

## **ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ РОЗШИРЕНИМ НАКОНЕЧНИКОМ**

*Наведено результати дослідно-конструкторських робіт із створення обладнання для польових досліджень якості ґрунтоцементних елементів методом статичного зондування розширеним наконечником.*

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

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** При зведенні й реконструкції будівель суттєва частина витрат припадає на влаштування фундаментів і підготовку ґрунтових масивів. Тому вимоги до продуктивності технологічних операцій і 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 струминною. Підвищення якості, зменшення термінів і собівартості виготовлення ГЦЕ та паль нерозривно 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 недостатньо повному обсязі, особливо при паралельному використанні різних за достовірністю методів досліджень та вихідних компонентів ґрунтоцементу. Можна припустити, що в цьому напрямі існують значні можливості ефективнішого врахування особливостей конкретних майданчиків, вихідних компонентів і достовірності методів, які використовують для контролю якості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми й на які спираються автори, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** 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 й 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 пенетрації.

Усе це зумовлює 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 й оперативне оцінювання 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 нині набув подальшого розвитку із застосуванням тензодатчиків, автоматичного запису результатів і використання вбудованих інклінометрів, датчиків порового тиску, температури й ін., 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 виконують при діаметрі наконечника, що перевищує діаметр штанг у 1,6 і більше разів. При такому співвідношенні, крім 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 струминною технологією, і встановлено функціональну залежність для визначення міцності ґрунтоцементу віком 3 доби при одновісному стисненні за даними зондування (вихідні компоненти: портландцемент ПЦ П/Б-Ш-400 марки 400, 20% від ваги скелета та лесований суглинок  $W=0,20$ ,  $I_p = 12,3$ ,  $\rho = 1,53 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_d = 1,3 \text{ т/м}^3$ ,  $V/C = 2,7$ ,  $OK = 11 \text{ см}$ ):

$$s_{сж} = 0,12 + 0,1 \times q_3 \text{ МПа}, \quad (1)$$

де  $q_3$  – питомий опір зондуванню, МПа.

У праці [11] в лабораторних умовах за допомогою методів пенетрації та статичного зондування розширеним наконечником була встановлена

функціональна залежність для визначення міцності ґрунтоцементу від віку зразків ( $T$ , діб) та температури ґрунтоцементу ( $t$ , °C):

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

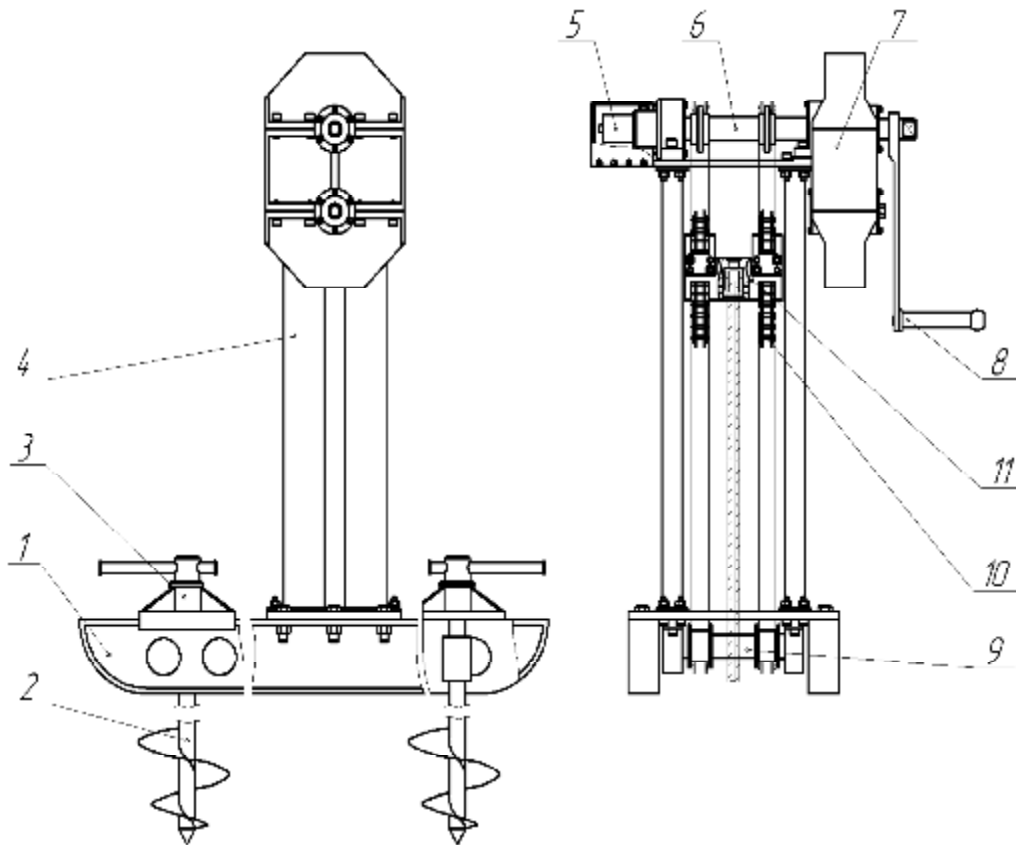
Отже, виходячи з останніх досліджень і публікацій, можна зазначити, що актуальним питанням залишається підтвердження отриманих залежностей під час польових випробувань та вивчення пов'язаних з цим аспектів.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Широке застосування методу статичного зондування обмежується високими вартістю обладнання та габаритно-масовими показниками. До того ж використання цього методу в умовах існуючої забудови та складного рельєфу місцевості викликає певні труднощі при застосуванні зондувальних установок на автомобільному шасі. Все це обумовлює необхідність створення сучасного малогабаритного дослідницького обладнання для статичного зондування.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** 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 представлено на рисунку 1.

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

Установка працює таким чином. Першу штангу із закріпленим зондом установлюють у вузол для закріплення штанг. Обертанням рукоятки редуктора приводять у рух вал із привідними зірочками і тяговими ланцюгами. Вузол для закріплення штанг рухається разом із штангою та зондом – відбувається процес зондування. У процесі втискування зонда оператор має можливість візуального контролю глибини й швидкості занурення.

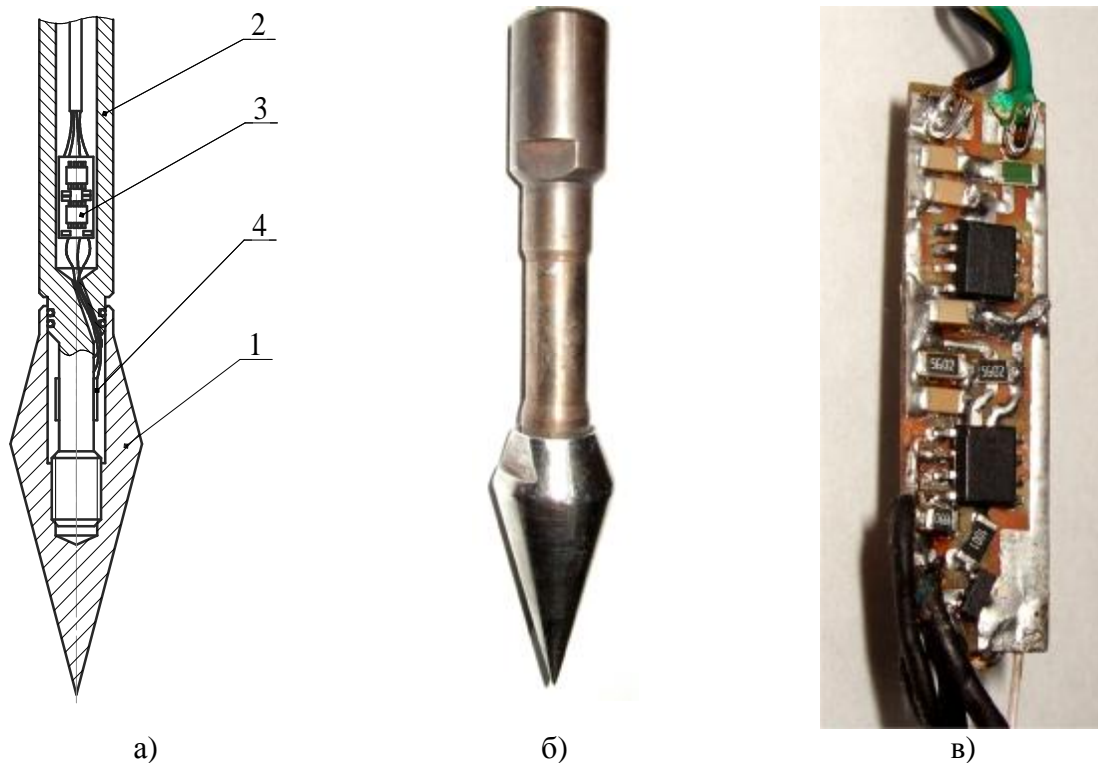


**Рис. 1.** Загальний вигляд установки статичного зондування ЕКФА – 010: 1 – лижі; 2 – ґрунтові анкери; 3 – платформа та гвинт для закріплення; 4 – стояки; 5 – пристрій відліку глибини занурення зонда; 6 – вал із привідними зірочками; 7 – редуктор двошвидкісний; 8 – рукоятка; 9 – вал із ланцюговими барабанами;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

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 СОР для оброблення і зберігання вимірювальної інформації. Кабель розташовується всередині трубчастих штанг. За необхідності зонд можна оснастити вбудованими інклінометрами, датчиком парового тиску, температури тощо.

Будову та зовнішній вигляд розробленого авторами вимірювального тензометричного зонда з конічним наконечником показано на рисунку 2, а,б, відповідно, а прецензійна вимірювальна система зонда – на рисунку 2, в.

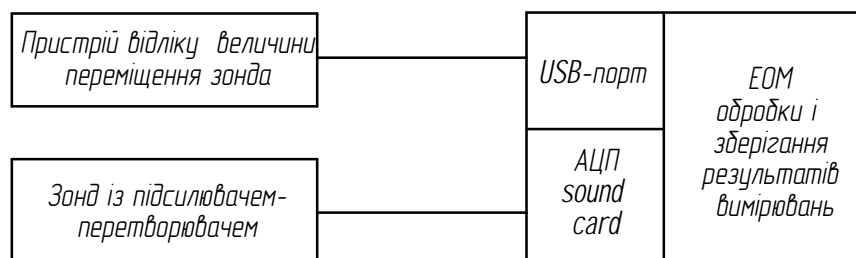
Вимірювальний комплекс також можна використовувати на бурозмішувальних установках, обладнаних спеціальним адаптером.



**Рис. 2. Будова тензометричного зонда (а), зовнішній вигляд зонда (б), прецензійна вимірювальна система зонда (в)**

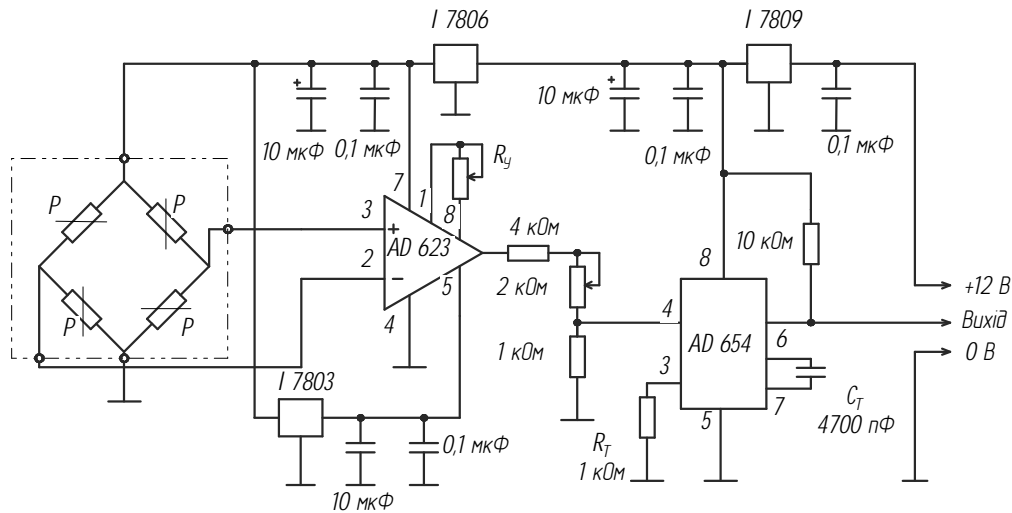
Було розроблено два варіанти конструкції вимірювальної системи з використанням:

- АЦП звукової карти EOM,
- мікросистеми збору даних m-DAQ.



**Рис. 3. Структурна схема вимірювальної системи з використанням АЦП звукової карти EOM**

Як вимірювальний підсилювач в обох конструкціях використовують інтегральний вимірювальний (інструментальний) підсилювач фірми Analog Devices - AD623. Коефіцієнт підсилення  $K_u$  задається одним резистором налаштування підсилення  $R_u$ .



**Рис.3. Електрична схема підсилювача-перетворювача тензодатчика тиску зонда для вимірювальної системи з використанням АЦП звукової карти ЕОМ**

Перетворювачі «напруга-частота» (ПНЧ) є, на нашу думку, одними з найбільш недорогих засобів перетворення сигналів для введення аналогової інформації з підсилювачів сигналів тензодатчиків в ЕОМ, що забезпечує високу перешкодозахищеність і простоту гальванічної розв'язки. ПНЧ перетворює вхідну напругу в частоту вихідних імпульсів, які можуть передаватися на великі відстані без спотворення інформаційного параметра - частоти.

Нами був застосований ПНЧ фірми Analog Devices - AD654, якому необхідні всього два зовнішніх елементи – резистор  $R_T$  і конденсатор  $C_T$  для задання необхідної вихідної частоти генератора.

Зчитування імпульсів відбувається за допомогою звукової карти ЕОМ.

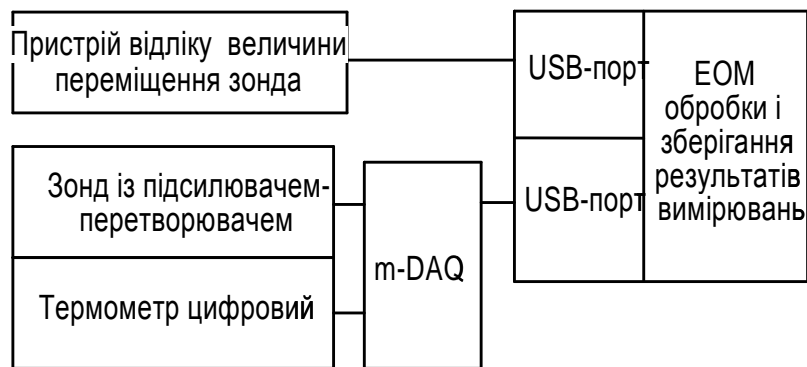
Аналого-цифрове перетворення «частота-код» здійснюється шляхом підрахунку імпульсів за фіксований інтервал часу, тобто усередненням. Якщо цей інтервал зробити кратним періоду коливань сигналу основної перешкоди, то вплив перешкоди пригнічується повністю. Ця властивість особливо корисна для вимірювання сигналів низького рівня з шумами, наприклад сигналів з тензодатчиків.

У другому варіанті вимірювальної системи оброблення та зберігання вимірювальної інформації відбувається за допомогою мікросистеми збору даних m-DAQ виробництва фірми «ХОЛИТ™ Дэйта Системс» (Україна), рис. 4.



**Рис.4. Мікросистема збору даних m-DAQ**

Структурна будова вимірювальної системи зондувальної установки ЕКФА – 010 показана на рисунку 5.



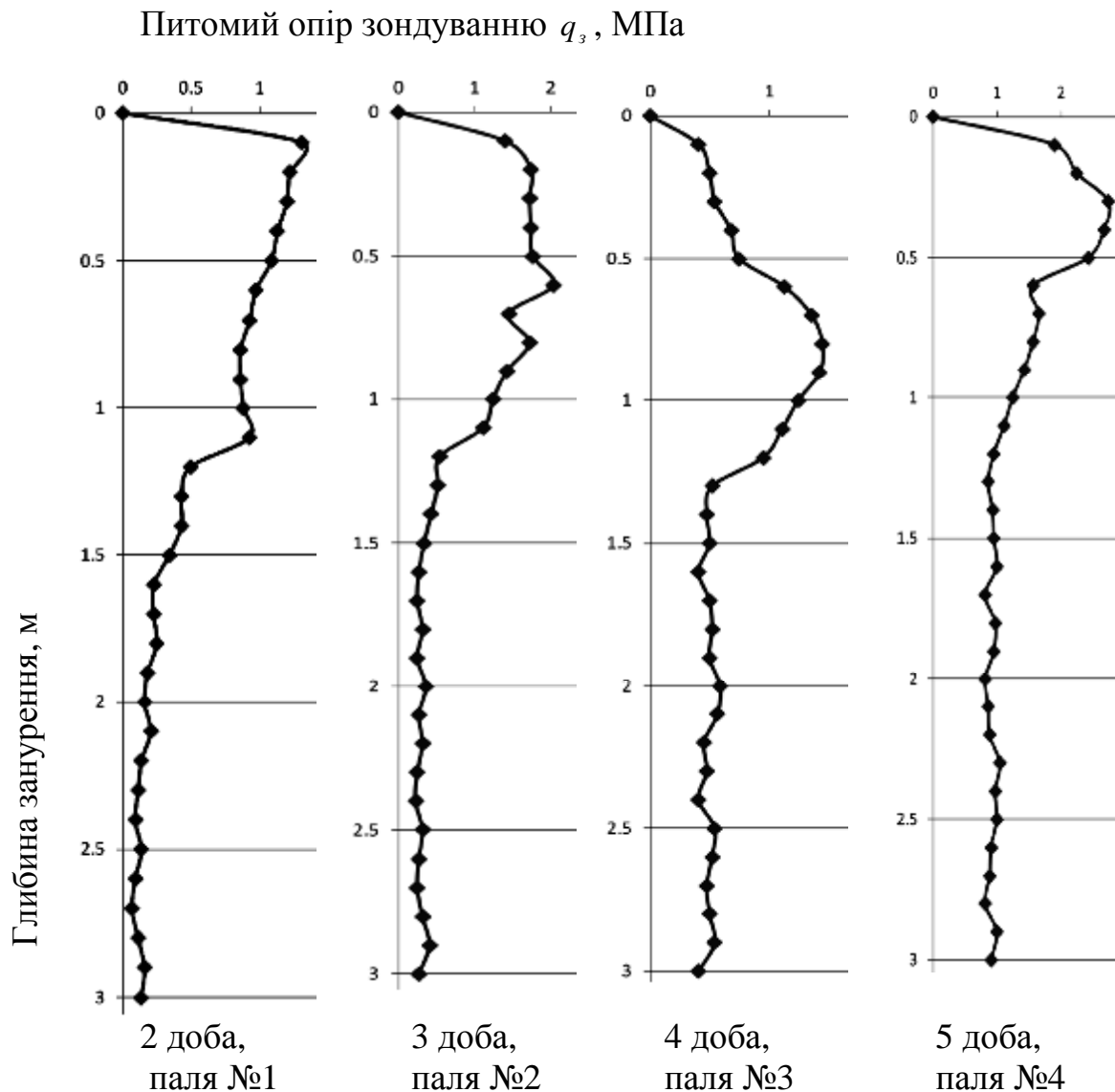
**Рис. 5. Структурна будова вимірювальної системи зондувальної установки ЕКФА – 010**

Використовуючи раніше назване 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 раніше наведеними характеристиками, видобутих з цього майданчика.

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

За результатами попередніх досліджень виявлено, що підвищення опору зондуванню викликане в першу чергу підвищеним 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.

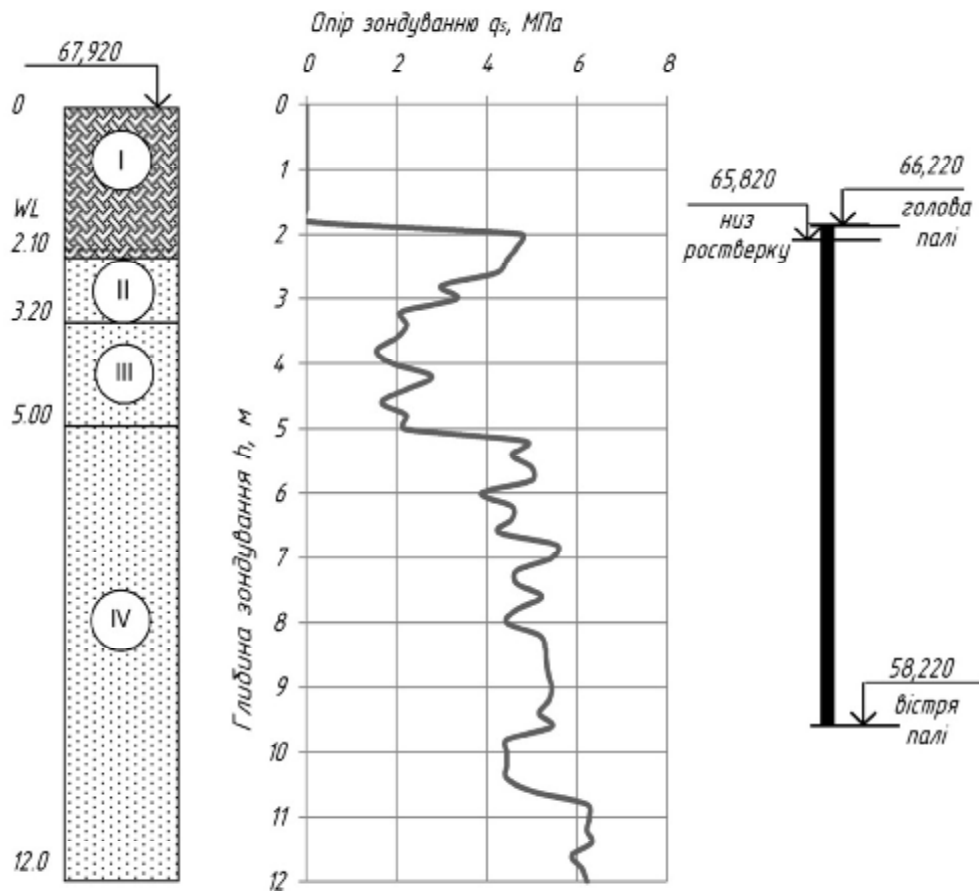


**Рис. 5. Епюри питомого опору зондуванню**

Інтенсивність збільшення міцності у часі для виявленого шару трохи 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.

Установка для статичного зондування була запроваджена у виробництво та використовувалась під час виконання дослідження товщі ґрунтів майданчика будівництва будівлі медичного оздоровчого пункту з житловим блоком по вул. Квартальній у м. Кременчук Полтавської обл. На рисунку 6 наведено результати зондування товщі ґрунтів ТЗ-6 цього майданчика.





**Рис. 6.** Графік статичного зондування товщі ґрунтів ТЗ-6 майданчика будівництва будівлі медичного оздоровчого пункту з житловим блоком по вул. Квартальній у м. Кременчук Полтавської обл.: I – насипний ґрунт, будівельне сміття; II – пісок дрібний, від пухкого до середньої щільності, насичений водою; III – пісок пілуватий, середньої щільності, насичений водою; IV – пісок середньої крупності, середньої щільності, насичений водою

### **Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі**

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 підтвержені польовими випробуваннями.

3. Під час випробувань було виявлено явище підвищення міцності у верхніх шарах ГЦЕ, зумовлене 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 запобігання його пошкодженню рекомендується: виконувати бурінням свердловину на глибину нижче від 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 й 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.I. – Эффективные фундаменты, сооружаемые без выемки грунта. – Полтава: ПолтНТУ, 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. Вагідов // Будівельні конструкції. – №75. – Київ: ДП НДіБК. – С. 497 – 506.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© С. Г. Ясько, Г. Г. Ясько

**УДК 624.131.35**

*С. Г. Ясько, аспірант,  
Г. Г. Ясько, ст. преподаватель  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАСШИРЕННЫМ НАКОНЕЧНИКОМ**

*Приведены результаты опытно-конструкторских работ по созданию оборудования для полевых исследований качества грунтоцементных элементов методом статического зондирования уширенным наконечником.*

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

**UDC 624.131.35**

*S. G.Yasko, Post-graduate,  
G. G.Yasko, Senior Lecturer  
Poltava National Technical University named in honour of Yuriy Kondratyuk*

## **EQUIPMENT 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.