

*С.Г. Ясько, аспірант
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
В.М. Зоценко, інженер
ТОВ «Фундаментбуд-3», м. Полтава*

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ РОЗШИРЕНИМ НАКОНЕЧНИКОМ

Наведено результати польових досліджень ґрунтоцементних елементів методом статичного зондування розширеним наконечником.

Ключові слова: *контроль якості, ґрунтоцемент, статичне зондування.*

*С.Г. Ясько, аспірант
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
В.М. Зоценко, инженер
ООО «Фундаментбуд-3», г. Полтава*

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАСШИРЕННЫМ НАКОНЕЧНИКОМ

Приведены результаты полевых исследований ґрунтоцементных элементов методом статического зондирования уширенным наконечником.

Ключевые слова: *контроль качества, ґрунтоцемент, статическое зондирование.*

*S.G. Yasko, Postgraduate
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University
V.M. Zotsenko, engineer
Ltd «Fundamentbud-3», Poltava*

QUALITY CONTROL ELEMENTS FROM SOIL CEMENT STATIC PENETRATION TEST WITH THE BROADENING TIP

This paper presents results of field studies soil cement elements by cone penetration test broadened tip.

Keywords: *quality control, soil cement, cone penetration test.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. При зведенні та реконструкції будівель суттєва частина витрат припадає на влаштування фундаментів і підготовку ґрунтових масивів. Тому вимоги до продуктивності технологічних операцій та якості продукції підвищуються. Останнім часом для зміцнення ґрунтових масивів набув широкого впровадження метод їх армування ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ), які у сучасному будівництві виготовляють за двома основними технологіями: бурозмішувальною та струменевою. Підвищення якості, зменшення термінів і собівартості виготовлення ГЦЕ та паль невід'ємно пов'язані з проблемами ефективного використання обладнання для їх виготовлення. Для цього необхідно мати максимально повну інформацію з будівельних характеристик ГЦЕ як на проектній стадії, так і під час випробувань якості проведених робіт.

Питання визначення та прогнозування характеристик міцності ГЦЕ на сьогодні вивчене у не достатньо повному обсязі, особливо при паралельному використанні різних за достовірністю методів досліджень та вихідних компонентів ґрунтоцементу. Можна

припустити, що в цьому напрямку існують значні можливості ефективнішого врахування особливостей конкретних майданчиків, вихідних компонентів і достовірності методів, які використовуються для контролю якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Останнім часом з'явилися роботи, присвячені моделюванню та контролю параметрів ґрунтоцементу [1 – 4]. У практиці проектування для ґрунтоцементних елементів за основний показник якості прийнята міцність, що визначається величиною опору зразків одновісному стиску. Також відомі способи контролю якості ґрунтоцементу, що базуються на принципі подібності залежностей модуля деформації ґрунтоцементу і кількості гідратованого цементу в матеріалі від терміну його тужавіння. Він полягає у порівнянні значень кількості хімічно зв'язаної води чи залишкової лужності [5] з попередньо визначеними значеннями, які встановлено на стандартних зразках ґрунтоцементу того ж віку твердіння, що і дослідна проба.

Наведені методи потребують лабораторних досліджень, що не завжди зручно в умовах реального будівельного майданчика. Тому поряд з цими методами бажано було використовувати швидкісні методи досліджень, такі як методи статичного зондування та penetрації.

Усе це обумовлює необхідність вивчення аспектів і меж застосування методів для контролю якості ґрунтоцементних елементів.

Для дослідження якості ґрунтоцементних паль під час їх виробництва та ефекту армування ними ґрунтового масиву одним із найбільш ефективних є, на нашу думку, метод статичного зондування. Позитивними особливостями цього методу є можливість дослідження якості ґрунтоцементного елемента та оперативна оцінка змін, котрі відбулися в ґрунті в результаті зовнішніх впливів, що набуває особливого значення за умови, коли відбір зразків непорушеної структури практично неможливий.

Метод статичного зондування зараз набув подальшого розвитку із застосуванням тензодатчиків, автоматичного запису результатів і використання вбудованих інклінометрів, датчиків порового тиску, температури тощо, що дозволило підвищити точність оцінки властивостей ґрунтів. Але стандартний метод зондування вимагає значних зусиль для втиснення зонда і, як наслідок, збільшення габаритно-масових показників. Також поряд з таким методом існує метод зондування розширеним наконечником. У цьому методі зондування виконується при діаметрі наконечника, що перевищує діаметр штанг у 1,6 і більше разів. При такому співвідношенні, окрім виключення або значного зниження тертя по бічній поверхні штанг, створюються умови для вільного випинання ґрунту в порожнину, яка утворюється між стінками свердловини і штангою [6 – 10].

У роботі [10] цей метод застосовано до ґрунтоцементних елементів, виготовлених за струменевою технологією, і встановлена функціональна залежність для визначення міцності ґрунтоцементу віком 3 доби при одновісному стисненню за даними зондування (вихідні компоненти: портландцемент ПЦ ІІ/Б-Ш-400 марки 400, 20% від ваги скелета та лесований суглинок $W=0,20$, $I_p=12,3$, $\rho=1,53$ т/м³, $\rho_d=1,3$ т/м³, $V/C=2,7$, $OK=11$ см):

$$\sigma_{с.ж} = 0,12 + 0,1 \cdot q_3 \text{ МПа,} \quad (1)$$

де q_3 – питомий опір зондуванню, МПа.

У роботі [11] у лабораторних умовах за допомогою методів penetрації та статичного зондування розширеним наконечником була встановлена функціональна залежність для визначення міцності ґрунтоцементу від віку зразків (T , діб) та температури ґрунтоцементу (t , °C):

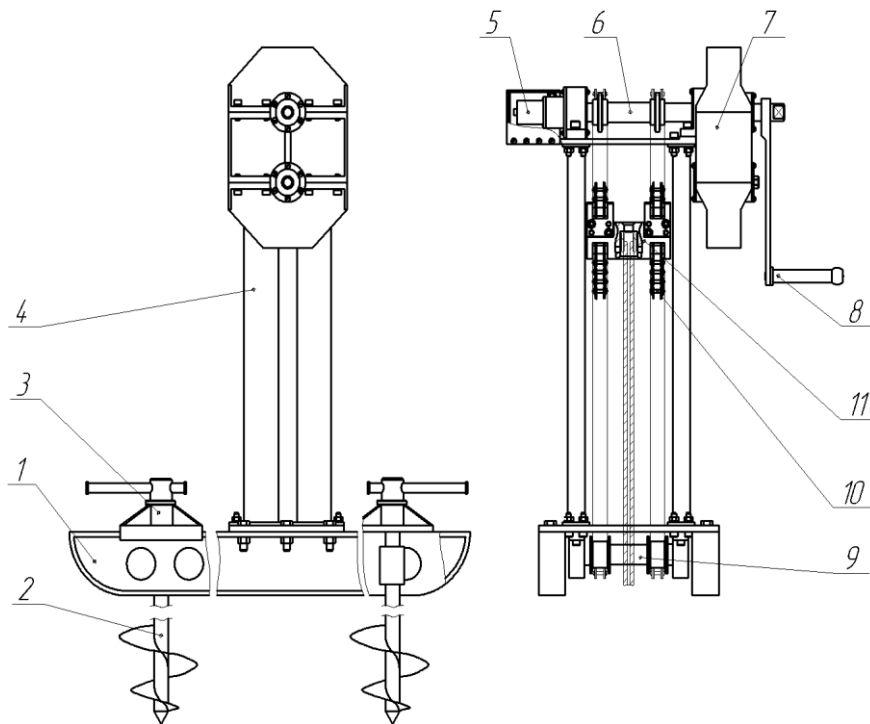
$$\sigma_{ст} = 0,576 + 0,0128 \cdot t - 0,7322 \cdot e^{-0,04373 \cdot T} \text{ МПа.} \quad (2)$$

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Отже, виходячи з останніх досліджень і публікацій, можна зазначити, що актуальним питанням залишається підтвердження отриманих залежностей під час польових випробувань та вивчення пов'язаних з цим аспектів.

Основним завданням дослідження є вивчення процесів зміцнення ґрунтоцементу протягом часу методом статичного зондування розширеним наконечником під час польових випробувань для підтвердження отриманих раніше залежностей з метою подальшого використання при контролі якості виробництва ГЦЕ.

Виклад основного матеріалу дослідження. У межах конструкторсько-дослідницької роботи на замовлення ТОВ «ЕКФА» (м. Полтава) авторами розроблена малогабаритна комп'ютеризована установка статичного зондування розширеним наконечником моделі ЕКФА-010 [12]. Установка призначена для використання у місцях, важкодоступних для установок на автомобільному шасі. Загальний вигляд установки статичного зондування розширеним наконечником представлений на рис. 1.

Установка складається з таких основних вузлів: лижі для пересування зібраної установки між точками зондування та закріплення (1); ґрунтові анкери (2) та платформи з гвинтами (3) для закріплення установки при прийнятті зондувального зусилля; пристрій відліку глибини занурення зонда; привід втискування зонда, до складу якого входять стійки (4), вал із приводними зірочками (6), двошвидкісний редуктор (7), рукоятка (8), вал із ланцюговими барабанами (9).



*Рисунок 1 – Загальний вигляд установки статичного зондування ЕКФА – 010:
1 – лижі; 2 – ґрунтові анкери; 3 – платформа та гвинт для закріплення; 4 – стійки;
5 – пристрій відліку глибини занурення зонда; 6 – вал із приводними зірочками;
7 – редуктор двошвидкісний; 8 – рукоятка; 9 – вал із ланцюговими барабанами;
10 – тягові ланцюги; 11 – вузол для закріплення штанг*

Установка працює наступним чином. Перша штанга із закріпленим зондом встановлюється у вузол для закріплення штанг. Обертанням рукоятки редуктора приводиться в рух вал із приводними зірочками і тяговими ланцюгами. Вузол для закріплення штанг рухається разом із штангою і зондом – відбувається процес зондування.

У процесі втискування зонда оператор має можливість візуального контролю глибини і швидкості занурення.

Під час роботи в режимі трансляції даних на моніторі ноутбука відображаються результати зондування в режимі реального часу. Сигнал від вимірювального зонда передається по кабелю зв'язку на поверхню до ЄОМ для оброблення і зберігання вимірювальної інформації. Кабель розташовується всередині трубчастих штанг. За необхідності зонд можна оснастити вбудованими інклінометрами, датчиком порового тиску, температури тощо.

Зовнішній вигляд розробленого авторами вимірювального тензометричного зонда з конічним наконечником показаний на рис. 2, б, а прецензійна вимірювальна система зонда – на рис. 2, в.

Також вимірювальний комплекс можна використовувати на бурозмішувальних установках, обладнаних спеціальним адаптером (рис. 2, а).

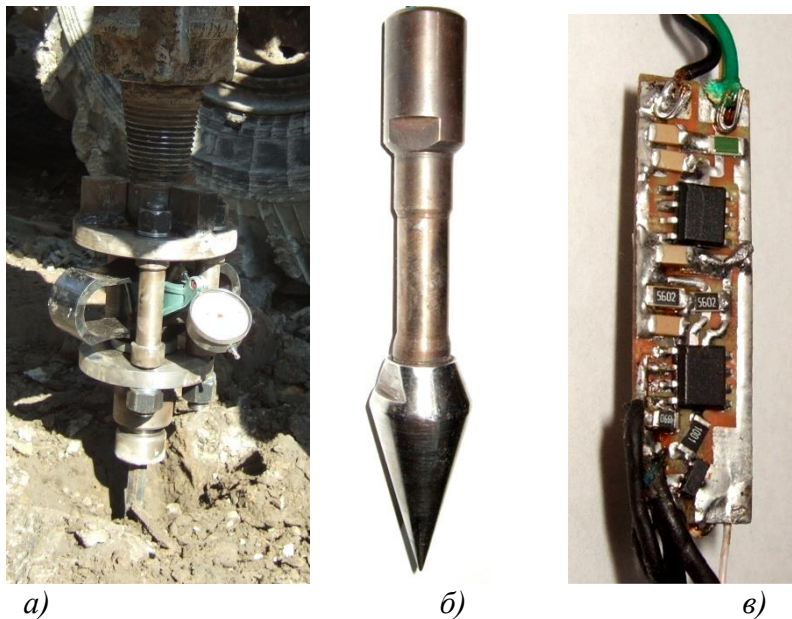


Рисунок 2 – Адаптер з контрольним динамометром (а), вимірювальний зонд (б), прецензійна вимірювальна система зонда (в)

Оброблення та зберігання вимірювальної інформації відбувається за допомогою мікросистеми збору даних m-DAQ виробництва фірми «ХОЛИТ™ Дэйта Системс» (Україна), рис. 3.

Структурна будова вимірювальної системи зондувальної установки ЕКФА – 010 показана на рис. 4.



Рисунок 3 – Мікросистема збору даних m-DAQ

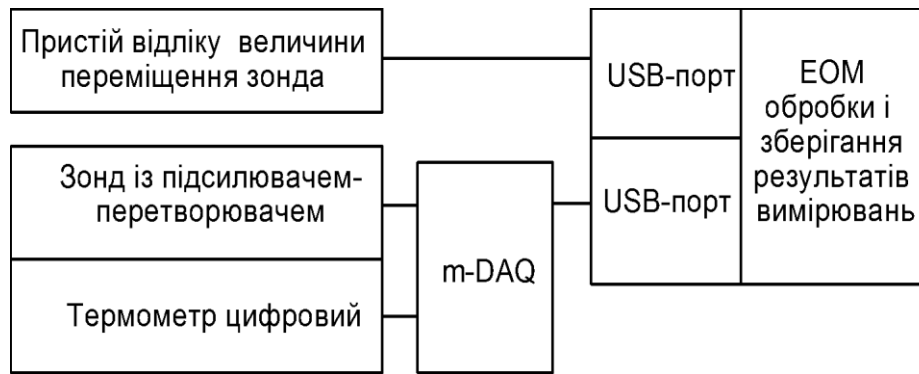


Рисунок 4 – Структурна будова вимірювальної системи зондувальної установки ЕКФА – 010

Використовуючи вищенаведене обладнання, було проведено серію польових випробувань методом статичного зондування розширеним наконечником ГЦЕ в умовах будівельного майданчика при реконструкції будівлі ресторану «Іванова гора» у м. Полтава, оскільки попередні лабораторні дослідження проводились на зразках з лесового суглинку з вищенаведеними характеристиками, видобутих з цього майданчика.

Випробування проводились для ГЦЕ віком від двох до п'яти діб, кількістю 60 зондувань, по 15 на кожен день. Під час випробувань на глибині до півтора метра було виявлено значне підвищення опору зондуванню. Епюри питомого опору зондуванню для чотирьох різних паль наведені на рис. 5.

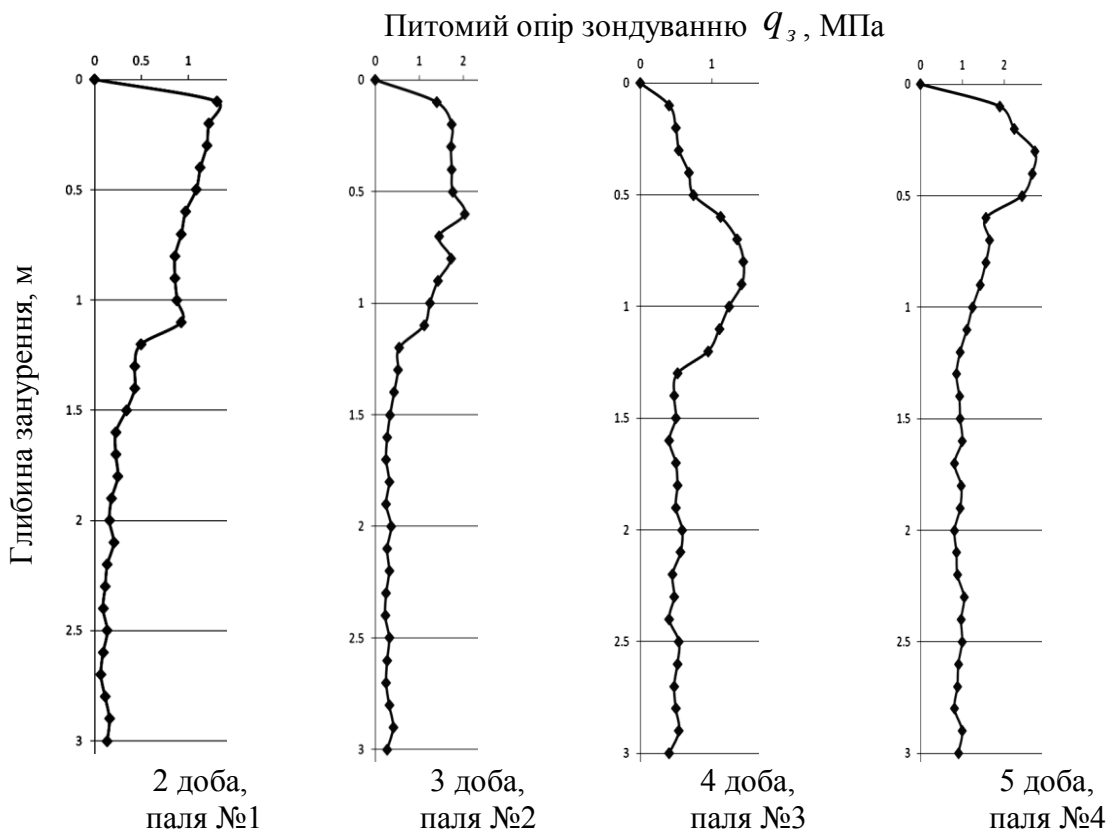


Рисунок 5 – Епюри питомого опору зондуванню

За результатами попередніх досліджень виявлено, що підвищення опору зондуванню викликане в першу чергу підвищенням вмістом цементу, а також більш

високою температурою та зниженою вологістю приповерхневого шару ґрунту. Для визначення вмісту цементу були відібрані проби ґрунтоцементу зі свердловин, що утворились після зондування.

Визначення вмісту цементу в ґрунтоцементі можна виконати за трьома методиками.

Перша методика ґрунтується на визначенні кількості хімічно зв'язаної води у реакції гідратації цементу. Для цього виконуються такі операції:

- проводиться подрібнення матеріалу перемелюванням;
- видаляється фізично зв'язана вода методом висушування матеріалу у сушильній шафі при температурі 105°C до досягнення постійної ваги;
- сухий матеріал для видалення хімічно зв'язаної води прожарюють при температурі 150°C до постійної ваги;
- за відношенням маси хімічно зв'язаної води до маси сухого матеріалу, щільністю скелета та терміном тужавіння ґрунтоцементу за раніше встановленими тарувальними залежностями встановлюється відсотковий вміст цементу в дослідних зразках.

Друга методика ґрунтується на визначенні кількості цементного каменю. Для цього виконуються такі операції:

- подрібнення матеріалу перемелюванням;
- перемішування з водою до утворення суспензії;
- гравітаційна сепарація цементного каменю;
- у сушильній шафі при температурі 105°C до досягнення постійної ваги окремо з цементного каменю відсепарованого ґрунту видаляється фізично зв'язана вода;
- отримані матеріали для видалення хімічно зв'язаної води прожарюють при температурі 150°C до постійної ваги;
- за відношенням мас ґрунту і цементного каменю встановлюється відсотковий вміст цементу в дослідних зразках.

Третя методика ґрунтується на порівнянні залишкової лужності водної витяжки із збездвоженої проби порушеної структури із залишковою лужністю з калібрувальної залежності кількості цементу у ґрунтоцементі від лужності. Калібрувальна залежність попередньо встановлюються на стандартних зразках ґрунтоцементу того ж віку твердіння, що і досліджувана проба, і має наступний вигляд:

$$C_{\text{ц}} = f(V_{0,1\text{N HCl}}, T), \quad (3)$$

де $C_{\text{ц}}$ – відношення кількості цементу до маси повітряно-сухого ґрунту, %;

$V_{0,1\text{N HCl}}$ – об'єм 0,1 N розчину HCl, витрачений на нейтралізацію залишкової вільного луку цементу, мл;

T – вік ґрунтоцементу, діб.

Для цього виконуються такі операції:

- на стандартних зразках з різним віком їх тужавіння встановлюють калібрувальну залежність $C_{\text{ц}} = f(V_{0,1\text{N HCl}}, T)$.

- проби висушують у сушильній шафі до постійної ваги при температурі 105 ° C (з метою виключення впливу вологості), розтирають і просівають через сито з діаметром 1 мм;

- з кожної проби готують водну витяжку: на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г зважується наважка підготовленої проби ґрунтоцементу (50 г), поміщається в колбу, мірної колбою додається дистильована вода в співвідношенні вода: ґрунт = 5:1 (250 мл) і перемішується протягом 3 хв. Далі розчин фільтрується через фільтр «біла стрічка». Потім у фільтраті визначають залишкову лужність шляхом відбору піпеткою аліквоти (50 мл), яка титрується 0,1 N розчином HCl в присутності індикатора фенолфталеїну до знебарвлення малинового забарвлення. Обсяг кислоти, витраченої на

нейтралізацію залишкової вільної лужності цементу, є показником, який визначає кількість цементу в пробі, а отже, і рівня якості ґрунтоцементу.

Авторами була використана друга методика, яка має найменшу складність виконання. Перевищення цементу у шарах ґрунтоцементу з підвищеною міцністю склало від 37 до 61 % від проектного значення, а нижчі шари були збіднені на 5 – 12 %.

Інтенсивність збільшення міцності у часі для виявленого шару дещо вища порівняно з розташованими нижче шарами ґрунтоцементу. Тому очікується, що застосування методу статичного зондування та порівняння інтенсивності збільшення міцності різних шарів протягом часу дозволить отримувати дані щодо рівномірності розподілу цементу в об'ємі ГЦЕ.

Для порівняння результатів лабораторних та польових випробувань обмежимося значеннями останніх, отриманих для глибин більше 1,5 метра, та віком ГЦЕ, починаючи з другої доби. Результати лабораторних та польових визначень питомого опору зондуванню ґрунтоцементу наведені у табл. 1.

Отже, порівнявши отримані результати польових випробувань із значеннями, отриманими за лабораторними функціональними емпіричними залежностями, можна зробити висновок про адекватність цих залежностей.

Таблиця 1 – **Результати лабораторних та польових визначень питомого опору зондуванню ґрунтоцементу**

| Вік ґрунто-цементного елемента | За лабораторними випробуваннями q_b , МПа | За польовими випробуваннями q_b , МПа | Коеф. варіації V, % |
|--------------------------------|---|---|---------------------|
| 3 | 0,4354 | 0,493 | 13,18 |
| 4 | 0,9581 | 0,921 | 11,34 |
| 5 | 1,4380 | 1,410 | 9,31 |

З наведених досліджень можна зробити наступні **висновки**.

1. Для контролю якості ГЦЕ поряд із загальноприйнятими методами повноправно може використовуватись метод статичного зондування розширеним наконечником.

2. Залежності питомого опору зондуванню, отримані в лабораторних умовах, були підтверджені польовими випробуваннями.

3. Під час випробувань було виявлено явище підвищення міцності у верхніх шарах ГЦЕ, обумовлене підвищеним вмістом цементу і більш високою температурою, та зниженою вологістю приповерхневого шару ґрунту.

4. Опір зондуванню виявлених «зміцнених» шарів може перевищувати допустимі межі навантаження зонда, тому для попередження його пошкодження рекомендується: виконувати бурінням свердловину на глибину нижче залягання неоднорідності; провести попереднє зондування ГЦЕ у віці однієї доби для виявлення меж неоднорідності та створення свердловини для подальшого зондування; встановлювати при виготовленні ГЦЕ циліндричну опалубку, що видаляється для утворення свердловини.

Надалі необхідно встановити причини утворення неоднорідності та розробити методику визначення кількості вмісту цементу в ГЦЕ, зокрема з використанням методу статичного зондування та порівняння інтенсивності збільшення міцності різних шарів із підвищенням віку ГЦЕ.

Література

1. Horpibulsuk, S. A new approach for studying behavior of cement stabilized clays / S. Horpibulsuk, N. Miura // *Proceedings of 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)*. – Istanbul, Turkey – 2001. – vol. 3. – P. 1759 – 1762.
2. Feng, T.W. Fall cone penetration and water content relationship of cement stabilized clays / T. W. Feng // *Geotechnique*. – 2000. – 50(2). – P. 181 – 187.
3. Muhunthan, B. Interpretation of geotechnical properties of cement treated soils. / B. Muhunthan, F. Sariosseiri // *Research Report FHWA Contract DTFH61-05-C-00008*. – Washington: Washington State University, 2008. – Pp. 57 – 59.
4. Vatsala, A. Elastoplastic model for cemented soils / A. Vatsala, R. Nova, B.R. Srinivasa Murthy // *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*. – Reston, USA: American Society of Civil Engineers. – 2001. – P. 679 – 687.
5. Способ контроля качества цементогрунта. Патент на изобретение Российской Федерации RU 2298789 от 10.05.2007. / Б.Н. Исаев, Н.Н. Цапкова, А.Г. Лунев, В.С. Бадеев, М.В. Кузнецов, И.Ю. Морозова.
6. Зоценко, М.Л. Исследование особенностей определения физико-механических свойств песчаных грунтов методами пенетрации и зондирования: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.Л. Зоценко. – Воронеж, 1969.
7. Разоренов, В.Ф. Пенетрационные испытания грунтов / В.Ф. Разоренов. – М.: Стройиздат, 1980. – 248 с.
8. Вагидов, М.М. Исследование особенностей определения механических свойств грунтов и несущей способности свай пенетрацией и статическим зондированием: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. / В.Ф. Вагидов. – Полтава, 1975.
9. ДСТУ Б В.2.1-9-2002 (ГОСТ 19912-2001). Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. Державний комітет України з будівництва та архітектури. – Київ, 2002.
10. Коган, В.В. Применение статического зондирования для контроля качества свай при струйной технологии / В.В. Коган, Б.В. Гончаров, Н.Б. Гареева // *Тр. II Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментоведению – Ч.І. –Эффективные фундаменты, сооружаемые без выемки грунта*. – Полтава: ПолтГУ, 1995. – С. 56 – 59.
11. Зоценко, М.Л. Пенетрационные исследования процесса твердения грунтоцемента / М.Л. Зоценко, С.Г. Ясько // *Строительство, материаловедение, машиностроение*. – №65. – Днепропетровск: ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», 2012. – С. 245 – 252.
12. Ясько, С.Г. Малогабаритна установка статичного зондування / С.Г. Ясько, М.М. Вагидов // *Будівельні конструкції*. – №75. – Київ: ДП НДіБК. – С. 497 – 506.

Надійшла до редакції 28.09.2012

© С.Г. Ясько, В.М. Зоценко