

УДК 624.131.543

*М.О. Харченко, к.т.н., доцент
М.О. Харченко, ст. викладач
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
В.В. Філімонов, студент
Донбаська національна академія будівництва та архітектури, м. Макіївка*

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ АРМУВАННЯ СФА ПАЛЬ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА СТИСК У СЛАБКИХ ГРУНТАХ

Проаналізовано методики різних країн світу щодо розрахунку стовбура бурин'єкційних палей великого діаметра (Continuous Flight Auger – CFA), що працюють на стиск, за міцністю їх матеріалу в умовах залягання з поверхні значної товщі слабких ґрунтів. Запропоновано удосконалити рекомендації державних норм України щодо вибору максимальної довжини армування стовбура СФА.

Ключові слова: *СФА палі, поздовжній згин, слабкі ґрунти, довжина армування.*

УДК 624.131.543

*М.А. Харченко, к.т.н., доцент
М.А. Харченко, ст. преподаватель
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
В.В. Филимонов, студент
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ АРМИРОВАНИЯ СФА СВАЙ, РАБОТАЮЩИХ НА СЖАТИЕ В СЛАБЫХ ГРУНТАХ

Проанализированы методики разных стран мира по расчету столба бурин'ежекционных свай большого диаметра (Continuous Flight Auger – CFA), работающих на сжатие, по прочности их материала в условиях залегания с поверхности значительной толщи слабых грунтов. Предложено усовершенствовать рекомендации государственных норм Украины по выбору максимальной длины армирования столба СФА.

Ключевые слова: *СФА сваи, продольный изгиб, слабые грунты, длина армирования.*

UDC 624.131.543

*M.O. Kharchenko, PhD, Associate Professor
M.O. Kharchenko, senior lecturer
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University
V.V. Filimonov, student
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makiyivka*

MAXIMUM REINFORCEMENT LENGTH OF AXIAL LOADED CFA PILES IN SOFT SOIL

It is analyzed methods of different countries on the calculation of Continuous Flight Auger (CFA) on axial loads with considerable thickness of weak soils. It is proposed to improve the state standards of Ukraine for determine the maximum reinforcement length of axial loaded CFA piles in soft soil.

Keywords: *CFA pile, longitudinal bending, soft soil, reinforcement length.*

Вступ. Для більш рентабельного використання земельних ділянок сьогодні намагаються зводити якомога вищі будівлі з великим кроком колон. Тому навантаження на ґрунтову основу фундаментів постійно зростають. При цьому під забудову застосовуються території зі складними геотехнічними властивостями, наприклад, складені з поверхні слабкими ґрунтами, з високим рівнем ґрунтових вод тощо. За таких умов найчастіше використовуються пальові фундаменти, мета яких прорізати слабкі ґрунти і передати навантаження від будівлі на більш міцні ґрунти. За умови великих навантажень на палю і значної товщі ґрунтів, які вони мають прорізати, все рідше використовуються збірні залізобетонні палі порівняно з набивними.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. У сучасній практиці геотехніки СФА палі [1 – 11] є одними з найбільш поширених серед набивних. Це пояснюється тим, що вони недорогі (у 2 – 3 рази дешевші порівняно з буронабивними) і швидкість їх улаштування набагато вища, ніж в аналогів. При цьому несуча здатність по ґрунту є вищою, ніж, наприклад, у звичайних буронабивних.

Технологія улаштування СФА паль така. Спочатку бурять свердловину за допомогою шнека (рис. 1, *а*), лопаті якого утримують її положення до досягнення проектної глибини. Після досягнення свердловиною проектної позначки шнек піднімається над вибоєм на 0,3...0,5 м і висувається бетонолитна труба у нижній частині шнека. Потім відкриваються клапани, крізь які до свердловини подається дрібнозернистий бетон під тиском 0,2 – 0,5 МПа (рис. 1, *б*). Тиск обтиснення бетону пропорційний опору шнека видавлюванню. У процесі бетонування шнекова колона повинна бути постійно заповнена бетонною сумішшю. Для якісного заповнення свердловини бетоном при підніманні шнекової колони її нижній кінець має бути заглиблений у бетонну суміш не менш ніж на 1 м.

У рідкий обтиснений бетонний розчин занурюють арматурний каркас (рис. 1, *д*). При цьому вертикальне армування таких паль викликає значні технологічні складнощі. Максимально можлива глибина занурення арматурного каркаса в тіло палі – 15...17 м, для чого потрібно забезпечити достатню жорсткість каркаса і використовувати різного типу вібратори. Оптимальним за глибиною занурення є арматурний каркас довжиною до 8 м.

Можливий діаметр паль за даною технологією коливається в діапазоні 300...1200 мм. При цьому максимальна їх довжина не перевищує 32 м. Залежно від інженерно-геологічних умов та можливостей бурового обладнання призначають співвідношення їх діаметра до довжини. При цьому технологічно досить важко улаштувати палі великого діаметра й максимальної довжини при значній товщі слабких ґрунтів.

Отже, у водонасичених слабких ґрунтах улаштування СФА паль проводиться без використання обсадних труб або глинистого розчину, що дозволяє прискорити і здешевити процес улаштування кожної палі порівняно з буронабивним методом у таких умовах.

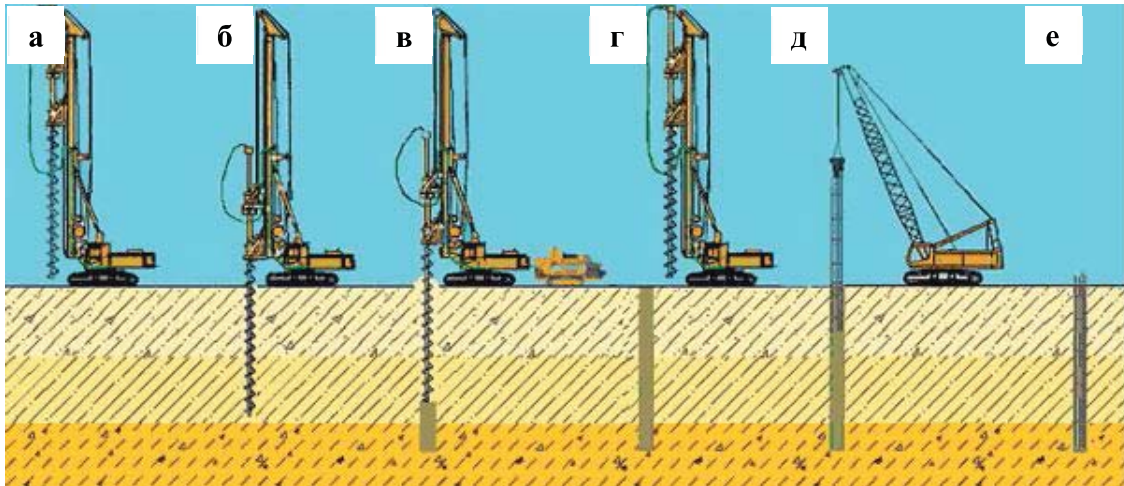


Рис. 1 – Технологічна схема влаштування буройн'єкційних паль:
а – розміщення бурового обладнання для влаштування палі; б – буріння свердловини шнеком до проектної глибини; в – подача розчину дрібнозернистого бетону через клапани в процесі повільного підняття шнека; г – підготовка до подачі арматурного каркаса; д – поміщення арматурного каркаса в обтиснений бетон; е – готова буройн'єкційна палля

При розрахунку CFA палля на вертикальне навантаження ключовим питанням є вибір довжини армування стовбура палі. Порівняно з буронабивним методом проблема полягає в тому, що бетонування палі відбувається без контролю якості пробуреної свердловини, тому існує велика ймовірність неякісного формування її стовбура і відповідно появи випадкових ексцентриситетів при завантаженні. До того ж глибина можливого занурення каркаса у CFA палі лімітована за рахунок того, що він занурюється в бетонну суміш.

Загальні принципи проектування CFA палля можна знайти в нормах і посібниках різних країн [1] – [5]. Переваги і недоліки такої технології наведено в роботах [6] – [11].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У наукових і технічних джерелах основна увага приділена визначенню несучої здатності CFA палля за міцністю ґрунту різними методами: розрахунками за формулами і таблицями, за допомогою моделювання з використанням методу скінченних елементів (Finite Element Method), за даними зондування (Cone Penetration Test) чи польових випробовувань палля (Pile Testing) тощо. Методику розрахунку CFA палля за міцністю матеріалу їх стовбура в основному сконцентровано при роботі палля на згин (наприклад, при їх використанні як огороження стінок котлованів чи підпірних стінок). Методика розрахунку стовбура палі за міцністю його матеріалу при вертикальному завантаженні (позацентровому стисненні) висвітлена недостатньо як у вітчизняній літературі, так і в джерелах інших країн.

Мета роботи – удосконалити інженерний метод розрахунку стовбура CFA палля за міцністю їх матеріалу на поздовжній згин в умовах значної товщі слабких ґрунтів з урахуванням світового досвіду.

Основний матеріал і результати. У нормах України [1, 3] при розрахунках стовбура палі за міцністю матеріалу рекомендується розглядати її як стержень, затиснутий у ґрунтовій основі. Розрахункову довжину палі приймають залежно від ґрунтових умов і сполучення паль з ростверком (шарнірне чи жорстке затиснення). Якщо палі прорізають сильно стисливі ґрунти ($E \leq 5$ МПа), слід виконувати розрахунок на поздовжній згин. При цьому такі рекомендації відповідно до п. 8.5.2.21 [1] розповсюджуються лише на буроін'єкційні палі діаметром, меншим ніж 0,25 м. Тому яким чином розраховувати палі більшого діаметра і в інших інженерно-геологічних умовах не зовсім зрозуміло.

Використати рекомендації норм щодо розрахунку залізобетонних конструкцій також інколи неможливо, оскільки в надземних конструкціях важко уявити можливі відхилення та дефекти, які притаманні підземним конструкціям, особливо влаштованим на велику глибину в нестійких ґрунтах.

Додатковою проблемою є різне тлумачення поняття «слабкий ґрунт» у нормах різних країн. Так, наприклад, слабкими ґрунтами в Україні [1] є ґрунти з модулем деформації $E \leq 5$ МПа, згідно з нормами Росії [2] – з $E \leq 7$ МПа, згідно з EN 1997-1:2004 [4] – якщо опір недренованому зрізу (undrained shear strength) $c_u < 20$ кПа.

Зокрема, відповідно до п. 14.4 «Зміна №1 до СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты», дія якого не відмінена, довжина арматурного каркаса буроін'єкційної палі в слабких ґрунтах (модуль деформації $E \leq 5$ МПа), насипних, за торфованих, призначається з умови армування в межах цих ґрунтів, навіть якщо це не потребується за розрахунком. Таким чином, якщо товщина слабких ґрунтів понад 15 м, то занурити арматурний каркас у тіло палі на таку глибину технологічно майже неможливо. Ця процедура додатково ускладнюється, якщо в товщі, що потрібно прорізати, є прошарки піску, які швидко всмоктують у себе воду при бетонуванні палі, і бетон відразу втрачає свою рухливість.

Для розв'язання цієї проблеми використовують важкі вібратори. При цьому в складних інженерно-геологічних умовах, використавши вібратори, можна навіть погіршити становище за рахунок того, що буде порушено вертикальність стовбура палі й існуватиме велика ймовірність того, що арматурний каркас взагалі знаходитиметься не в тілі палі, а в ґрунті. Тому армування СФА паль уздовж всієї товщі слабого ґрунту часто не є вирішенням цього питання.

З аналізу наукової літератури [1–11] можна зробити висновок, що підходи до розрахунку СФА паль за міцністю їх матеріалу при стиску на поздовжній згин однакові як в українській, так і світовій практиці. Система «ґрунт – паля» моделюється як балка на пружній основі (рис. 2). Поведінка ґрунту описується нелінійними пружинами, які характеризуються взаємозв'язком між реакцією основи вздовж палі p та її горизонтальними

переміщеннями u . Чисельно у розрахункових формулах пружини замінюються коефіцієнтом k_s – коефіцієнт постелі (modulus of subgrade reaction). Даний коефіцієнт, за дослідженнями Kézdi, Terzaghi та багатьох інших, залежить від модуля деформації ґрунту $k_s \approx E_s/d$.

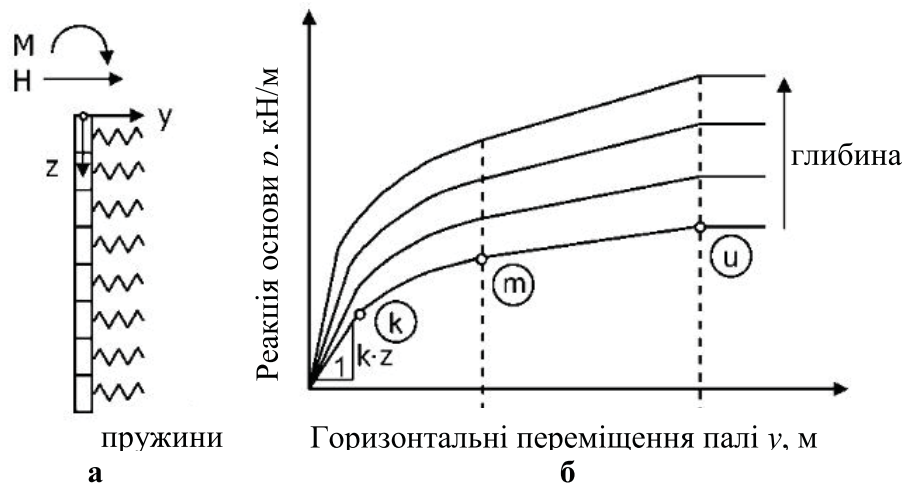


Рис. 2 – Модель балки на пружній основі (а) і графіки залежності реакції ґрунтової основи від переміщення палі (б)

При вертикальному чи горизонтальному завантаженні паля розглядається як стержень, затиснутий у ґрунтовій основі на глибині, що залежить від жорсткості ґрунту та перерізу палі. При цьому ця глибина збільшується зі зменшенням модуля деформації ґрунту і зі збільшенням перерізу палі. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз розрахункової глибини умовної точки жорсткого закріплення палі у слабкій ґрунтовій основі залежно від параметрів палі (діаметр коливався в межах $d=0,5 \dots 0,82$ м і довжина $L=8 \dots 32$ м) й слабкої основи ($0,75 \leq I_L \leq 1$ для нормативних документів [1–3], $E=2 \dots 7$ МПа для робіт [4, 9]).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз розрахункової глибини умовної точки жорсткого закріплення палі у слабкій ґрунтовій основі за нормами різних країн

Згідно з нормами [1, 2, 3] для глин і суглинків текучопластичних з показником текучості $0,75 \leq I_L \leq 1$				
Діаметр палі	0,5	0,62	0,82	Для коефіцієнтів пропорційності
Глибина від півверхні ґрунту до точки жорсткого закріплення	4,66	5,42	6,56	$K=4000 \text{ кН/м}^4$
	4,46	5,18	6,27	$K=5000 \text{ кН/м}^4$
	4,30	4,99	6,04	$K=6000 \text{ кН/м}^4$
	4,17	4,84	5,86	$K=7000 \text{ кН/м}^4$
Згідно з нормами [4, 9] для слабких ґрунтів з опором недренованому зрізу (undrained shear strength) $c_u < 20$ кПа				
Діаметр палі	0,5	0,62	0,82	Для модуля деформації ґрунту
Глибина від півверхні ґрунту до точки жорсткого закріплення для довжини палі 8...32 м	5,43...5,76	6,37...6,79	7,85...8,39	$E=2$ МПа
	4,52...4,8	5,31...5,65	6,53...6,99	$E=5$ МПа
	4,22...4,48	4,96...5,28	6,11...6,53	$E=7$ МПа

Таким чином, з аналізу таблиці 1 можна зробити **висновок**, що найбільша розрахункова глибина умовної точки жорсткого закріплення палі у слабкій основі складає 8,4 м, що відповідає ґрунту з модулем деформації $E=2$ МПа, довжині палі $L=32$ м та її діаметру $d=0,82$ м. Очевидно, що в інженерно-геологічних умовах з товщиною слабких ґрунтів понад 30 м СФА палі не будуть використовуватися. Тому вважаємо, що потрібно внести поправки і додаткові роз'яснення до норм [1] щодо розрахунку СФА палей за міцністю їх матеріалу на поздовжній згин. Методику розрахунку можна залишити згідно з нормами [3] і внести додаткові рекомендації щодо застосування математичного моделювання роботи палі сумісно з ґрунтовою основою. При цьому вказати, що довжина арматурного каркаса буроін'єкційної палі в слабких ґрунтах (модуль деформації $E \leq 5$ МПа), насипних, заторфованих, назначається з умови армування в межах цих ґрунтів, навіть якщо це не потрібно за розрахунком, але не більше 8 м за умови, що паля працює на стиск.

Література

1. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд*. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 161 с.
2. СП 50-102-2003. *Проектирование и устройство свайных фундаментов*. – М.: Госстрой России, 2004. – 82 с.
3. СНиП 2.02.03-85. *Свайные фундаменты*. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 44 с.
4. EN 1997-1:2004 *Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1. General rules*. – 104 p.
5. EN 1536: 199, IDT. *Execution of special geotechnical works. Bored piles*. – 50 p.
6. *Piling Engineering* / K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson. – London: Taylor & Francis, 2009. – 407 p.
7. Мангушев Р.А. *Современные свайные технологии: учебное пособие* / Р.А. Мангушев, А.В. Еришов, А.И. Осокин. – М.: АСВ, 2010. – 240 с.
8. *Geotechnical engineering circular NO.8. Design and Construction of Continuous Flight Auger (CFA) Piles* / D.A. Brown, D.D. Steven, W.R. Thompson, A.L. Carlos // Maryland: GeoSyntec Consultants, 2007. – P. 293.
9. Tyson P. *Design of reinforcement in piles* / P. Tyson. – London, 1995. – 63 p.
10. *Design of pile foundation. Engineer manual*. – Washington: US Army Corps of Engineer, 1991. – 114 p.
11. Wiemann J. *Evaluation of pile diameter effects on soil-pile stiffness [electronic resource]* / J. Wiemann, K. Lesny, W. Richwien. – Mode of access: <http://www.gigawind.de>.

Надійшла до редакції 19.03.2014

©М.О. Харченко, М.О. Харченко, В.В. Філімонов