

Фізичне моделювання занурення сталевих трубчастих паль у піщаний ґрунт

Михайло Дубровський¹, Владислава Дубравіна²

Одеський національний морський університет
34, вул. Мечникова, Одеса, Україна, 65029

¹m.dubrovsky@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1229-1717,
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7801536288>

²dubravina@hotmail.com

DOI: 10.32347/0475-1132.41.2020.14-21

Анотація. Сучасні морські транспортні споруди часто включають сталеві трубчасті палі суттєвої довжини (порядку 80-100 м і більше), які повинні забезпечувати високу несучу здатність у випадку прикладення зовнішніх осьових навантажень. Однією з цікавих особливостей поведінки довгих трубчастих паль є формування ґрунтової пробки на нижньому кінці палі. Для збільшення несучої здатності паль при статичному вдавлюючому навантаженні в деяких практичних випадках був застосований додатковий елемент у вигляді внутрішньої діафрагми. Дане дослідження направлено на вивчення двох взаємопов'язаних процесів при зануренні сталеві трубочасті палі: утворення ґрунтової пробки на нижньому кінці відкритої палі та поведінка ґрунту під діафрагмою, закріпленою всередині трубочасті палі. В лабораторних умовах на моделях вивчена робота сталеві трубочасті палі в процесі її занурення статичним вдавлюючим навантаженням в піщаний ґрунт. Виявлені фактори, що впливають на взаємодію елементів системи «пальова опора-ґрунтове середовище» при дії осьової сили. В даній статті наведені дані, що характеризують процес утворення ґрунтової пробки у нижнього (відкритого) кінця палі. Особливості формування другої ґрунтової пробки під внутрішньою діафрагмою будуть представлені в подальших публікаціях. Отримані результати можуть бути застосовані для збільшення несучої здатності палі чи для обґрунтування зменшення довжини палі.

Як доведено попередніми дослідженнями, однією з цікавих особливостей поведінки довгих трубчастих паль є формування ґрунтової пробки у нижнього кінця палі. З цієї точки зору



Михайло Дубровський
завідувач кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація»
д.т.н., професор



Владислава Дубравіна
аспірантка кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація»

важливо вивчити вплив ґрунтової пробки не тільки на несучу здатність на нижньому кінці палі, але також і на поведінку ґрунту всередині палі. Показано, що в дрібно-піщаних ґрунтах пробка утворюється на порівняно ранній стадії занурення палі (в розглянутому випадку – при глибині занурення біля 4-5 діаметрів паль). Процес формування ґрунтової пробки у нижнього кінця трубочасті палі при її зануренні супроводжується зниженням рівня поверхні ґрунту в стовбурі палі відносно його початкового значення (по завершенню формування пробки рівень поверхні ґрунту в стовбурі палі стабілізується).

Ключові слова: сталеві трубчасті палі, ґрунтова пробка, внутрішня діафрагма, несуча здатність палі, лабораторні випробування моделі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні морські транспортні та офшорні споруди, такі як причали глибоководного порту, нафтогазові платформи, рейдові та офшорні стаціонарні одностовбові причали, підводні нафтоховища та інші, часто включають в якості основних несучих елементів сталеві трубчасті палі значної довжини (80-100 м і більше). Такі трубчасті палі повинні забезпечувати високу несучу здатність у разі прикладення зовнішніх осьових навантажень [1, 2, 3, 6].

У разі необхідності несучої здатності довгих трубчастих палей можна збільшити різними методами:

- забиваючи палю з закритим кінцем, щоб підвищити опір під нижнім кінцем (але це вимагає застосування занадто потужних молотів)

- шляхом занурення палі на більшу глибину до досягнення шарів несучого ґрунту (але такі занурення часто набагато більші, ніж ті, що потрібні для стійкості проти бічного навантаження)

- заливанням розчину під кінцем палі (але операції з очищення палі від ґрунту та заливання розчином є повільними та відносно дорогими)

- шляхом приварювання жорсткої діафрагми зі сталевієї пластини по внутрішній частині палі для збільшення несучої здатності за рахунок реакції ґрунту під діафрагмою (такий метод демонстрував добрі результати в деяких морських проектах та отримав позитивні рекомендації [5]).

Останній підхід (закриття стовбуру палі) виглядає досить привабливо для будівництва причалів глибоководного порту, морської та офшорної інженерії, але потребує детального розгляду та вивчення особливостей методу, відповідної сфери застосування, деталей конструкції жорсткої діафрагми та правильного її розташування вздовж порожнини палі.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рекомендована технологія встановлення внутрішньої жорсткої діафрагми була опи-

сана М. Томлінсоном та Дж. Вудвардом (M. Tomlinson & J. Woodward, 2008) [6] (Рис. 1).

У жорсткої діафрагми необхідний отвір для скидання тиску води в ґрунтовій пробці та для витіснення мулу. Напруження на нижній стороні діафрагми високі під час занурення і тому потрібні радіальні ребра жорсткості.

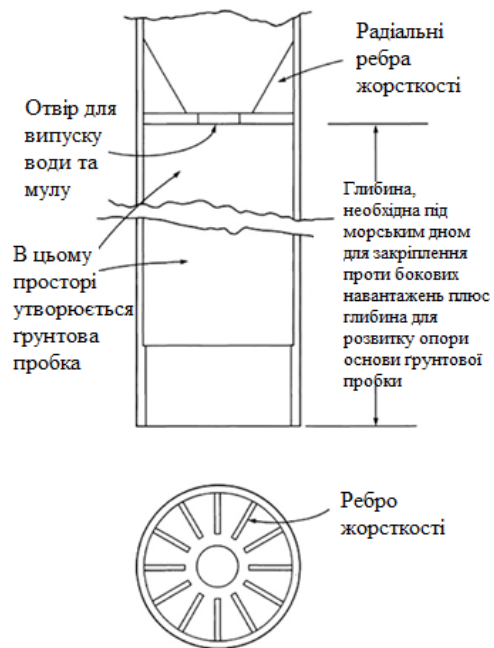


Рис.1. Сталева трубчаста палля з діафрагмою (джерело [6])

Fig.1. Steel Tubular pile with diaphragm (from ref. [6])

Мінімальна глибина над низом палі для розміщення жорсткої діафрагми - це глибина занурення нижче морського дна, необхідна для стійкості проти бічних навантажень. Однак необхідне подальше занурення палі для ущільнення ґрунту всередині пробки та для розвинення необхідного опору основи.

Отже, розглядаються два місця для формування двох ґрунтових пробок під час занурення трубчастої палі: на відкритому кінці палі та під внутрішньою діафрагмою.

Але ще один висновок згаданих авторів [6] («Неможливо досягти опору, еквівалентного палі з закритим кінцем») вважається дискусійною думкою. Варто порівняти ефект двох ґрунтових пробок із варіантом з закритим кінцем.

В якості прикладу практичного застосування діафрагми можна посилатися на пальові роботи на розвантажувальному вугільному терміналі Хадери, що біля Хайфи [6]. Були запропоновані палі з відкритим кінцем діаметрами 1424 і 1524 мм, але початкове забивання показало, що для розвитку необхідного осевого опору потребується дуже велика глибина занурення, до 70 м нижче морського дна у вапнякових пісках. Діаграма кількості ударів показала досить низький опір на глибині 36 м нижче морського дна. Потім були проведені випробування методом влаштування діафрагми. Діафрагма з отвором 600 мм, що забезпечувала перекриття поперечного перерізу на 83%, була вставлена на глибині 39 м нижче морського дна, а ще одне випробування з отвором діаметром 300 мм (закриття 95%) показало більш високий опір на 37 м. Передбачалося, що таке підвищення несучої здатності палі було обумовлене формуванням ґрунтових пробок нижче вказаних діафрагм.

Виходячи з того, що очевидний практичний ефект був досягнутий використанням жорсткої діафрагми, є намір вивчити особливості розглянутого підходу та отримати пов'язані якісні та кількісні параметри.

Що стосується способу встановлення палі, існує думка, що традиційні підходи (використання ударного молота або віброзанурювача) недостатньо надійні, щоб забезпечити безпеку жорсткої діафрагми, закріпленої зварюванням всередині стовбура палі і взаємодіючої з ґрунтом під діафрагмою. Щоб уникнути динамічних дій на діафрагму під час занурення палі, ми вважаємо за доцільне розглянути більш безпечний, але ефективний метод прикладання статичних навантажень шляхом вдавлювання палі.

МЕТА І МЕТОДИ

Для того, щоб розглянути вищенаведені питання, необхідно провести серії експериментальних досліджень для того, щоб ви-

значити найефективніше положення жорсткої діафрагми, при якому спостерігається найбільше зростання несучої здатності палі. Представляється, що найбільш ефективним вплив внутрішньої діафрагми може бути при такому її розташуванні, коли зона ущільненого ґрунту під діафрагмою увійде в силову взаємодію з ґрунтовою пробкою у нижнього (відкритого) кінця палі. У зв'язку з цим в подальшому доцільне вивчення цих двох процесів не тільки в експериментах на моделях, але і теоретично (з врахуванням результатів експериментальних досліджень). В даній статті розглядаються особливості формування ґрунтової пробки у нижнього кінця моделі трубчастої палі з тим, щоб в подальших дослідженнях пов'язати їх з процесом ущільнення ґрунту в стовбурі палі під жорсткою діафрагмою і вийти на єдину теоретичну модель, що описує ці два процеси, що одночасно відбуваються в трубчастій палі.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як доведено попередніми дослідженнями, однією з цікавих особливостей поведінки довгих трубчастих палей є формування ґрунтової пробки у нижнього кінця палі [4, 5]. З цієї точки зору важливо вивчити вплив ґрунтової пробки не тільки на несучу здатність на нижньому кінці палі, але також і на поведінку ґрунту всередині палі [6].

Враховуючи той очевидний ефект (збільшення несучої здатності палі), досягнутий за рахунок застосування жорсткої діафрагми, потрібно було вивчити особливості розглянутого підходу за допомогою модельних статичних випробувань в лабораторних умовах. Метою було отримати параметри, що описують розглянутий процес занурювання палі – як якісні (що відносяться до процесу в цілому), так і кількісні (характерні для застосованої модельної системи «палія-ґрунт»).

Що стосується способу занурення палі в наших експериментальних дослідженнях, то щоб уникнути динамічних впливів на діафрагму під час занурення палі, ми застосували більш безпечний, але ефективний

метод прикладення вдавлюючого навантаження, використовуючи механічний домкрат [5].

Щоб розглянути вищенаведені моменти, пов'язані з трубчастою палею з внутрішньою діафрагмою, ми провели серії експериментальних досліджень в геотехнічній лабораторії кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету (Одеса, Україна).

Для випробування паль використовували ґрунтовий лоток розмірами: ширина 600 мм, довжина 750 мм, глибина 1100 мм (рис. 2). Для моделі трубчастої сталеві палі застосували сталеву трубу із зовнішнім діаметром $d=50$ мм, товщиною стінки 1 мм, довжиною $l=800$ мм. Для занурення труби в дрібний пісок застосували механічний домкрат (Рис. 3).

Для експериментальних досліджень використовувався дрібний пісок з наступними характеристиками: кут внутрішнього тертя 33° , щільність $14,5 \text{ кН/м}^3$, коефіцієнт пори-

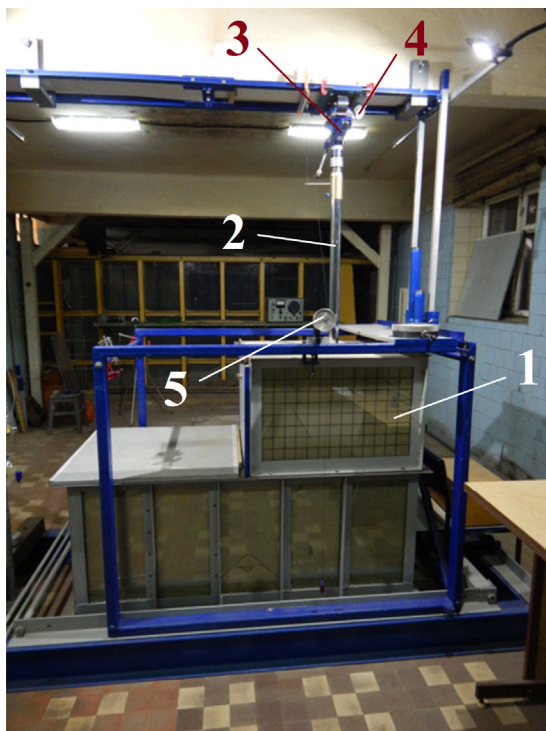
стості 0,71, вологість 0,07%, Модуль Юнга 16 МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3.

Перша серія експериментів була направлена на визначення умов утворення ґрунтової пробки на нижньому кінці палі з відкритим кінцем.

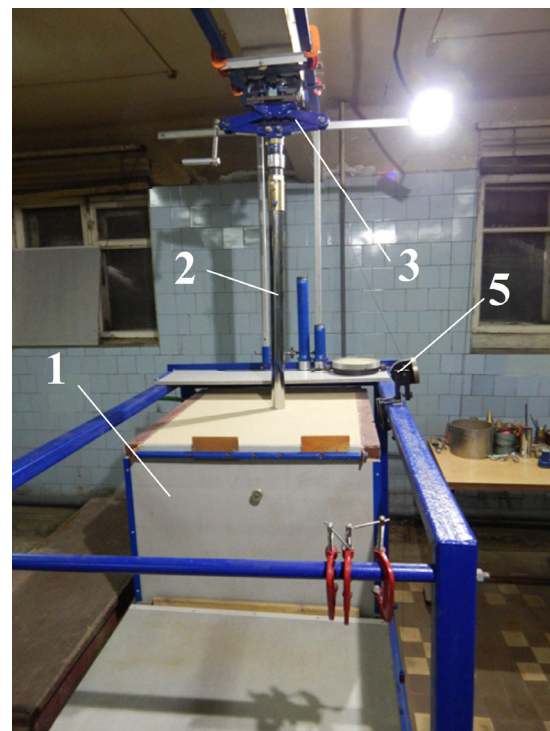
Вимірювані параметри (на кожному етапі прикладення навантаження):

- прикладене вертикальне осьове зусилля;
- глибина занурення палі
- рівень ґрунту всередині моделі палі (вихідне положення фіксувалося при рівності рівнів ґрунту всередині та зовні палі).

В ході проведення експериментів нами було припущено, що як доказ завершення процесу формування ґрунтової пробки можна вважати рівні вертикальні зміщення палі та пов'язані з ними осадки піщаної поверхні всередині порожнини палі на кожному етапі подальшого прикладення осьового навантаження (відповідні діаграми представлені на рисунках 4, 5).



а)



б)

Рис. 2. Експериментальна установка: а) вид збоку; б) вид спереду; 1 – ґрунтовий лоток; 2 – модель палі; 3 – механічний домкрат; 4 – динамометр; 5 – індикатор зміщень

Fig.2. Experimental facility: a) side view; b) front view; 1 - soil box; 2 – model pile; 3- mechanical jack; 4 – dynamometer; 5 – displacements gauge

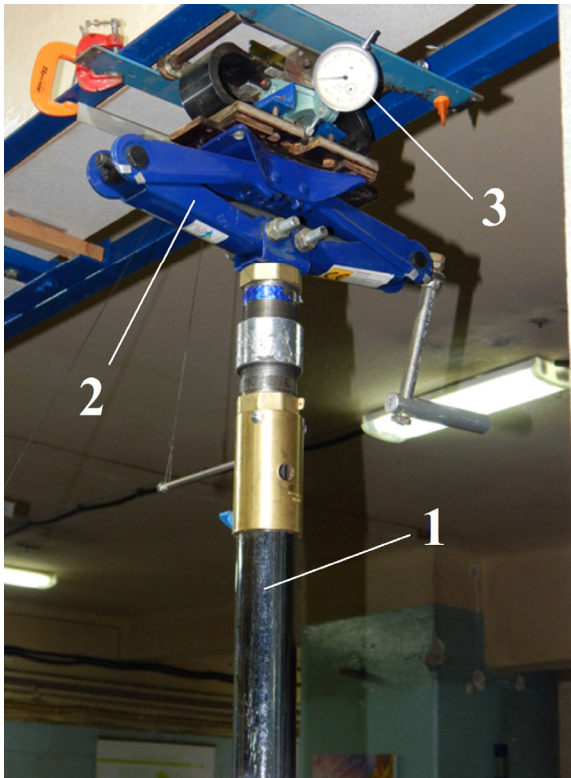


Рис. 3. Навантажувальна система: 1 – модель палі; 2 – механічний домкрат; 3 – динамометр
 Fig. 3. Loading system: 1 - model pile; 2 - mechanical jack; 3 - dynamometer

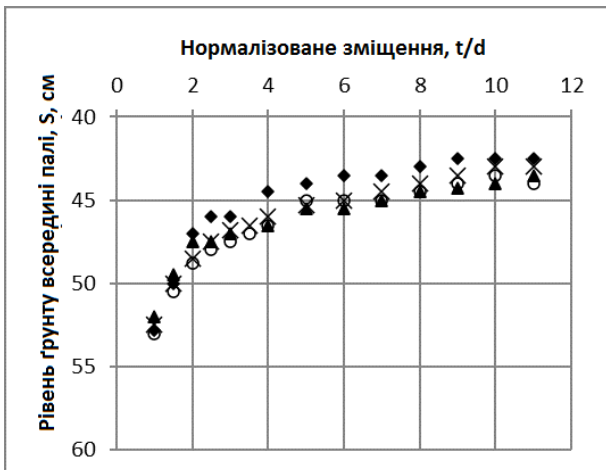


Рис. 4. Результати занурення моделі палі з відкритим кінцем (4 випробування): S - відстань між верхом палі та ґрунтом всередині порожнини палі
 Fig. 4. Results of the open-ended model pile installation (four similar tests): S – distance between pile's top and soil surface inside the pile shaft

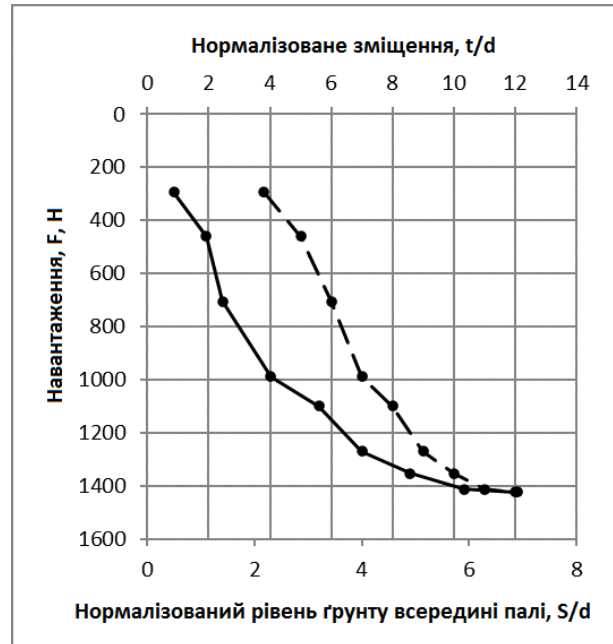


Рис. 5. Результати занурення моделі палі з відкритим кінцем (середні значення 4-ох випробувань):
 -●- - $t/d=t/d(F)$; —●— - $S/d=S/d(F)$
 Fig. 5. Results of the open-ended model pile installation (average values of four similar tests):
 -●- - $t/d=t/d(F)$; —●— - $S/d=S/d(F)$

Рівень ґрунту всередині палі стабілізується при відносній глибині занурення (нормалізоване зміщення палі) приблизно $t/d=5-6$ (Рис. 4). Залежності для t/d та S/d , що описують зміщення палі та ґрунту, стають паралельними, починаючи з $t/d=5-6$ і до досягнення несучої здатності палі (Рис. 5).

Для якісного та кількісного опису досліджуваного процесу застосуємо також дві запропоновані рядом відомих зарубіжних вчених-геотехників характеристики: IFR (Incremental Filling Ratio – відношення приросту довжини ґрунтової пробки до приросту глибини розташування нижнього кінця трубчастої палі) та PLR (Plug Length Ratio – відношення довжини ґрунтової пробки до глибини занурення нижнього кінця палі; як правило визначається для завершального етапу занурення палі) [7-9].

Параметр IFR може змінюватися в межах від 0 (довжина ґрунтової пробки в процесі занурення палі не змінюється, що

характерно для занурення через шар слабого ґрунту) до 1 (прирости довжини пробки та глибини занурення низу палі однакові, що спостерігається при зануренні палі в шарі щільного ґрунту).

Параметр PLR також може змінюватися в межах від 0 (ґрунт не потрапляє в стовбур палі через її нижній кінець; тобто паля працює по схемі закритого нижнього кінця) до 1 (довжина ґрунтової пробки в палі співпадає з глибиною її занурення).

Графіки залежності вказаних параметрів від глибини занурення палі для умов проведеного нами експерименту представлені на рис. 6 і 7. З них слід, що на початковій стадії занурення палі (при глибині занурення до [1.5-2.0]d) значення $PLR=IFR=100\%$, тобто паля занурюється по так званій схемі “fully coring mode” (повністю заповнений стовбур). Починаючи від глибини занурення порядку (4-5)d довжина ґрунтової пробки практично не змінюється; середнє значення параметру IFR також залишається постійним. Деякі флуктуації значень IFR нижче глибини занурення 20 см можуть бути пояснені технологічними причинами - установкою проміжних трубчастих вставок-подовжувачів, так як хід механічного домкрату складав 20 см. В цілому же, картина досліджуваного процесу, що характеризується параметрами PLR та IFR, аналогічна отриманій нами раніше та представлений на рис. 4 і 5.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Деякі важливі результати першої серії лабораторних експериментів можна сформулювати наступним чином:

1. В дрібнопіщаних ґрунтах пробка утворюється на порівняно ранній стадії занурення палі (в розглянутому випадку – при глибині занурення біля 4-5 діаметрів палі);
2. Запропоновані нами критерії оцінки формування ґрунтової пробки при модельних дослідженнях процесу занурення палі призводять до результатів, що ана-

логічні методам оцінки, що базуються на характеристиках PLR та IFR;

3. Процес формування ґрунтової пробки у нижнього кінця трубчастої палі при її зануренні супроводжується зниженням рівня поверхні ґрунту в стовбурі палі відносно його початкового значення (по завершенню формування пробки рівень поверхні ґрунту в стовбурі палі стабілізується).
4. З врахуванням вищенаведеного спостереження можна прийти до висновку, що якщо розмістити внутрішню діафрагму на рекомендованій глибині, необхідній для фіксації проти поперечного навантаження, як описано вище (приблизно на глибині занурення біля 5-7 діаметрів палі), ми зможемо зіткнутися з ситуацією відсутності контакту між діафрагмою та ґрунтом всередині палі (зазор); тобто діафрагма не наздоганяє ґрунт. Отже, для подальших експериментальних досліджень необхідно застосувати таку методику випробувань, яка гарантує повний контакт нижньої поверхні внутрішньої діафрагми з ґрунтом всередині стовбуру палі.

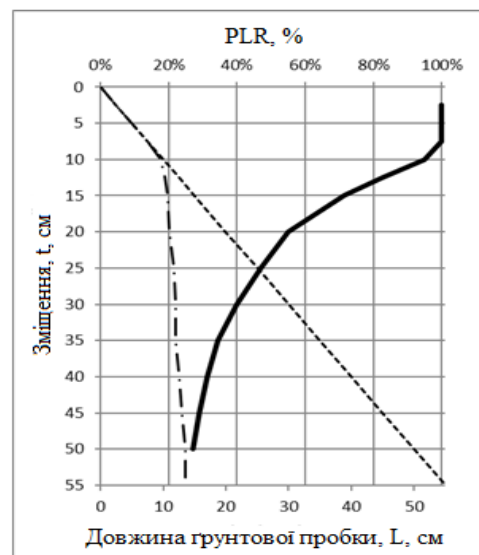


Рис. 6. Залежність параметру PLR від глибини занурення палі:

----- - повністю заповнений стовбур;
 — · — - $L=L(t)$; ——— - PLR

Fig. 6. Dependence of the PLR on pile driving depth:

----- - fully core mode;
 — · — - $L=L(t)$; ——— - PLR

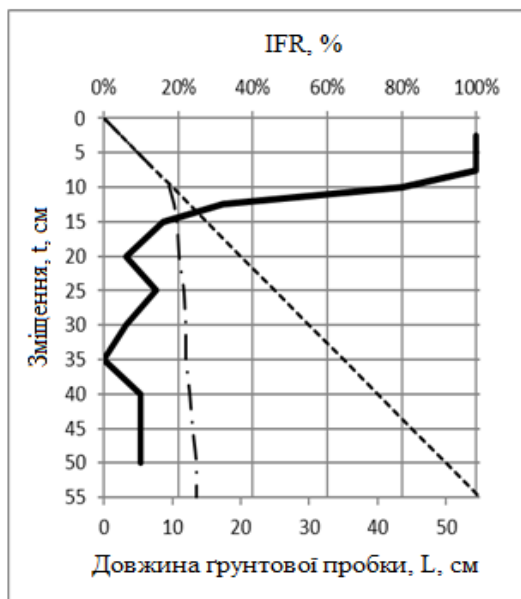


Рис. 7. Залежність параметру IFR від глибини занурення палі:

----- - повністю заповнений стовбур;
 - · - L=L(t); ——— - IFR

Fig. 7. Dependence of the IFR on pile driving depth:

----- - fully core mode;
 - · - L=L(t); ——— - IFR

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубровский М.П. Одноточечные стационарные причалы для украинского шельфа и морских портов: проблемы и перспективы развития / М.П. Дубровский, Р. Перейрас // *Вісник Одеського національного морського університету*. – Одеса: Одеський національний морський університет. – 2014 – Вип.41. – С. 123-133.
2. Doubrovsky M., Gerashchenko A., Dobrov I., Dubrovskaya O. (2017). Piled structures for marine transportation facilities: innovative structures and technologies. *Proceedings of the Second International Conference «Challenges in Geotechnical Engineering 2017»*, Kyiv, Ukraine, pp. 104-105.
3. Doubrovsky M., Gerashchenko A., Dobrov I., Dubrovskaya O. (2018). Innovative Design and Technology Solutions for Development of Port and Offshore Pressed-in Piled Structures, *Proc. of the First International Conference on Press-in Engineering*, Kochi, Japan, pp. 91-99.
4. Randolph, M.F., Leong, E.C. and Houlsby, G.T. (1991). One-dimensional analysis of soil plugs in pipe piles, *Geotechnique*, Vol.41, No.4, pp. 587-598.

5. White, D.J., Deeks, A.D. and Ishihara, Y. (2010). Novel piling: axial and rotary jacking, *Proc. of the 11th International Conference on Geotechnical Challenges in Urban Regeneration*, London, UK, CD, 24p.
6. Tomlinson M. and Woodward J. (2008). *Pile design and Construction Practice*, Fifth edition, Taylor&Francis, N.Y.
7. Gudavalli S.R., Safaqaq O., Seo H. (2013). Effect of soil plugging on Axial Capacity of Open-Ended Pipe Piles in Sands. *Proceedings of the 18-th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, France, pp. 1487-1490.
8. Lehane, B. M. and Gavin, K. G. (2004). Discussion of “Determination of bearing capacity of open-ended piles in sand”. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 6, pp. 656 – 658.
9. Paik, K. and Salgado, R. (2003). Determination of bearing capacity of open-ended piles in sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(1), pp. 46 – 57.

REFERENCES

1. Doubrovsky M.P., Pereiras R. (2014) Odnotochechnye stacionarnye prichaly dlya ukrainskogo shelfa i morskikh portov: problemy i perspektivy razvitiya. [Single point fixed moorings for Ukrainian shelf and seaports: problems and prospects of development]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu*. Odesa. Odeskyi natsionalnyi morskyi universytet, 41, 123-133 (in Russian).
2. Doubrovsky M., Gerashchenko A., Dobrov I., Dubrovskaya O. (2017). Piled structures for marine transportation facilities: innovative structures and technologies. *Proceedings of the Second International Conference «Challenges in Geotechnical Engineering 2017»*, Kyiv, Ukraine, pp. 104-105.
3. Doubrovsky M., Gerashchenko A., Dobrov I., Dubrovskaya O. (2018). Innovative Design and Technology Solutions for Development of Port and Offshore Pressed-in Piled Structures, *Proc. of the First International Conference on Press-in Engineering*, Kochi, Japan, pp. 91-99.
4. Randolph, M.F., Leong, E.C. and Houlsby, G.T. (1991). One-dimensional analysis of soil plugs in pipe piles, *Geotechnique*, Vol.41, No.4, pp. 587-598.
5. White, D.J., Deeks, A.D. and Ishihara, Y. (2010). Novel piling: axial and rotary jacking,

Proc. of the 11th International Conference on Geotechnical Challenges in Urban Regeneration, London, UK, CD, 24p.

6. Tomlinson M. and Woodward J. (2008). *Pile design and Construction Practice*, Fifth edition, Taylor&Francis, N.Y.
7. Gudavalli S.R., Safaqah O., Seo H. (2013). Effect of soil plugging on Axial Capacity of Open-Ended Pipe Piles in Sands. *Proceedings of the 18-th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, France, pp. 1487-1490.
8. Lehane, B. M. and Gavin, K. G. (2004). Discussion of "Determination of bearing capacity of open-ended piles in sand". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 6, pp. 656 – 658.
9. Paik, K. and Salgado, R. (2003). Determination of bearing capacity of open-ended piles in sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(1), pp. 46 – 57.

Physical modeling of steel tubular piles installation into sandy soil

*Michael Doubrovsky,
Vladyslava Dubravina*

Summary. Modern marine structures (berths, breakwaters, offshore platforms, etc.) often include steel tubular piles of essential length (80-100 m and more) that should provide high bearing capacity in case of external axial loads application. Interaction between elements of the system "piled structure – soil media" is not yet studied sufficiently. It relates also to the bearing capacity of the long steel tubular piles of large diameter. One of the interesting peculiarities of long tubular piles' behavior is the formation of soil plug at the piles' tip. There are a lot of suggestion and methods aimed to increase piles bearing capacity under static pressing load. One of them relates to use of the additional structural element, i.e., the internal diaphragm welded to the internal surface of the pile's shaft. Such approach has been applied in some practical cases of marine construction and demonstrated its effectiveness. At the moment there are no researches focused on study of the peculiarities of internal diaphragm application. So proposed research aimed to study two connected processes during steel tubular pile driving: soil plug formation at the tip of the open-end pile and soil behavior under the internal diaphragm fixed inside the tubular pile's shaft. To study mentioned pro-

cesses we provided several series of laboratory experiments fulfilled at the Geotechnical laboratory of the Department "Sea, River Ports and Waterways" in Odessa National Maritime University. In these experiments the model of steel tubular pile has been driven (pressed) into fine sand by mechanical jack. The first series was devoted to determination of the conditions related to the soil plug formation at the pile's tip (results are presented in this paper). The next series were aimed to study the influence of the rigid diaphragm inside the pile's shaft (to be presented in the further publications). Obtained experimental results allow to conclude that (a) in the fine sand the plug is formatted at the comparatively early stage of pile installation (in case of our modeling - at the penetration depth of some 4-5 pile's diameter); (b) our empirical assessment of the conditions of soil plug formation corresponds to the approaches based on PLR and IFR characteristics; (c) formation of soil plug at the pile's tip is followed by decreasing of soil level in the pile's shaft relatively its initial value (on completing the plug formation the soil level in the shaft become stable); (d) regarding above mentioned, we may note that in case of use of internal diaphragm on the recommended depth (5-7 pile's diameters) there may be no contact between diaphragm and the soil inside the pile and the diaphragm does not come up with the soil. So, for the next series of our experiments, it should be foreseen assured contact of the diaphragm's surface with soil underneath.

As proved by previous studies, one of the interesting features of the behavior of long tubular piles is the formation of a soil plug at the lower end of the pile. From this point of view, it is important to study the effect of soil plug not only on the bearing capacity at the lower end of the pile, but also on the behavior of the soil inside the pile. It is shown that in fine-sandy soils a plug is formed at a relatively early stage of pile immersion (in this case - at a depth of immersion of about 4-5 pile diameters). The process of forming a soil plug at the lower end of the tubular pile during its immersion is accompanied by a decrease in soil surface level in the pile trunk relative to its initial value (upon completion of plug formation the soil surface level in the pile trunk stabilizes).

Keywords: steel tubular piles, soil plug, internal diaphragm, pile bearing capacity, laboratory model tests.