

Технологічні особливості влаштування буройн'єкційних паль в глинистих ґрунтах

Ігор Бойко¹, Олег Кривенко²

^{1,2} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

¹boyko40@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6841-0271,

²krivenko.olegus@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1999-2770

DOI: 10.32347/0475-1132.39.2019.27-32

Анотація. Останнім часом набивні палі отримали широке розповсюдження. Набивні палі виготовляються шляхом буріння свердловини з наступним її бетонуванням і армуванням. Головною складністю при виготовленні таких паль є забезпечення стійкості стінок свердловини під час заповнення їх бетоном. Тому для запобігання обвалення ґрунту використовують обсадні труби, які заглиблюються під час буріння свердловини разом із шнеком. Але використання обсадних труб значно ускладнює та сповільнює процес влаштування набивних паль.

Головною метою було проаналізувати параметри по влаштуванню буройн'єкційних паль та оцінити їх вплив на якість стовбура палі. Для досягнення поставленої мети використовується метод статистичної обробки даних (наприклад моменту обертання шнека, тиску подачі бетонної суміші, швидкості підняття шнека) отриманих з бурової машини по виготовленню БП.

Основними головними параметрами, що контролюються при влаштуванні БП, є швидкість підняття шнеку та тиск подачі бетонної суміші. Ці два параметра формують тіло палі. Так якщо в першому випадку швидкість підняття шнеку буде малою, а тиск подачі бетону великим – то виходить більший діаметр палі порівняно з проектним розміром, що призведе до перевитрат бетону та виникнення ефекту негативного тертя. У другому випадку навпаки, швидкість підняття зростає, а тиск зменшується – тоді отримаємо менший діаметр палі, що може спричинити обвалення стінок свердловини та зменшити захисний шар по довжині палі для арматурного каркасу і тому не буде забезпечено проектну несучу здатність БП. Якщо вище перелічені два випадки систематично вини-



Ігор Бойко
завідувач кафедри
геотехніки
д.т.н., проф.



Кривенко Олег
асистент кафедри
геотехніки

кають по довжині палі, то такі палі виключають з роботи плитного фундаменту (бракують).

Показано, що у дослідженій групі паль середній тиск подачі бетонної суміші при їх влаштуванні в напівтвердій глині менший нормативного значення 0,1МПа, а перевитрати бетону в середньому не перевищують 12%. Максимальне значення перевитрат бетону складає 16%, що менше допустимого нормами - 26%. Цей факт доцільно враховувати при проектуванні та влаштуванні паль.

Проведений контроль буройн'єкційних паль в глинистих ґрунтах ($P < 0,1\text{МПа}$ та $k \leq 1,16$) підтвердив суцільність їх стовбуру та проектний геометричний розмір.

Ключові слова. Буройн'єкційна паля, тиск бетонної суміші, перевитрати бетонної суміші, швидкість підняття шнека, ехолокація.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На даний час набивні палі на будівельних майданчиках набули широкого розповсюдження. Вони виготовляються шляхом буріння свердловини з наступним її бетонуванням і армуванням. Головною складністю при виготовленні таких палей є забезпечення стійкості стінок свердловини під час заповнення їх бетоном. Тому для запобігання обвалення ґрунту використовують обсадні труби, які заглиблюються під час буріння свердловини разом із шнеком. Але використання обсадних труб значно ускладнює та сповільнює процес влаштування набивних палей.

З часом буронабивним палям (БНП) виникла альтернатива – буроін'єкційні палі (БІП). На даний час БІП набули широкого застосування. Головна перевага БІП перед БНП це швидкість влаштування: за одну робочу зміну одна бурова машина виготовляє до десяти БІП, у той час як БНП лише біля двох. Але при виготовленні БІП існують і недоліки. До них відносять складність контролю параметрів по влаштуванню БІП, які суттєво впливають на якість стовбура палі та фактичну несучу здатність.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питаннями дослідження роботи буроін'єкційних палей займався Бойко І.П. [3, 4]. Під керівництвом Зоценка М.Л. Левченко В.П. [5, 6, 7] проводила дослідження впливу тиску обтиснення БІП на її несучу здатність. Дослідженням якістю стовбура палі займається Городжа А.Д.

МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати параметри по влаштуванню буроін'єкційних палей та оцінити їх вплив на якість стовбура палі. Для досягнення поставленої мети використовується метод статистичної обробки даних (наприклад моменту обертання шнека, тиску подачі бетонної суміші, швидкості підняття шнека) отриманих з бурової машини по виготовленню БІП.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технологія виготовлення буроін'єкційних палей (БІП) полягає в послідовному виконанні трьох етапів (рис. 1): 1) спочатку буриться свердловина шнеком (найпоширеніші діаметри лопатей шнека 0,42; 0,62м і 0,82м) до проектною позначки (п'ята палі); шнек в середині пустотілий з отвором діаметром 0,125м; 2) другий етап полягає в піднятті шнека вгору (разом з ґрунтом на лопатях) з одночасною подачею автономним бетононасосом рухомого дрібнозернистого бетону в свердловину через отвір в пустотілому шнеку (відзначимо, що на початку необхідно повністю відкрити порожнину шнека підняттям його на висоту заглушки (приблизно 15см); перед бетонуванням система бетоноводів повинна бути заповнена бетоном; тиск повинен бути не менше 1 бар); 3) після вилучення шнека влаштовується арматурний каркас БІП.

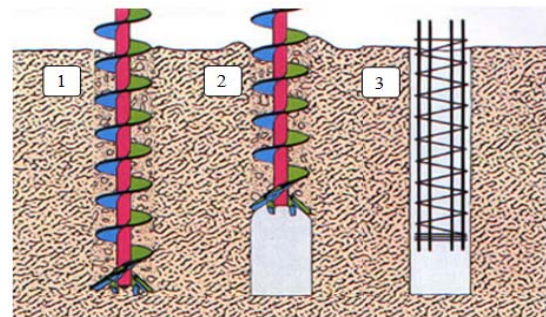


Рис.1. Технологія виготовлення буроін'єкційної палі.

Fig.1. Production technology of CFA pile.

Найбільш поширеним комп'ютером, який контролює процес влаштування БІП, є «TARALOG» (розробляє обладнання французька компанія «JeanLutz»). Він розміщується безпосередньо в кабіні машиніста. Нижче наведено параметри, які можна отримати у вигляді графіків в залежності від глибини:

- швидкість опускання шнеку;
- кількість обертів шнеку (опускання);
- крутний момент шнеку;
- швидкість підняття шнеку;
- кількість обертів шнеку (підйом);

- тиск подачі бетонної суміші;
- витрати бетонної суміші.
- профіль (візуалізація заповнення палі бетоном);
- відхилення мачти бурової в осях «х, у».

На рис. 2 відображено частину вище вказаних параметрів які надає «TARALOG».

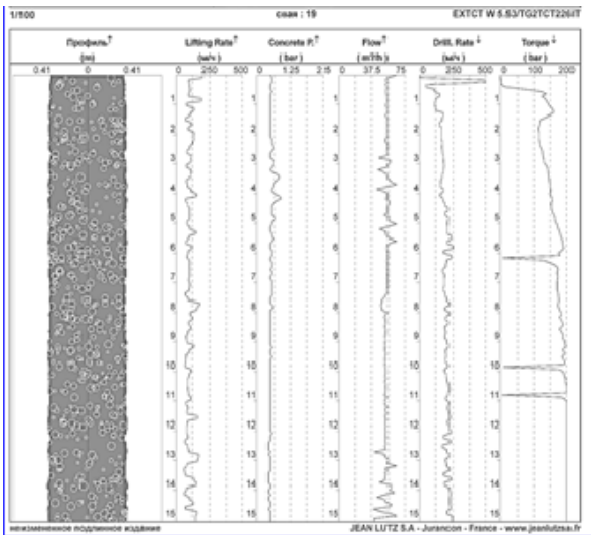


Рис.2. Дані по виготовленню БП довжиною 15м (фрагмент).

Fig.2. Data of production CFA pile with length 15m (fragment).

Після влаштування палі надається загальний (по всій довжині БП) коефіцієнт перевитрат бетонної суміші.

У той же час за нормативним документом [1] по кожній БП необхідно мати тільки графіки моменту обертання шнека (при бурінні свердловини), тиск бетонної суміші в бетоноводі (при підйомі шнека) і витрати бетонної суміші по довжині палі.

Дослідження проводилися в рамках реального будівельного майданчика з перепадом висот рельєфу 10м. Фундамент представлений БП (діаметр 0.82м, довжина 15м) для передачі навантаження на ґрунтовий масив від багатопверхової житлової секції. Інженерно-геологічний розріз представлений глинами тугопластичної і напівтвердої консистенції з щільністю $1900 \div 2050$ кг/м³ і модулем деформації $20 \div 25$ МПа.

Головними параметрами, які необхідно

контролювати при влаштуванні БП, є швидкість підняття шнеку та тиск подачі бетонної суміші. Ці два параметра формують тіло палі. Так якщо в першому випадку швидкість підняття шнеку буде малою, а тиск подачі бетону великим – то виходить більший діаметр палі порівняно з проектним розміром, що призведе до перевитрат бетону та виникнення ефекту негативного тертя. У другому випадку навпаки, швидкість підняття зростає, а тиск зменшується – тоді отримаємо менший діаметр палі, що може спричинити обвалення стінок свердловини та зменшити захисний шар по довжині палі для арматурного каркасу і тому не буде забезпечено проектну несучу здатність БП. Якщо вище перелічені два випадки систематично виникають по довжині палі, то такі палі виключають з роботи плитного фундаменту.

Було проаналізовано дані 40 палей за різними параметрами. Одним з таких параметрів є тиск подачі бетонної суміші (рис. 3). Для кожної палі під час її бетонування по всій довжині було встановлено як мінімальний тиск (P_{min}) так і максимальний (P_{max}).

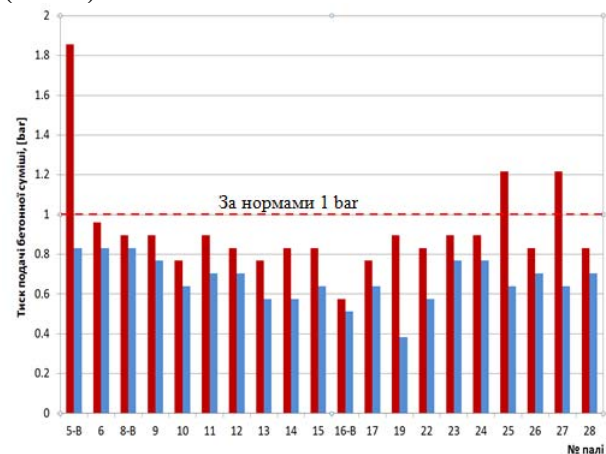


Рис.3. Максимальний і мінімальний тиск при виготовленні БП (наведено 20 БП із 40).

Fig.3. Maximum and minimum pressure during production CFA pile (shown 20 out of 40).

Як відомо, за нормами [1], тиск бетонної суміші не повинен бути менше 1,0 bar. В нашому випадку фактичний тиск (P_{min} та P_{max}) в більшості БП менше нормативного. А це вносить вагомий внесок на формування стовбура палі.

Визначивши середній тиск бетону для кожної палі (по всій довжині стовбуру) було встановлено кількість палей (%) у яких тиск бетонної суміші задовільняє (не задовільняє) нормативній умові $P > 1 \text{ bar}$.

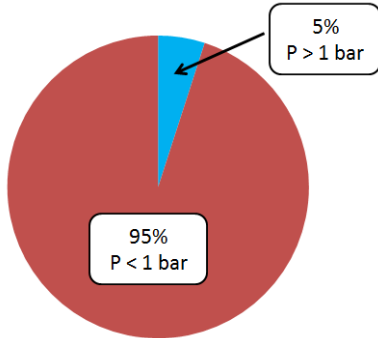


Рис.4. Кількості палей (%) що задовільняють (не задовільняють) нормативну умову $P > 1 \text{ bar}$.

Fig.4. The number of piles (%) are satisfying (not satisfying) the normative condition $P > 1 \text{ bar}$.

З рис. 4 можна побачити, що тільки при виготовленні двох палей із 40 дотримувалась умова $P > 1 \text{ bar}$ (5% - 2 палі).

У процесі досліджень було встановлено, що тиск подачі бетонної суміші є нестабільною величиною і змінюється для кожної палі з глибиною (рис. 5).

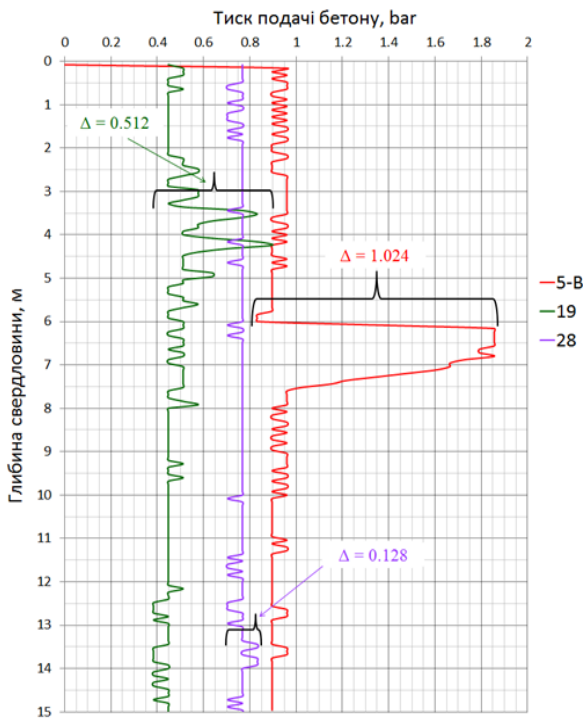


Рис.5. Перепад тиску по довжині БП.
Fig.5. Pressure variation along the length of pile.

Під час дослідження було проаналізовано три типових палей і встановлено, що в межах однієї палі тиск може змінюватися в діапазоні $0,1 \div 1,0 \text{ bar}$. Так, якщо подивитися на палю № 5-В то можна побачити що тиск по глибині в діапазонах 0-6 м та 8-15 м є стабільним але менше 1 bar , а от у діапазоні 6-8 м виник стрибок тиску на $1,024 \text{ bar}$ (сумарний тиск біля 1.85 bar).

Норми [1] допускають значення коефіцієнта перевитрати бетону 1,26. Даний коефіцієнт був проаналізований для палей в глинистих ґрунтах і виявлено, що його середнє значення становить 1,12, а це у відсотковому співвідношенні перевитрат в 2 рази менше допустимого нормами (рис. 6). Тоді ми маємо суттєву економію бетонної суміші, яка закачується в свердловину. Цей факт рекомендується враховувати при проектуванні палейових фундаментів.

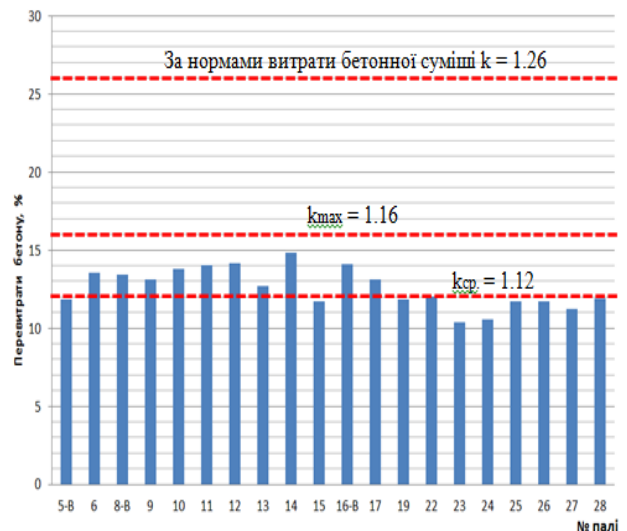


Рис.6. Перевитрати бетону при влаштуванні БП.

Fig.6. Overspending of concrete during production CFA pile.

Для виготовлених палей необхідно забезпечити контроль проектної глибини і цілісності стовбура. Ці параметри перевіряється по протоколу влаштування палей і шляхом проведення ехолокації для 10% від їх загальної кількості (рис.7).

У нашому випадку обидва параметри (проектна глибина і цілісність стовбура) підтверджують якісне виготовлення стовбура палей.

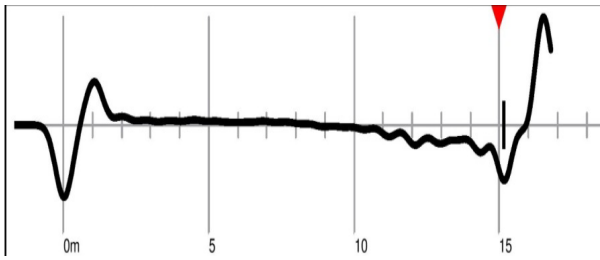


Рис.7.Протокол ехолокації БП.

Fig.7. Eholocation protocol of CFA pile.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Найбільш важливими параметрами, які необхідно контролювати при влаштуванні бурюін'єкційних паль є швидкість підняття шнеку та тиск подачі бетонної суміші.

Показано, що у дослідженій групі паль середній тиск подачі бетонної суміші при їх влаштуванні в напівтвердій глині менший нормативного значення 0,1МПа, а перевитрати бетону в середньому не перевищують 12%. Максимальне значення перевитрат бетону складає 16%, що менше допустимого за нормами - 26%. Цей факт доцільно враховувати при проектуванні та влаштуванні паль.

Проведений контроль бурюін'єкційних паль в глинистих ґрунтах ($P < 0,1\text{МПа}$ та $k \leq 1,16$) підтвердив суцільність їх стовбуру та проектні геометричні розміри.

В глинистих ґрунтах тугопластичної, напівтвердої та твердої консистенції існує можливість зменшення захисного шару бетону з метою збільшення ефективного робочого перерізу бурюін'єкційної палі, що зумовлює підвищення міцності стовбуру палі по матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013 Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 88с.
2. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.
3. Бойко И.П., Дельник А.Е., Козак А.Л., Орленко Н.И. Сопротивление просадочных грунтов для расчета бурюинъекционных

свай. // *Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Основания и фундаменты»*. Выпуск 223. – К.: Будівельник, 1990, с. 5-9.

4. Бойко І.П., Карпенко Ю.В., Новофастовський С.М. Методи випробувань ґрунтів за допомогою бурюін'єкційної палі великого діаметру. // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – Вип. 328 – К.: КНУБА, 2004. – с. 11-16.
5. Зоценко Л.М. Особенности влаштування бурюін'єкційних паль у водонасичених піщаних ґрунтах / Л.М. Зоценко, В.П. Левченко, С.В. Біда, М.Ф. Передерій // *Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПНТУ, 2009. -76с.
6. Зоценко Л.М. Досвід використання бурюін'єкційних паль в водонасичених лесових ґрунтах / Л.М. Зоценко, В.П. Левченко, В.М. Зоценко // *Строительная наука и техника – Вып. № 3(18)* – Минск, 2008. – С.23.
7. Левченко В.П. Експериментальні дослідження впливу обтиснення бетону при влаштуванні бурюін'єкційних паль / В.П. Левченко // *Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. Трудов. – Вып. №74* – Дніпропетровськ ПГАСА, 2010. – С. 243-251.
8. Никитенко М.И. Бурюинъекционные анкеры и сваи при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: монография / М.И. Никитенко. – Минск: БНТУ, 2007. – 580с.

REFERENCES

1. DSTU-N B V.2.1-28:2013 Nastanova shhodo provedennya zemlyanykh robit, ulashtuvannya osnov ta sporudzhennya fundamentiv. (2013). Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 88 (in Ukrainian).
2. Osnovy ta fundamenti sporud. Zmina 1: DBN V.2.1-10-2009. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 55 (in Ukrainian).
3. Boyko I.P., Delnik A.E., Kozak A.L., Orlenko N.I. (1990). Soprotivlenie prosadochnykh gruntov dlya rascheta buroyineksionnykh svay [Resistance of collapsible soils to calculate continuous flight auger piles]. *Respublikanskiy mezhive-domstvenniy nauchno-tehnicheskij sbornik «Osnovaniya i fundamentyi»*. Kyiv: Budivelnik, 223, 5-9 (in Russian).
4. Boyko I.P., Karpenko Yu.V., Novofastovskiy S.M. (2004) Metody vyprobuvan gruntiv za dopomohoiu buroyineksionnoi pali velykoho

- diametru [Methods of soil tests using large-diameter continuous flight auger piles]. *Osnovy i fundamenti: Mizhvidomchyi naukovotekhnichniy zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 328, 11-16 (in Ukrainian).
5. Zotsenko L.M., Levchenko V.P., Bida S.V., Perederiy M.F. (2009) Osoblivosti vlashtuvannya buroinektsiynih pal u vodonasichenih pischanih gruntah [Features of the installation continuous flight auger piles in water-saturated sandy soils]. *Zb. nauk. prats (Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo)*. Poltava: PNTU, 76 (in Ukrainian).
 6. Zotsenko L.M., Levchenko V.P., Zotsenko V.M. (2008) Dosvid vikoristannya buroinektsiynih pal v vodonasichenih lesovih gruntah [Experience of using continuous flight auger piles in saturated loessial soils]. *Stroitel'naya nauka i tehnika. Minsk, 3(18)*, 23 (in Ukrainian).
 7. Levchenko V.P. (2010) Eksperimentalni doslidzhennya vplivu obtisnennya betonu pri vlashtuvanni buroinektsiynih pal [Experimental investigations of the influence of concrete compression on the arrangement of continuous flight auger piles]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: Sb. nauch. Trudov*. Dnipropetrovsk PGASA, 74, 243-251 (in Ukrainian).
 8. Nikitenko M.I. (2007) Buroinektsionnyie ankeryi i svai pri stroitelstve i rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy: monografiya [Continuous flight auger anchors and piles in the construction and renovation of buildings and structures: a monograph] Minsk: BNTU, 580 (in Russian).

Technological features of arrangement Continuous Flight Auger piles (CFA) in clay soils

Igor Boyko,
Oleg Krivenko

Summary. Recently bored piles are widespread. Bored piles are produced by drilling borehole with its subsequent concreting and reinforcement. The main complication in the manufacture of these piles is to ensure the stability of the borehole walls while filling them with concrete. Therefore, to prevent the collapse of soil, casings that deepened during drilling borehole with auger are used. But the use of casing complicates

and slows the arrangement of bored piles.

Purpose of the work is to analyse the options on the arrangement of CFA piles and assess their impact on the quality of piles shaft. To achieve this goal using the method of statistical data (eg. torque auger, concrete mix feed pressure, speed of elevation the screw) obtained from the drilling machine for the production of CFA piles.

The main key parameters controlled at the arrangement of CFA piles are raising auger speed and the supply pressure of the concrete mixture. These two parameters form the pile body. So if the first case raising the auger speed will be low and the supply pressure of concrete will be large - it turns piles larger diameter compared to the project size, leading to cost overruns of concrete and appearing of negative friction effect. In the second case, by contrast, the rate of uplift increases and pressure decreases - then we get smaller pile diameter, which can cause the collapse of the borehole walls and reduce the protective level along the pile length to the reinforcing frame and therefore CFA piles project load carrying capacity will not be provided. If the above two named cases occur regularly along the length of the piles, the piles are excluded from the work of the foundation slab.

It is shown that in the group of piles medium supply pressure of concrete mix while constructing into semi-solid clay is less than the standard value 0,1MPa and concrete overrun does not exceed 12%. Maximum cost of concrete overruns is 16%, which is less than the allowable standards - 26%. This fact is expedient to consider during designing and constructing piles.

Conducted control of Continuous Flight Auger piles in clay soils ($P < 0,1\text{MPa}$ and $k \leq 1,16$) confirmed the continuity of the shaft and geometric design size.

Key words. Continuous Flight Auger piles (CFA), pressure of concrete blend, overspending of concrete blend, raising speed of the auger, echolocation.