

materials.

Analysis of high-rise construction projects multifunctional complexes allows to distinguish two main trend of building construction for the next 10 – 20 years: first, architectural singularity, secondly, environmental projects, which is dictated by the need to ensure the physical and psychological comfort sverhurbanizirovannoy human environment.

REFERENCES

1. Vysotnye zdaniya. – 2013. – № 5 [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://tallbuildings.ru/en/archive>.
2. Vysotnye zdaniya. – 2014. – № 1 [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://tallbuildings.ru/en/archive>.
3. Koljasnikov V. A. Teorija gradostroitel'stva : sovremennye napravlenija i koncepcii / V. A. Koljasnikov. – Ekaterinburg : Arhitekton, 2003. – 322 s.
4. Kononovich Ju. V. Osnovy jekologicheskogo planirovanija gradostroitel'noj dejatel'nosti / Ju. V. Kononovich, A. D. Potapov. – M. : MGSU, 1999. – 368 s.
5. Naseleni punkty Ukrainy [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
6. Naselennja Ukrainy [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
7. Ogorodnikov I. A. Jekologicheskoe domostroenie. Problemy jekologizacii gorodov v Mire, Rossii, Sibiri / I. A. Ogorodnikov, V. A. Grigor'ev. – M. : GPNTB SO RAN, 2001. – 152 s.
8. Tetior A. N. Gorodskaja jekologija / A. N. Tetior. – M. : Akademija, 2008. – 336 s.
9. Tetior A. N. Ustojchivoje razvitie. Ustojchivoje proektirovanie i stroitel'stvo / A. N. Tetior. – M. : RJeFIA, 1998. – 310 s.

Відомості про автора:

Заяць Євген Іванович, к. т. н., доцент планування і організації виробництва Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: 3E183DICI@mail.ru.

УДК 624.131

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТІВ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

В. О. Сахаров, к. т. н., доц.

Київський національний університет України, м. Київ

Ключові слова: *ґрунт, динамічна пружність, в'язкість, модель кельвіна, компресійні випробування, датчик переміщення, електронна система збору даних*

Постановка проблеми. При динамічних навантаженнях ґрунтів швидкість зміни та час дії навантаження має значний вплив на процес деформування. Кожний ґрунт має свої особливості поведінки при різних швидкостях навантаження в залежності від його в'язкопружних властивостей. При повільних навантаженнях найбільш вагомими є процеси повзучості та фільтрації, що впливають на деформування в часі, і для оцінки яких існують загально прийняті нормативні методики отримання відповідних параметрів. Для випадку швидких динамічних та, у тому числі, сейсмічних навантажень, існуючі методи розрахунків часто зводяться до використання емпіричних параметрів, отриманих на основі результатів статичних випробувань. Такий підхід є неоднозначним і потребує спеціального обґрунтування для кожного окремого випадку. В умовах сейсмічних навантажень важливу роль відіграють в'язкопружні властивості ґрунтів, які суттєво впливають на процеси згасання коливань і напружено-деформований стан конструкцій. Тому більш обґрунтованими є методики, що базуються на безпосередньому визначенні відповідних параметрів на основі динамічних випробувань.

Аналіз публікацій. Сучасні моделі ґрунтів для дослідження взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля» при динамічних та в т. ч. сейсмічних навантаженнях базуються на узагальненнях моделі Кельвіна [1]. Експериментальні компресійні дослідження впливу властивостей в'язкості на характер деформування ґрунту неодноразово приводились в роботах Д. Д. Баркана [2], М. Д. Краснікова [3], П. Л. Іванова [4] та багатьох інших вчених. В роботах

Ю. Л. Винникова [5] за дослідженнями в'язко-пружних властивостей ґрунтів зазначалось, що їх модуль деформації змінюється в залежності від швидкості деформацій.

За результатами М. Д. Краснікова, В. І. Ростікова, Р. В. Уайтманна та ін. [3] в'язкісні властивості ґрунту проявляються в діапазоні швидкостей навантажень більших за 0,24 МПа/хв. При середніх швидкостях понад 220 ... 290 МПа/хв вплив в'язкості на деформації ґрунту значно зменшується. При цьому переважають лише пружні деформації із сталим динамічним модулем. Для такого класу досліджень існують спеціальні прилади зі складною системою реєстрації даних, такі як прилад Д. Вілсона [6], А. Казагранде, В. Шанона [7], Н. Я. Хархути [8] та ін., які дозволяють регулювати швидкість навантаження або деформацій в широкому діапазоні значень. Однак це вимагає спеціальних навичок роботи, високу вартість і ручну обробку даних.

Досліди В. І. Ростікова, М. Д. Краснікова та ін. показали, що з підвищенням швидкості навантаження за рахунок незворотних процесів зменшується повна деформація, в той час як її пружна складова залишається незмінною (рис. 1).

Мета статті. Проведення досліджень динамічних параметрів можна виконувати в умовах одновісного стиснення при різних швидкостях навантаження, коли проявляються в'язкісні властивості ґрунту. Такі випробування безпосередньо не можна проводити на базі стандартного лабораторного устаткування. Тому необхідна розробка нового, або модифікація стандартного обладнання для визначення динамічних параметрів ґрунтів в широкому діапазоні навантажень.

Метою роботи є створення та реалізація методики дослідження динамічних параметрів ґрунтів в лабораторних умовах з розробкою відповідного устаткування, яке дозволяє фіксувати зміни напружено-деформованого стану зразків при високих швидкостях навантажень.

Виклад матеріалу. З порівняння моделей Фойгта і Кельвіна (рис. 2) відомо, що при повільному русі, коли швидкість деформацій () прямує до нуля, обидві моделі збігаються і відповідають закону Гука з модулем . Але при динамічних процесах, коли швидкості деформацій значно перевищують величину самих деформацій виникає принципова різниця в поведінці моделей. Згідно моделі Фойгта напруження будуть зростати пропорційно швидкостям деформацій, тобто матеріал буде поводити себе як в'язкий ньютонівський, пружні властивості якого мають другорядне значення.

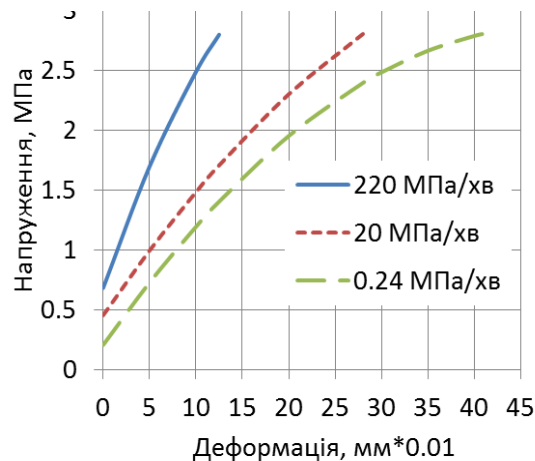


Рис. 1. Діаграма σ - ϵ при одновісному стисненні ґрунту при різних швидкостях навантаження за результатами В. І. Ростікова [3]

Матеріал Кельвіна при високих швидкостях зміни деформацій і напружень, коли цими величинами відносно їх швидкостей можна знехтувати, веде себе як пружний, але з динамічним модулем пружності, що відповідає експериментальним даним багатьох дослідників [3; 4].

Параметри E_V та μ_V моделі Кельвіна характеризують в'язкопружні властивості ґрунту при високих швидкостях деформацій. При чому, при коливальному русі в'язкість має вплив як на амплітуду, так і частоту коливань, і може бути визначена на основі аналізу амплітудно-частотних характеристик ґрунту.



Рис. 2. Реологічна модель Фойгта (а) та Кельвіна (б)

Визначення модуля пружності (E_V) можна здійснити на базі спеціальних компресійних випробувань при швидкісному динамічному навантаженні. При компресійному стисненні відбувається ущільнення ґрунту, яке супроводжується зміною модуля деформації (E_H). Приймаючи до уваги, що при високих швидкостях навантажень (понад 220...290 МПа/хв) вплив в'язкості є незначним [3], модуль пружності (E_V) може бути визначений через миттєвий динамічний (E_D) та статичний модуль (E_H).

$$E_V = E_D - E_H \quad (1)$$

З врахуванням цього випробування зразків ґрунту проводяться по наступній програмі:

1. Підготовлений згідно рекомендацій ДСТУ [9] зразок № 1 ґрунту встановлюється в стандартний одометр.

2. Проводиться випробування ґрунту від дії статичних навантажень в заданому діапазоні навантажень (до P_{Dmax}) із часом стабілізації одна хвилина на кожній ступені [3]. Кількість та значення ступенів може бути прийнята за рекомендаціями ДСТУ [9]. За результатами будуватиметься залежність короточасного статичного модуля деформацій від навантаження.

3. Підготовлений аналогічно першому зразок № 2 встановлюється в модифікований для швидкісного навантаження одометр.

4. Проводиться випробування при високих швидкостях навантажень в заданому діапазоні (до P_{Dmax}). За результатами будуватиметься залежність миттєвого динамічного модуля деформацій (E_D) від рівня навантаження і швидкості його зміни.

5. При швидкостях навантажень, де в'язкими деформаціями ґрунту можна знехтувати, визначають параметр (E_V) за формулою (1).

У випадку необхідності розроблена методика дозволяє проводити визначення параметрів E_V та μ_V . Як зазначалось вище в'язко-пружна поведінка ґрунтів добре описується реологічною моделлю Кельвіна (рис. 2), яка відповідає диференційному рівнянню при змінних модулях E_H та в'язкості μ :

$$\eta(E_H + E'_H \varepsilon + E_V) \dot{\varepsilon} + E_H \varepsilon = \eta \dot{\sigma} + \sigma, \quad (2)$$

де η – час релаксації:

$$\eta = \frac{\mu_V}{E_V}, \quad E_H = E_H(\varepsilon), \quad E'_H = \frac{\partial E_H}{\partial \varepsilon} = E'_H(\varepsilon). \quad (3)$$

Відомо, що модуль деформації (E_H) при зміні напружень не є сталою величиною. Тому на відміну від класичного варіанту [10], де E_V та E_H вважаються константами, в ліву частину рівняння входить ще добуток дотичного модуля та деформації ($E'_H \varepsilon$).

Якщо вважати, що величини E_H та E'_H при заданих деформаціях ε , напруженнях σ та їх швидкостях є відомими, то невідомими величинами залишаються η та μ_V . Тоді рівняння (2) доцільно переписати у вигляді:

$$\eta(E_H \dot{\varepsilon} + E'_H \varepsilon \dot{\varepsilon} - \dot{\sigma}) + \mu_V \dot{\varepsilon} = \sigma - E_H \varepsilon, \quad (4)$$

Для визначення невідомих η та μ_V за результатами випробувань необхідно отримати дані по напруженням і відповідним їм деформаціям, а також їх швидкостям, визначеним при умовах, коли в'язкопружні властивості мають найбільший вплив на процес деформування. По даним, отриманим при різних швидкостях навантаження, складаються два рівняння (4). Позначаючи напруження і деформації, заміряні в різні проміжки часу для першого варіанту швидкості навантаження індексами з одним штрихом, а другого варіанту – індексами з подвійним штрихом, можна записати:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_1' + \sigma_2'}{2}; \quad \varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_1' + \varepsilon_2'}{2}; \quad E_{H1}(\varepsilon_1); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_1 &= \frac{\sigma_2' - \sigma_1'}{\Delta t}; & \dot{\varepsilon}_1 &= \frac{\varepsilon_2' - \varepsilon_1'}{\Delta t}; & E'_{H1}(\varepsilon_1); \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_1'' + \sigma_2''}{2}; & \varepsilon_2 &= \frac{\varepsilon_1'' + \varepsilon_2''}{2}; & E_{H2}(\varepsilon_2); \\ \dot{\sigma}_2 &= \frac{\sigma_2'' - \sigma_1''}{\Delta t}; & \dot{\varepsilon}_2 &= \frac{\varepsilon_2'' - \varepsilon_1''}{\Delta t}; & E'_{H2}(\varepsilon_2); \end{aligned}$$

Для двох варіантів співвідношень складаються рівняння відносно η та μ_V :

$$\begin{cases} a_{11}\eta + a_{12}\mu = q_1, \\ a_{21}\eta + a_{22}\mu = q_2, \end{cases} \quad (6)$$

де $a_{11} = E_{H1}\dot{\varepsilon}_1 + E'_{H1}\varepsilon_1\dot{\varepsilon}_1 - \dot{\sigma}_1$, $a_{12} = \dot{\varepsilon}_1$, $q_1 = \sigma_1 - E$
 $a_{21} = E_{H2}\dot{\varepsilon}_2 + E'_{H2}\varepsilon_2\dot{\varepsilon}_2 - \dot{\sigma}_2$, $a_{22} = \dot{\varepsilon}_2$, $q_2 = \sigma_2 - E_{H2}\varepsilon_2$

Розв'язок системи рівнянь (6) з урахуванням (3), відповідає формулам:

$$\begin{aligned} \Delta &= a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}, & \Delta_1 &= q_1a_{22} - q_2a_{12}, & \Delta_2 &= a_{11}q_2 - a_{21}q_1 \\ \eta &= \frac{\Delta_1}{\Delta}, & \mu_V &= \frac{\Delta_2}{\Delta}, & E_V &= \frac{\mu_V}{\eta} \end{aligned} \quad (7)$$

Для підвищення точності розрахунків при наявності декількох результатів випробувань з різними швидкостями, можна скористатись методом найменших квадратів і знаходити η та μ_V за статистичними даними.

Складністю проведення динамічних випробувань є зняття та реєстрація показників деформацій та напружень в необхідному діапазоні швидкостей навантажень. При високошвидкісних процесах застосування стандартних механічних прогиномірів або індикаторів суттєво обмежено або зовсім неможливе внаслідок інерційності останніх. В цьому випадку необхідне використання малогабаритних електронних датчиків, таких як резистивні, індуктивні, ємкісні тощо, здатних працювати з високою точністю при високих швидкостях. Промислові системи та датчики мають велику вартість і часто потребують спеціального не менш дорогого додаткового обладнання, необхідного для підсилення і обробки сигналу. Крім того, для реєстрації даних потрібно застосовувати спеціальні системи на базі запам'ятовуючих осцилографів або стандартних комплексів збору даних на базі високоточних АЦП, здатних синхронно обробляти та реєструвати дані з високою частотою (наприклад прилади серії РМХ компанії НВМ).

В запропонованій методиці дослідження можуть виконуватись на базі модифікованого стандартного компресійного приладу «КПр-1» (або подібного). Схема обладнання представлена на рисунку 3. Висока швидкість навантаження досягається за рахунок миттєвого прикладання вантажів на важільну систему одометра, які в подальшому рухаються силами тяжіння та інерції. Варіюючи навантаженням або демпфуванням переміщень вантажів, досягаються різні швидкості в межах заданого діапазону. Слід зазначити, що такий рух вантажів є нерівномірним і вимагає проведення вимірювання параметрів досліду з високою частотою і достатньою точністю в широкому діапазоні навантажень.

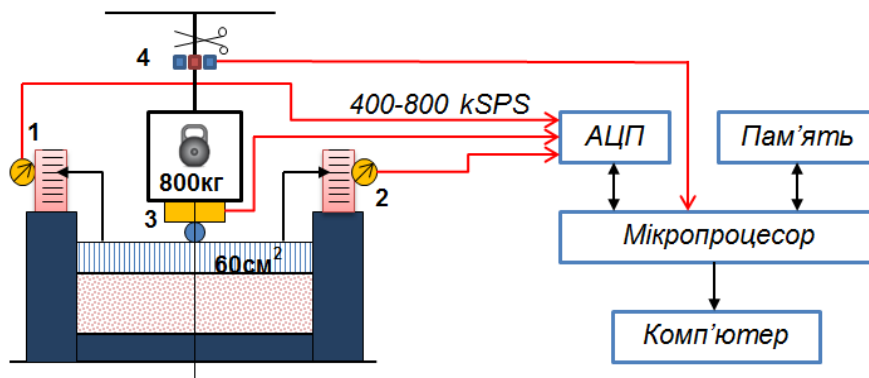


Рис. 3. Схема приладу компресійного випробування ґрунту для дослідження динамічних показників в умовах одновісного стиснення: 1...3 – датчики переміщень та зусилля; 4 – безконтактний датчик системи спуску

Внаслідок інерційності механічних датчиків було вирішено використовувати електронні

датчики. Для фіксації поточного навантаження зручно використовувати тензометричні датчики сили. Також можна скористатись стандартним динамометром «ДС-1», встановивши на нього датчики переміщення. Беручи до уваги, що деформація пружини (зближення верхньої та нижньої площин) динамометра для створення тиску до 1 МПа є малою і не перевищує 0,3 мм, вимірювалось зближення площадок індикатора через стаціонарну важільну систему динамометра. Для проведення досліджень динамометр було встановлено між системою навантаження одометра та штампом. Для визначення поточних значень переміщень штампу та площин динамометра спочатку використовувались високоточні резистивні датчики лінійного переміщення. Проте, проведені попередні дослідження показали, що переміщення штампу при пружних деформаціях для різних ґрунтів знаходяться в діапазоні 0,2...0,5 мм, що висуває високі вимоги до точності виставлення, розподільної здатності та інерційності датчиків. Крім того, лінійні датчики із підпружиненим штоком передають додаткове навантаження на зразки і мають обмежений діапазон частоти руху. У разі застосування безпружинних штоків, виникає складність кріплення останніх до двох поверхонь та збереження співосового руху і забезпечення відсутності люфту у випадку шарнірного кріплення. В цих умовах найбільш доцільно та зручно використовувати безконтактні датчики переміщень.

В основу принципу визначення переміщень безконтактним способом було обрано вимірювання зміни магнітного поля. Особливістю такого принципу є те, що при наближенні до магнітного джерела щільність поля зростає, що підвищує розподільчу здатність та точність вимірювання. Це узгоджується із характером деформування ґрунту та потребами експерименту. В якості магніточутливого елемента використано датчик Холла з чутливістю $\pm 40 \dots 60$ мТ. При додатковому електронному доповненні створений датчик забезпечив точність 0,7 % із розподільчою здатністю менш ніж 0,01 мм.

В якості джерела магнітного поля використовувались кременеві та неодимові магніти, які є стійким до розмагнічування та мають фіксоване магнітне поле. Датчики мали невеликий розмір, безконтактний спосіб вимірювання при доступній вартості і можуть бути легко змонтовані на широкому спектрі устаткування. Для проведення досліджень такими датчиками були оснащено динамометр та штамп одометра (рис. 4, а).

Для швидкого зняття та реєстрації параметрів було створено «Систему збору даних», на базі 8-бітного мікроконтролера ATME16, 16-бітного (SAR) АЦП та прецизійного мультиплексора фірми AnalogDevices, а також набору мікросхем пам'яті EEPROM фірми ATME16, загальним об'ємом до 512 кВ. Зазначена система забезпечила оперативний зйом, оцифрування та реєстрацію даних (рис. 4, б) із частотою до 1 кSPS. Система оснащена індикатором, кнопками керування та USB-інтерфейсом для з'єднання, конфігурування і передачі даних на комп'ютер.

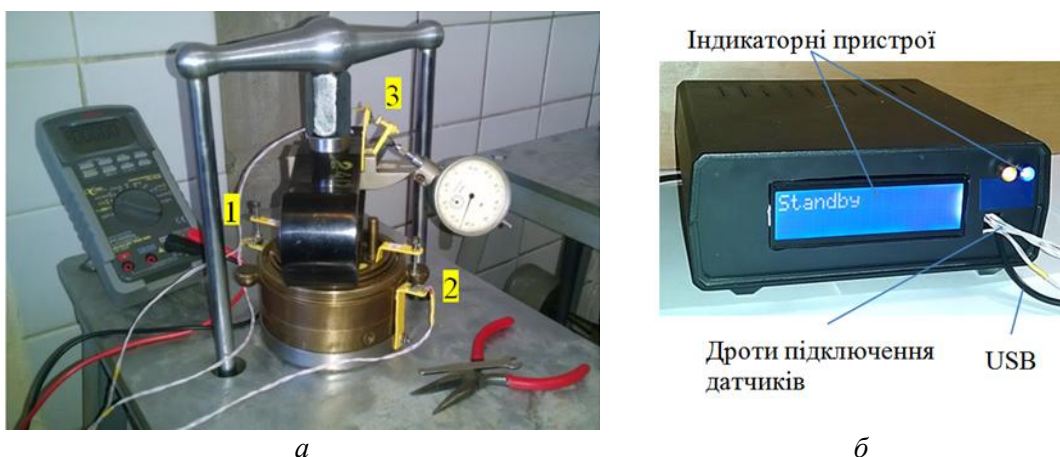


Рис. 4. Змонтовані датчики для вимірювання переміщень штампу та навантаження (а) та прилад системи збору даних (б): 1, 2 – датчик переміщень, 3 – датчик для вимірювання навантаження

Таким чином проведення випробування згідно розробленої програми зводиться до наступних дій:

- підготовлений зразок № 1 ґрунту встановлюється в одометр, встановлюються

динамометр, датчики переміщень, які підключаються до системи збору даних;

- у відповідності до п. 2 програми випробувань проводиться визначення залежностей короткочасного модуля деформації шляхом прикладання різних вантажів на важільну систему одометра та автоматичної реєстрації даних проведення експерименту;

- для отримання динамічного модуля встановлюється зразок № 2, динамометр, датчики переміщень, які разом з датчиком спуску підключаються до системи збору даних;

- комплект вантажів системи важеля одометра для створення необхідного тиску на ґрунт (P_{Dmax}) підвищується до натяжної системи та врівноважується в нульовому положенні. За допомогою гвинта регулювання натяжної системи прикладається початкове навантаження (P_{Dmin});

- спусковим механізмом натяжної системи миттєво від'єднується система важеля одометра із вантажами. При цьому відбувається швидке ущільнення ґрунту від вантажів, що рухаються під дією сил тяжіння та інерції із паралельною реєстрацією і запам'ятовуванням даних випробування.

В процесі випробувань навантаження слід обирати виходячи із робочого діапазону навантажень ґрунту та за умов наявності щільного контакту штампів із зразком ґрунту. Вага вантажів (M) при динамічному випробуванні орієнтовно може бути визначена, як:

$$M = \frac{1}{2} A \cdot P_{Dmax} \quad (8)$$

де A – площа штампів.

В якості прикладу застосування методики для отримання параметру E_v було проведено дослідження динамічних властивостей для піску середньої крупності щільного однорідного малого ступеня водонасичення. Результати обробки випробувань для статичного короткочасного модуля деформацій та динамічного модуля приведені на рисунку 5, 6. Короткочасний модуль деформацій для діапазону навантажень 0,15...0,3 МПа склав 36 МПа.

Як видно із графіка (рис. 5), статичний (січний) модуль після 0,1 МПа змінюється практично за лінійним законом. Під час «ударного навантаження» швидкість навантаження змінюється. В діапазоні від 0 до 40 мс вона зростає від 0,35 до 8 МПа/с і при 96 мс досягла свого максимуму в 15 МПа/с. На цій ділянці відбувалось максимальне деформування ґрунту. В подальшому швидкість навантаження зменшувалась і на 147 мс вже не перевищувала 3 МПа/с. В діапазоні від 45 до 96 мс, коли швидкість навантаження достатньо висока і дозволяє знехтувати впливом в'язкості, графіки мають мінімальну кривизну і дозволяють з достатньою точністю використовувати лінійну апроксимацію (рис. 6).

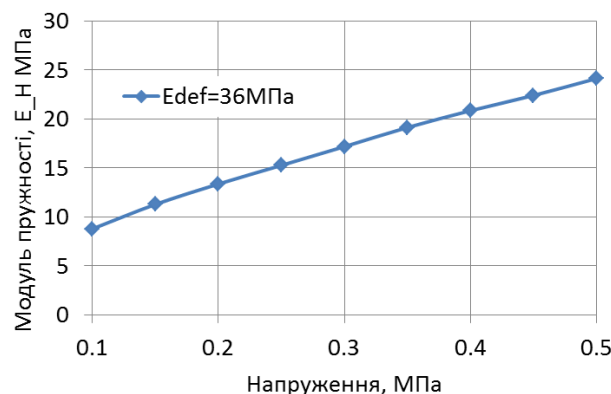


Рис. 5. Результати випробування ґрунту при статичних (короткочасних) навантаженнях

Це означає, що на даній ділянці сталій швидкості деформацій відповідає стала швидкість напружень, тобто миттєвий модуль деформації є також сталою величиною. Важливо зазначити, що з точки зору моделі Фойгта при високих швидкостях, коли напруження практично залежать тільки від в'язкості ґрунту (σ), при сталій швидкості деформацій напруження повинно бути незмінним. Але це суперечить результатам експерименту і підтверджує коректність вибору моделі Кельвіна, де швидкість напружень пропорційна швидкості деформацій.

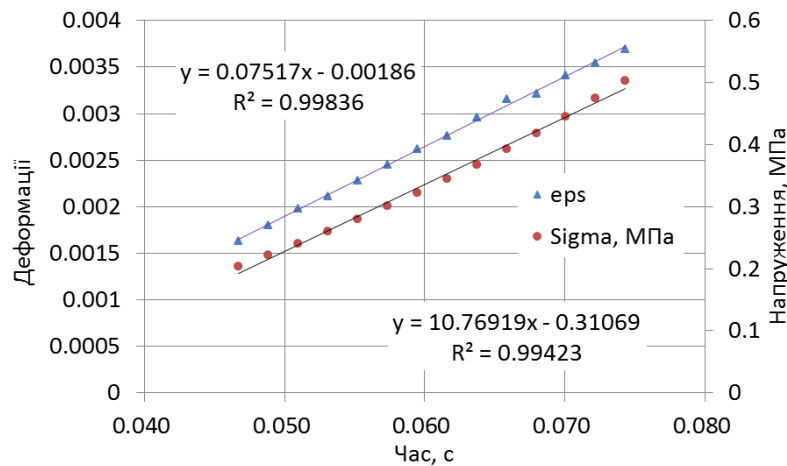


Рис. 6. Результати випробування ґрунту при динамічному навантаженні

Отриманий динамічний модуль пружності при цьому склав $E_D = 143$ МПа. Скориставшись рівнянням (1), можна розрахувати параметр E_V , який для діапазону 0,2...0,5 МПа склав $E_V = 119...130$ МПа.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблене і реалізоване устаткування та методика визначення динамічних параметрів ґрунту на базі модифікованого стандартного компресійного приладу дозволяє проводити визначення параметрів в'язкості та динамічної пружності ґрунтів в широкому діапазоні швидкостей навантажень.

2. Показано, що для дослідження динамічних параметрів ґрунту в умовах компресійного стиснення необхідно фіксувати переміщення та деформації з високою частотою та точністю, в зв'язку з чим доцільно використовувати автоматизовані системи збору даних.

3. Створені безконтактні вимірювачі переміщень на базі датчиків Холла з використанням стандартного динамометра ДС-1 дають можливість визначення напружень та деформацій з високою точністю. Розроблена та реалізована автоматизована система збору даних забезпечує оперативний зйом, оцифровування та реєстрацію даних випробувань при високих швидкостях динамічних процесів.

4. Експериментально підтверджено, що при високих швидкостях навантаження поведінка ґрунту не відповідає моделі Фойгта, але добре описується моделлю Кельвіна.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- Сахаров В. О. Модель нелінійного деформування ґрунтової основи при сейсмічних навантаженнях / В. О. Сахаров [Текст] // Основи та фундаменти. Міжвід. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 33 – С. 34 – 46.
- Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – 409 с.
- Красников Н. Д. Динамические свойства ґрунтов и методы их определения. – Л. : Стройиздат, 1970. – 240 с.
- Иванов П. Л. Ґрунты и основания гидротехнических сооружений. – М. : Высш. шк., 1985 – 352 с.
- Винников Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі. Монографія – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 237 с.
- Bolton M. D., Wilson J. M. R. Soil stiffness and damping. Structure Dynamics, Kratziget. al (eds) / M. D. Bolton, J. M. R. Wilson // Cambridge university, UK. – Rotterdam: Balkema, 1990 – P. 209 – 216.
- Gasagrande A., Schanon W. Z. Strength of soils under dynamic loads / Proceedings. ASCE 1948. – Vol. 74. – № 8.
- Хархута Н. Я. Реологические свойства ґрунтов / Н. Я. Хархута, В. М. Иевлев. – М. : Автотрансиздат, 1961. – 62 с.
- ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і реформованості. – К., 1997. – 102 с.
- Ржаницын А. Р. Теория ползучести. – М. : Стройиздат, 1968. – 418 с.

SUMMARY

Problem definition. Under dynamic load, both rate of change and duration of the load can affect the process of soil deformation. Analysis of dynamic soil parameters can be carried out under uniaxial compression conditions while subjected to the high velocity load at which time soil manifests both viscous and elastic properties. Carrying out such tests in the laboratory environment requires development of the specialized equipment and methods for determining the dynamic parameters of the soil under a wide range of loads.

Purpose. Design and development of the methodology to analyze dynamic soil parameters in the laboratory conditions; construction of the equipment to record changes in the stress-strain state of soil samples under high velocity load with automatic data transfer to a computer system for further analysis.

Analysis of recent research. Numerous authors studied the viscoelastic soil properties in order to analyze the effect of dynamic loads (in particular, seismic loads) on the soil base. Fundamental studies of sandy and clay soils at different strain rates are found in the works by D. D. Barkan, M. D. Krasnikov, P. L. Ivanov and others. Highly specialized mechanical devices have been designed in order to determine dynamic soil parameters. However, those devices utilized overly complex data recording systems, relying on costly manual data processing and requiring special operator skills.

Results. The paper describes underlying principles of the designed electronic device and high-precision sensors for automated data collection and logging of the dynamic viscosity and elasticity soil parameters, based on the standard compression device "KPr-1". It also shows that the study of soils at various load velocities enables the determination of the dynamic system parameters for a wide range of loads. The results of experiments conducted on sandy soil are presented as an example.

Conclusion. Analysis of the dynamic soil parameters under compression was conducted using the designed data acquisition system, allowing the measurement of shifts and deformations in the soil to be performed with high precision and frequency. The experiments confirmed, that under high velocity load, soil behavior does not follow the Voigt model, but can be accurately described using the Kelvin model.

REFERENCES

1. Sakharov V. O. Model' neliniynoho deformuvannya gruntovoyi osnovy pry seysmichnykh navantazheniyakh / V. O. Sakharov [Tekst] // Osnovy ta fundamenty. Mizhvid. nauk.-tekhn. zb. – K. : KNUBA, 2013. – Vyp. 33 – S. 34 – 46.
2. Barkan D. D. Dinamika osnovanij i fundamentov. – M. : Strojvoenmorizdat, 1948. – 409 s.
3. Krasnikov N. D. Dinamicheskie svojstva gruntov i metody ih opredelenija. – L. : Strojizdat, 1970. – 240 s.
4. Ivanov P. L. Grunty i osnovanija gidrotehnicheskikh sooruzhenij. – M. : Vyssh. shk., 1985 – 352 s.
5. Vinnikov Ju. L. Matematichne modeljuvanja vzaemodii fundamentiv z ushil'nenimi osnovami pri ih zvedenni ta nastupnij roboti. Monografija – Poltava: PoltNTU, 2004. – 237 s.
6. Bolton M. D., Wilson J. M. R. Soil stiffness and damping. Structure Dynamics, Kratziget. al (eds) / M. D. Bolton, J. M. R. Wilson // Cambridge university, UK. – Rotterdam: Balkema, 1990 – P. 209 – 216.
7. Gasagrande A., Schanon W. Z. Strength of soils under dynamic loads / Proceedings. ASCE 1948. – Vol. 74. – № 8.
8. Harhuta N. Ja. Reologicheskie svojstva gruntov / N. Ja. Harhuta, V. M. Ievlev. – M. : Avtotransizdat, 1961. – 62 s.
9. DSTU B V.2.1-4-96 (GOST 12248-96). Grunty. Metodi laboratornogo viznachennja harakteristik micnosti i reformovanosti. – K., 1997. – 102 c.
10. Rzhanicyn A. R. Teorija polzuchesti. – M. : Strojizdat, 1968. – 418 s.

Відомості про автора:

Сахаров Володимир Олександрович, к. т. н., доц., кафедра основ і фундаментів Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: vladland@gmail.com