтів, що прорізані забивною металевою палею

№ палі	Назва ґрунту	Щільність	Коефіцієнти фільтрації	Коефіцієнт Пуассона	Модуль деформації	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя
		γ	k	ν	E	C	\square
		[кН/м ³]	[м/добу]		[кПа]	[кПа]	[°]
1	Наситний ґрунт	18	10	0,3	20000	5	30
2	Пісок річковий	18	6	0,3	35000	5	33
3	Пісок річковий	18	6	0,3	25000	5	33
4	Пісок річковий(мулистий)	18	4	0,3	5000	18	22
5	Пісок дрібний	17	5	0,3	45000	3	22
6	Пісок мулистий	17	4	0,3	8000	4	32
7	Пісок середньої крупності	17	5	0,3	13000	3	35
8, 9	Пісок дрібний та середньої крупності	17	6	0,3	13000	3	33
10	Мергелева глина	15,3	0,005	0,35	80000	38	23

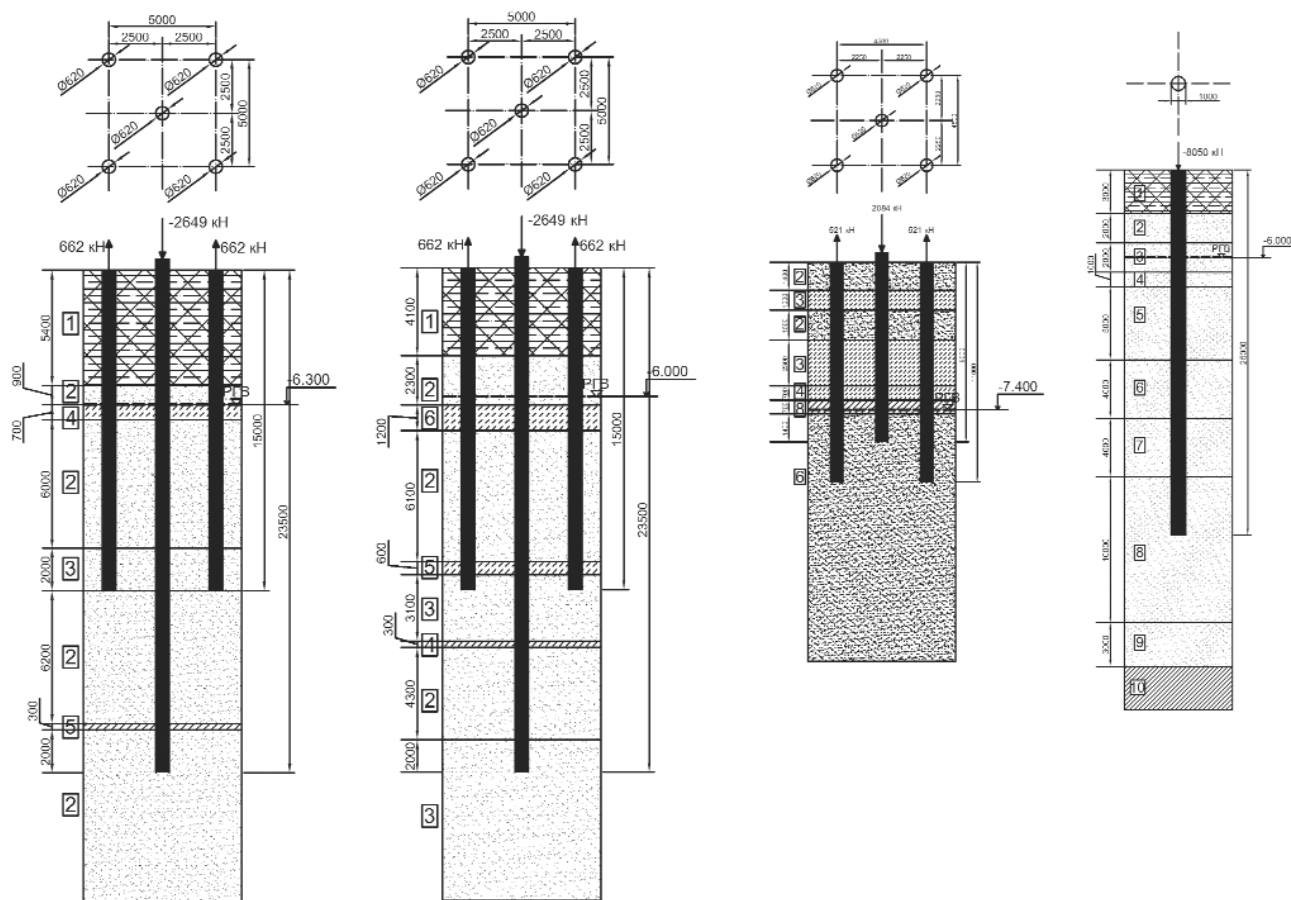


Рис. 1. Геологічні розрізи зі схемою розміщення палей у куцах

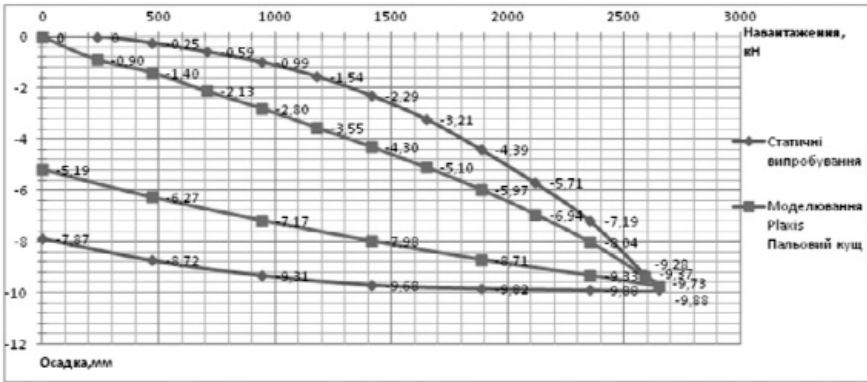


Рис. 2. Буроін'єкційна паля № 1

Коефіцієнти кореляції:	
Навантаження	0,978
Розвантаження	0,948

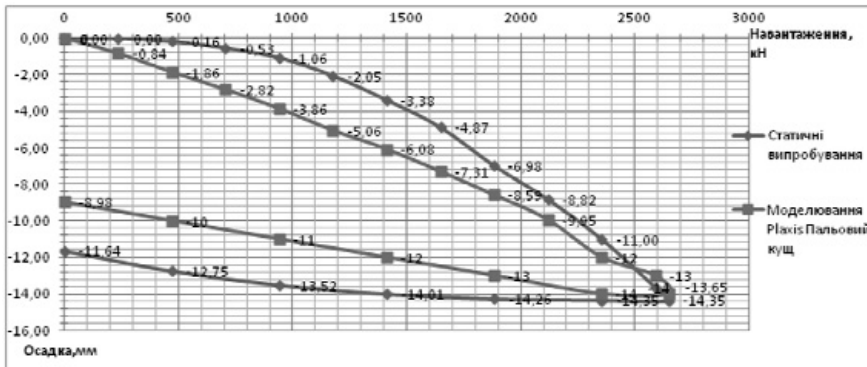


Рис. 3. Буроін'єкційна паля № 2

Коефіцієнти кореляції:	
Навантаження	0,977
Розвантаження	0,941

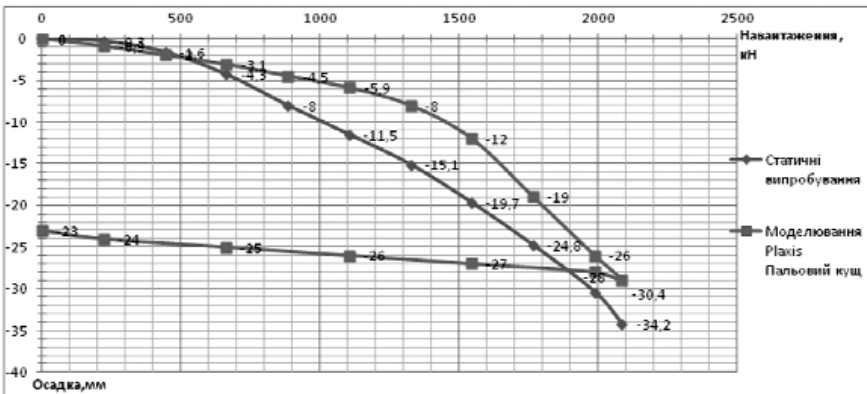


Рис. 4. Буроін'єкційна паля № 3

Коефіцієнти кореляції:	
Навантаження	0,979
Розвантаження	-

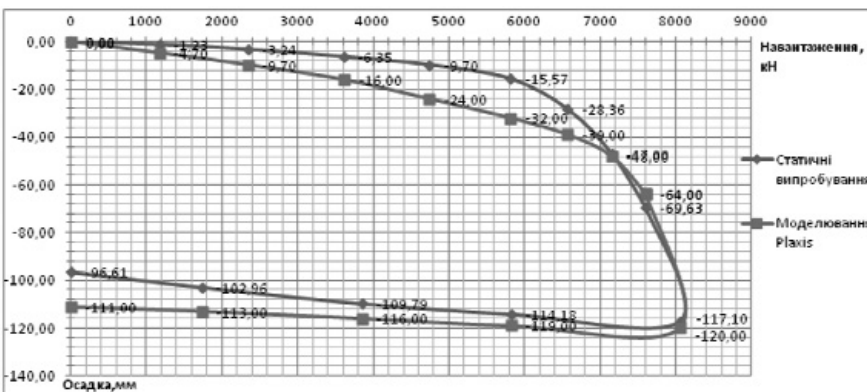


Рис. 5. Буроін'єкційна паля № 4

Коефіцієнти кореляції:	
Навантаження	0,985
Розвантаження	0,992

Таблиця 5.

№ палі	Несуча здатність палі, визначена розрахунком за ДБН В.2.1-10-2009, кН	Несуча здатність палі, визначена розрахунком за СНиП 2.02.03-85	Несуча здатність палі, визначена за результатами статичних випробувань, кН	Максимальне осідання палі від прикладеного навантаження при статичних випробуваннях, мм	Осідання палі, розраховане за методом пошарового підсумовування за ДБН В.2.1-10-2009, мм	Максимальне осідання палі від прикладеного навантаження при моделюванні статичних випробувань Plaxis 3D, мм
1	2725	2089	2207,5	-9,88	-8,03	-9,73
2	2808,5	2146	2207,5	-14,35	-11,06	-13,65
3	1297	1056	1737	-34,20	-32,62	-30,40
4	—	—	—	-117,10	—	-120,00

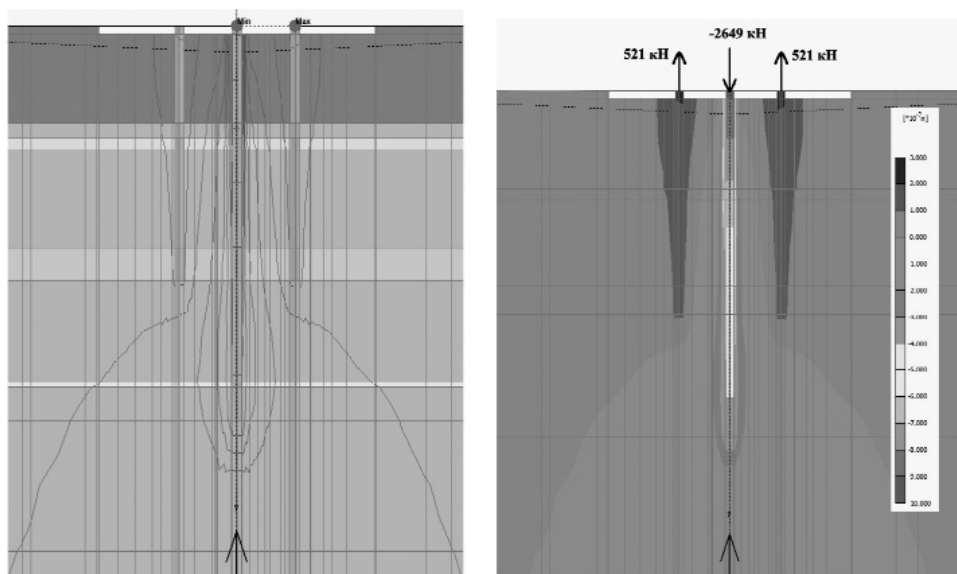


Рис. 6. Розповсюдження деформацій у ґрунті при імітаційному моделюванні статичних випробувань пальового куца досліджуваної палі №1.

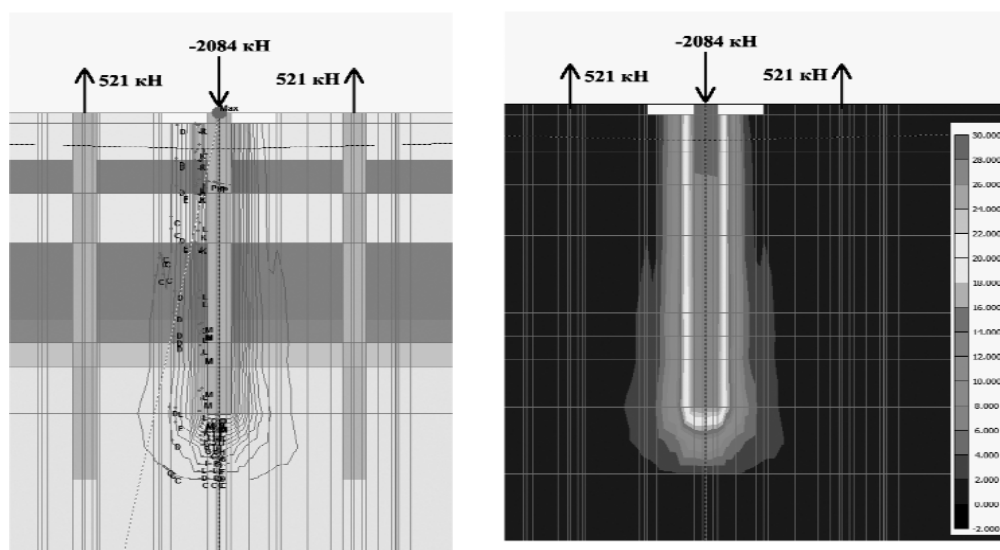


Рис. 7. Розповсюдження деформацій у ґрунті при імітаційному моделюванні статичних випробувань пальового куца досліджуваної палі №3.

за натурних статичних випробувань паль на графіках (рисунки 2-5). Також наведені коефіцієнти кореляції окремо для навантаження та розвантаження паль. Червоні графіки показують осідання при моделюванні статичних випробувань паль методом скінченних елементів у програмі Plaxis 3D Foundation 1.6. Сині графіки показують осідання, визначені у польових випробуваннях паль статичними навантаженнями.

Порівняння результатів визначення несучої здатності за результатами статичних випробувань згідно з ДБН В.2.1-10-2009 та СНиП 2.02.03-85, величини осідання паль в натурних статичних випробуваннях, розрахованих значень осідання за ДБН В.2.1-10-2009 та розрахованих значень за програмою Plaxis 3D Foundation 1.6 наведено у таблиці 5.

Проведене імітаційне моделювання статичних випробувань чотирьох паль, що розглядаються у програмі Plaxis 3D Foundation, за результатами якого отримані графіки залежності осідання палі від навантаження. Графіки, складені при імітаційному моделюванні, порівнюються із графіками реальних польових статичних випробувань. Середній коефіцієнт кореляції складає 0,98, а різниця між максимальними значеннями осідання в середньому 5%, що свідчить про високу достовірність даних, отриманих при імітаційному моделюванні.

Точність визначення несучої здатності осідання паль програмою Plaxis 3D Foundation при статичних навантаженнях є більшою ніж при розрахунках, виконаних за методами ДБН В.2.1-10-2009. Відхилення розрахованих значень осідання паль методом пошарового підсумовування від контрольних випробувань становить 15,7%.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Отримані результати дозволяють рекомендувати Plaxis 3D Foundation при імітаційному моделюванні статичних випробувань паль у різних ґрунтових умовах будівельного майданчика з метою скорочення витрат на додаткові польові випробування, розрахунку несучої здатності паль, розрахунках осідання пальових фундаментів та побудови графіків залежності осідання палі від навантаження.

Також імітаційне моделювання програмою Plaxis 3D Foundation дозволяє скоротити час розрахунку пальових фундаментів, підвищити ефективність, достовірність та інформативність розрахунку, зменшити витрати на виконання додаткових натурних випробувань та визначити оптимальні розміри пальових фундаментів та анкерних паль при

випробуваннях і проводити імітаційне моделювання необхідної кількості випробувань паль статичними навантаженнями у різних частинах будівельного майданчика та у різних ґрунтових умовах за умови збігу результатів двох необхідних польових випробувань паль та імітаційного моделювання цих випробувань на будівельному майданчику.

ЛІТЕРАТУРА

1. *3D Foundation Version 1.5. Edited by R.B.J. Brinkgreve and W. Broere, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands.*
2. *"Numerical simulations and parametric study of SDCM and DCM piles under full scale axial and lateral loads as well as under embankment load", Author: D.T. Bergado , T. Suksawat , P. Jamsawang , P. Voottipruex, April, 2010.*
3. *"FE-Analysis of piled and piled raft foundations", Author: J. S. Lebeau, August, 2008.*
4. *ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 "Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування". - К: Мінрегіонбуд України, 2011.*
5. *СНиП 2.02.03-85 "Свайные фундаменты".*
6. *Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1980.*

АННОТАЦІЯ

Выполнено имитационное моделирование статических испытаний свай с помощью программы Plaxis 3D Foundation. Результатом данного моделирования являются графики зависимости оседания сваи от нагрузки, эти результаты сравниваются с результатами, полученными при натурных статических испытаниях свай. Также приведены коэффициенты корреляции отдельно для нагрузки и разгрузки свай.

Ключевые слова: фундаменты, сваи, несущая способность, осадка, моделирование, методы расчетов, Plaxis 3D.

ANNOTATION

Simulation of static tests of piles using Plaxis 3D Foundation. The result of this simulation is a plot of settling piles on the load, these results are compared with the results obtained in the natural static testing of piles. Also shows the correlation coefficients separately for loading and unloading piles.

Key words: pile foundations, carrying capacity, static load tests, modeling, methods of calculation, Plaxis 3D.