

*Я.Й. Червинський, к.т.н., с.н.с., зав. відділом  
А.М. Дворник, м.н.с.*

*Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій, м. Київ*

## **АНАЛІЗ СТАНУ НОРМАТИВНОГО ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ**

*Наведено результати аналізу чинної нормативної бази, а також вітчизняного та закордонного досвіду в питаннях дослідження динамічних властивостей ґрунтів. Розглянуто діючі нормативні документи України, Російської федерації, Білорусії та Єврокоду 7 Євросоюзу. Встановлено, що в Україні методики визначення динамічних властивостей ґрунтів у нормативних документах відсутні.*

**Ключові слова:** *нормативні документи, динамічні властивості ґрунтів, тиксотропія, віброкомпресія, віброповзучість, динамічна стійкість пісків.*

*Я.И. Червинский, к.т.н., с.н.с., зав. отделом  
А.М. Дворник, м.н.с.*

*Научно-исследовательский институт строительных конструкций, г. Киев*

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НОРМАТИВНОГО И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ҐРУНТОВ В УКРАИНЕ**

*Приведены результаты анализа существующей нормативной базы, а также отечественного и зарубежного опыта по вопросам исследования динамических свойств ґрунтов. Рассмотрены действующие нормативные документы Украины, Российской федерации, Белоруссии и Еврокода 7 Евросоюза. Установлено, что в Украине методики определения динамических свойств ґрунтов в нормативных документах отсутствуют.*

**Ключевые слова:** *нормативные документы, динамические свойства ґрунтов, тиксотропия, виброкомпрессия, виброползучесть, динамическая устойчивость песков.*

*Ya.Y. Chervinsky, Ph.D., Senior Scientist, Head. department  
A.M. Dvornik, junior researcher  
Research Institute Building Structures, Kiev*

## **ANALYSIS OF REGULATORY AND RESEARCH TOOL SUPPORT DYNAMIC PROPERTIES OF SOILS IN UKRAINE**

*Results of the analysis of the existing regulatory framework, as well as domestic and foreign experience for studying dynamic properties of soils. Considered valid regulations of Ukraine, Russian Federation, Belarus and EU Eurocode 7. Found that in Ukraine methods for determining the dynamic properties of the soils in the regulations are not available.*

**Keywords:** *regulations, the dynamic properties of soil, thixotropy, vibro compression, vibrocreeping, dynamic stability of sand.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Дослідження динамічних властивостей ґрунтів мають

велике практичне значення в умовах постійного підвищення інтенсивності техногенного вібраційного впливу на геологічне середовище, будівництво в сейсмічних районах та інших особливих умовах, а також при виборі методики вишукувань під будь-які споруди, що працюють в умовах динамічного навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Вивчення питань дослідження динамічних властивостей ґрунтів займалися Н.М. Герсеванов, В.А. Флорін, М.М. Маслов, П.Л. Іванов, І.В. Дудлер, Ю.М. Абелев, В.І. Осіпов, В.Д. Казарновський, Е.А. Вознесенський, О.В. Аслибекян, Г. Сід, А. Казагранде, Г. Кастро, І. Ідріс, К. Ішихара та багато інших науковців. У більшості робіт основна увага приділяється дослідженню особливостей поведінки ґрунту безпосередньо при втраті динамічної стійкості. Для інженерної практики велике значення має визначення умов, за яких відбувається втрата динамічної стійкості ґрунтів і в першу чергу – прогнозування додаткових деформацій основи та її взаємодії зі спорудою.

Вознесенський Е.А. [1] динамічну нестійкість ґрунтів пропонує класифікувати за формою прояву та за механізмом енергетичних перетворень:

1. Можливі реакції ґрунтів на динамічні навантаження:

- руйнування від втоми;
- динамічне ущільнення;
- часткове зниження міцності або повна її втрата.

2. Механізми динамічної нестійкості ґрунтів:

- втома (переважно для ґрунтів з жорсткими структурними зв'язками);
- тиксотропія;
- квасітиксотропія;
- дилатантно-тиксотропні ефекти;
- динамічна дилатансія.

Характерними формами реакції пісків на динамічні навантаження є наступні:

1. Віброповзучість та віброкомпресія;

2. Розрідження водонасиченого піску, що пов'язане зі швидким підвищенням порового тиску на фоні ущільнення ґрунту аж до зникнення ефективних напружень;

3. Зниження несучої здатності ґрунту може проявлятися менш контрастно: при обмежених зсувних деформаціях це проявляється в стані так званої «циклічної рухливості» і є характерним для щільних пісків, які мобілізують значний опір динамічному навантаженню навіть при нульовому ефективному напруженні;

4. Розущільнення (додатна дилатансія) маловологих щільних пісків, що супроводжується зниженням їх міцності [1].

Для кількісної характеристики динамічних властивостей ґрунтів застосовуються дві достатньо широкі групи показників. Для оцінки властивостей ґрунтів як середовища розповсюдження хвиль використовують наступні основні величини [2]:

- ряд динамічних модулів ґрунту – модуль Юнга, динамічний модуль зсуву та ін.;
- коефіцієнт Пуассона;
- характеристики затухання хвиль у ґрунтах.

Для оцінки динамічної нестійкості ґрунтів залежно від поставленої задачі можуть застосовуватися [2]:

1. Характеристики розрідження ґрунтів: відношення циклічних напружень, деформація розрідження та надлишковий поровий тиск.

2. Параметри зсувної міцності залежно від: а) кількості циклів впливу; б) швидкості деформування; в) силових та часових параметрів динамічного навантаження (амплітуди напружень, частоти, тривалості);

3. Параметри міцності на розрив, зріз, одноосьовий стиск, згин та кручення (при випробуваннях скальних ґрунтів на втомлюваність).

4. Розподіл напружень та деформацій в об'ємі моделі, загальний характер та швидкість її руйнування чи деформування.

**Виділення раніше не вирішених частин загальної проблеми, котрим присвячена стаття.** Актуальність теми обумовлена дискусійністю і недостатньою вивченістю багатьох питань динамічної стійкості ґрунтів, незважаючи на значну кількість досліджень у цій області. На сьогодні відсутні достатньо прості методики для розрахунків основ з урахуванням особливих властивостей ґрунтів при динамічних впливах.

**Мета роботи** – аналіз та оцінка стану чинної нормативної бази України в питаннях дослідження динамічних властивостей ґрунтів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У діючому в *Україні* нормативному документі ДБН В.2.1-10-2009 [3] окремо виділені додаткові вимоги до проектування основ та фундаментів при особливих впливах, умовах, навантаженнях, а саме – в зоні динамічних впливів (розділ 11 [3]). Також вказано на необхідності враховувати у проектах заходи щодо зменшення негативного впливу динамічних навантажень на ґрунти основи, проводити лабораторні та польові дослідження з визначення динамічних властивостей ґрунтів, обумовлюються можливі заходи захисту основ та будівель від негативної дії вібрацій. Відповідно до п. 11.1.8 «осідання фундаментів при сумісній дії статичних та динамічних навантажень слід визначати з урахуванням динамічних характеристик ґрунту, отриманих за результатами випробувань вібраційними штампами або за даними експериментальних випробувань фундаментів вібромашинами; відповідно до п. 11.1.11 «за наявності в основі споруд водонасичених пісків дрібних, пілуватих, з включенням органічних речовин слід проводити дослідження за спеціальною методикою для визначення характеристик ґрунтів при вібраціях залежно від частоти динамічних навантажень та їх виду (силове або кінематичне) для прогнозу можливості розущільнення та (або) віброповзучості ґрунтів». Більш детальні вказівки чи рекомендації щодо «спеціальної методики випробувань» у ДБН В.2.1-10-2009 [3] відсутні.

У нормативному документі ДБН В.1.1-12-2006 [4] в табл.1.1 вказано, що для пухких водонасичених пісків сейсмічність ділянки будівництва встановлюється не залежно від сейсмічності району, а за «результатами спеціальних досліджень» динамічних властивостей ґрунтів.

У ДБН В.2.3-7-2003 [5] вказано на необхідність захисту основ будівель та споруд від можливих негативних впливів вібрації (п.16.1 [5]). У таблиці 20 [5] приведена орієнтовна оцінка віброприскорень поверхні ґрунту при розташуванні тунелю метрополітену. У п. 16.4 [5] рекомендується приймати розрахункові значення динамічних параметрів ґрунтів за уточненими дослідницькими даними, а для орієнтовних розрахунків запропоновані табличні значення залежності динамічного модуля пружності від швидкості поздовжніх і поперечних хвиль. Так, наприклад, для водонасичених пісків при швидкості поздовжніх та поперечних хвиль  $C_p = 1400-1500$  м/с та  $C_s = 250-320$  м/с відповідно значення динамічного модуля пружності рекомендується приймати  $E = 710-920$  МПа (табл. 23 [5]).

У діючому в *Російській федерації* СП 23-105-2004 [6] вказано на необхідність експериментального визначення на місці динамічних та дисипативних характеристик ґрунтів у природних геологічних та викликаних техногенними факторами умовах міста. Розділ 4 присвячений визначенню фізико-механічних властивостей ґрунту при розрахунках вібрації від руху поїздів метрополітену. У цьому випадку під динамічними властивостями ґрунтів розглядаються властивості середовища розповсюдження хвиль

вібрації. У додатку Б, подібно до ДБН В.2.3-7-2003 [5], приведений розрахунок віброприскорень на поверхні ґрунту від руху поїздів у тунелях.

Більш детальні рекомендації щодо визначення динамічних властивостей ґрунтів відображені в будівельних правилах Російської федерації СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть V. Правила производства работ с особыми природно-техногенными условиями» [7] та СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений» [8]. У вказаних нормативних документах визначені умови, за яких необхідно проводити лабораторні дослідження, основні вимоги до процесу проведення, дослідницької установки та результатів досліджень, подано опис польового визначення схильності ґрунтів до розрідження. Вказані рекомендації викладені в додатку Г – «Лабораторные динамические испытания ґрунтов» СП 11-105-97 [7] та в додатку Л – «Динамические испытания ґрунтов» СП 11-114-2004 [8]. Динамічні дослідження ґрунтів необхідно проводити для визначення показників властивостей, що проявляються при змінних навантаженнях у наступних випадках: при будівництві в сейсмічних районах з бальністю 6 та більше або при можливих динамічних впливах, пов'язаних із будівництвом та експлуатацією споруд. Динамічні дослідження можуть не проводитися, якщо розрахункові динамічні навантаження не перевищують статичні більш ніж на 5%.

Дослідження слід проводити на спеціальних приладах, що дозволяють передавати на зразки ґрунту поряд зі статичними навантаженнями динамічні навантаження, що змінюються за частотою та амплітудою [7,8]. Міцнісні та деформаційні властивості ґрунтів в умовах динамічного навантаження визначаються в стабілометрах в умовах трьохосового стиску з динамічним характером навантаження. Деформаційні властивості ґрунтів в умовах динамічного навантаження допускається визначати в одометрах. Визначення міцнісних властивостей ґрунтів при дії динамічних навантажень проводиться за консолідовано-недренованою (закритою) схемою з контролем тиску порової води, що дозволяє визначити ефективний тиск.

При розрахунку характеристик діюче на зразок навантаження приймається як сума статичного навантаження та амплітуди динамічного навантаження. За результатами досліджень визначаються величини динамічних коефіцієнтів як відношення розрахункових характеристик, отриманих в умовах статичного навантаження, до таких же характеристик, що отримані в умовах динамічного навантаження.

Метод експериментального визначення критичного прискорення коливань заснований на виконанні таких вимог:

$$\alpha_{\text{факт}} < \eta_{\text{кр}}, \quad (1)$$

де  $\alpha_{\text{факт}}$  – максимальне діюче прискорення коливань;

$\eta_{\text{кр}}$  – критичне прискорення коливань.

Критичне прискорення коливань являється природною властивістю ґрунту і визначається за результатами досліджень ґрунту на вібростолі як прискорення, при якому не виникає додаткових деформацій ґрунту. При виконанні вказаної умови в подальшому дослідженні динамічної стійкості ґрунту не має потреби. У процесі лабораторних динамічних досліджень на розрідження слід визначати: критичний рівень, що свідчить про початок розрідження – досягнення відносної осьової деформації зразка 5%; критична відносна амплітуда впливів (динамічного навантаження) – величини відносної амплітуди напруження, при перевищенні якої зразок витримує менше 10000 циклів навантаження.

У перелічених нижче нормативних документах Російської федерації містяться лише лаконічно сформульовані вимоги враховувати динамічні властивості ґрунтів при проектуванні основ та здійснювати заходи по зменшенню можливого негативного впливу вібрації на динамічно-нестійкі ґрунти:

– ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. – Санкт-Петербург: Ленстройинжсервис, 2004 [9];

– СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. – М.: Госстрой России, 2004 [6];

– ГОСТ Р 52892- 2007. Вибрация зданий. – М.: Стандартиформ, 2008 [10].

У діючій нормативній базі *Білорусії* можна виділити лише два нормативних документи, в яких коротко згадується про необхідність враховувати динамічні властивості ґрунтів при проектуванні основ:

– СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. – Минск: Минстройархитектуры, 1999 [11];

– СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Минск: Минстройархитектуры, 1999 [12].

Вимоги враховувати динамічні властивості ґрунтів при проектуванні основ та здійснювати заходи по зменшенню можливого негативного впливу вібрації на динамічно-нестійкі ґрунти викладені в нормативному документі *Євросоюзу* Єврокод 7 [13]. У частині 2, що описує методи дослідження та випробування ґрунту, методика дослідження динамічних властивостей відсутня. На основі цього документу створений та діє на даний час український норматив ДСТУ-Н Б EN 1997-2:2010 Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 2. Дослідження та випробування ґрунту. (EN 1997-2:2007, IDT).

**Висновки з даного дослідження.** Проаналізувавши діючі нормативні документи України, Російської федерації, Білорусії та Єврокоду 7 Євросоюзу можна зробити наступні висновки:

1. У нормативних документах кожної з перерахованих держав наголошується на необхідності виконувати спеціальні дослідження динамічних властивостей ґрунтів. Інформація про дослідження динамічних властивостей ґрунтів має здебільшого довідковий та рекомендаційний характер у всіх нормативних документах.

2. Методики виконання окремих спеціальних досліджень динамічних властивостей ґрунтів наведені у будівельних правилах Російської федерації СП 11-105-97 та СП 11-114-2004. Тут приведені загальні вимоги щодо вибору типу випробувальної установки та процесу випробувань.

3. В Україні методики визначення динамічних властивостей ґрунтів у нормативних документах відсутні. Необхідно визначити перелік та методи цих досліджень, а також забезпечити відповідною нормативною та випробувальною базою.

#### *Література*

1. Вознесенский, Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках / Е.А. Вознесенский. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 288 с.

2. Трофимов, В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Г.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров. – 6-е изд., переработ, и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

3. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 78 с.

4. ДБН В.1.1-12:2006. Будівництво в сейсмічних районах України. – К.: Мін. буд, арх. та житл.-комун. госп України, 2006. – 82 с.

5. ДБН В.2.3-7:2003. Споруди транспорту. Метрополітени. – К.: Держбуд України, 2003.

6. СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. – М.: Госстрой России, 2004.
7. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями. Приложение Г. Лабораторные динамические испытания грунтов – М.: Госстрой России, 1997. – 48 с.
8. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. Приложение Л. – М.: Госстрой России, 2004. – 50 с.
9. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. – СПб.: Госстрой России, 2004. – 46 с.
10. ГОСТ Р 52892- 2007. Вибрация зданий. – М.: Стандартинформ, 2008. – 52 с.
11. СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. – Минск, 1996. – 37 с.
12. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Минск, 1999. – 60 с.
13. Eurocode 7: Geotechnical design. Eurocode 7: Geotechnical design. – Part 1: General rules, EN 1997-1:2004 (E), (F) and (G), November 2004, European Committee for Standardization: Brussels.
14. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов: учеб. для гидротехн. спец. вузов / П.Л. Иванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 200 с.
15. Ишихара, К. Поведение грунтов при землетрясениях / пер. с англ. под ред. А.Б. Фадеева, М.Б. Лисюка / НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект». – СПб., 2006. – 150 с.

Надійшла до редакції 19.09.2012  
© Я.Й. Червинський, А.М. Дворник