

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**В. А. Александрович**

**ГЕОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЗА ЄВРОКОДАМИ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної і заочної форм навчання  
освітнього рівня «магістр»  
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
освітньо-наукова програма «Промислове і цивільне будівництво»)*



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2020**

## УДК 624.1

**Александрович В. А.** Геотехнічне проєктування за Єврокодами : конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-наукова програма «Промислове і цивільне будівництво» / В. А. Александрович; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 50 с.

Автор канд. техн. наук, доц. В. А. Александрович

### Рецензент

**Г. М. Левенко**, кандидат технічних наук, доцент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології, протокол № 2 від 21.09.2019.*

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам будівельних спеціальностей вузів при підготовці до занять, заліків та іспитів з предмету геотехнічне проєктування за Єврокодами.

© В. А. Александрович, 2020

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020

## ЗМІСТ

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                      | <b>4</b>  |
| <b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ОСНОВИ ГЕОТЕХНІЧНОГО<br/>ПРОЄКТУВАННЯ.....</b>                   | <b>5</b>  |
| Тема 1 Стан нормативної літератури Єврокод 7 .....                                     | 5         |
| Тема 2 Принципи і методи геотехнічного проєктування.....                               | 9         |
| Тема 3 Складання звіту з геотехнічного проєктування .....                              | 16        |
| <b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА<br/>ПРИРОДНІЙ ОСНОВІ.....</b>        | <b>22</b> |
| Тема 4 Принципи і методи проєктування .....                                            | 22        |
| Тема 5 Проєктування будівельних конструкцій.....                                       | 29        |
| <b>ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАЛЬОВИХ<br/>ФУНДАМЕНТІВ.....</b>              | <b>33</b> |
| Тема 6 Загальні положення. Граничні стани .....                                        | 33        |
| Тема 7 Опір пальового фундаменту стиску та зсуву. Вертикальне<br>переміщення палі..... | 39        |
| Тема 8 Нагляд за будівництвом.....                                                     | 43        |
| <b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ .....</b>                                                             | <b>49</b> |

## ВСТУП

ЄВРОПЕЙСЬКІ СТАНДАРТИ З ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЄВРОКОДИ (EUROCODES) становлять комплект Європейських стандартів з проєктування конструкцій будівель і споруд, що розробляються у відповідності з програмою дій у сфері будівництва, яка була прийнята Комісією Європейської Спільноти у 1975 році на основі статті 95 Договору. Комплект складається з 10 стандартів, кожний з яких складається з окремих частин (загалом 58 стандартів), які на першій стадії мали слугувати альтернативою чинним національним правилам Держав-членів, а у 2010 році замінили їх і були визнані країнами Європейського Союзу як еталонні документи для доведення відповідності будівель і споруд основним вимогам Директиви Ради 89/106/ЕЕС щодо будівельних виробів, а також як основа для укладання контрактів для будівель і споруд та пов'язаних з ними інженерних послуг. Стандарти, що передбачають процедуру Національної імплементації, яка признає відповідальність регуляторних органів країн-членів та захищає їх право на призначення величин, які пов'язані з регулюванням питань безпеки на національному рівні там, де вони відрізняються у різних країнах.

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЄВРОКОДІВ Кожна країна (Національний орган з стандартизації) реалізує Єврокод або відповідну частину Єврокоду як Національний стандарт, опублікувавши перекладений (ідентичний) текст або схваливши одну з 3-х мовних версій (англійську, німецьку, французьку). Національний стандарт, який впроваджує Єврокод, має складатися з Національної титульної сторінки, Національної передмови, тексту Єврокоду і Національного додатку. Національний додаток публікується від імені і з дозволу національних компетентних органів влади.

Національні параметри призначаються за встановленою процедурою і враховують особливості географічних і кліматичних умов, засобів життя, встановлюваних рівнів безпеки.

# **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1**

## **ОСНОВИ ГЕОТЕХНІЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ**

### **Тема 1 Стан нормативної літератури Єврокод 7**

В EN 1997-1 (далі Єврокод 7) викладаються загальні принципи й вимоги, а також загальні правила його застосування, що відносяться до геотехнічних аспектів проєктування будинків і цивільних споруджень. Єврокод 7 призначений для використання разом з EN 1990 «Єврокод: Основи будівельного проєктування», який є основним документом системи Єврокодів, що встановлюють для всіх будівельних Єврокодів принципи й вимоги до безпеки, експлуатаційної надійності й довговічності конструкцій. В ньому описуються основи проєктування й перевірки, а також даються рекомендації з питань конструктивної надійності.

Зокрема, в EN 1990 приводяться правила розрахунків комбінацій навантажень на будинки й цивільні споруди. Величини навантажень на конструкції наведені в EN 1991 «Єврокод 1: Навантаження, що діють на конструкції», а також у відповідному Національному додатку конкретної країни.

Положення, що стосуються проєктування конструкції, споруджуваних з певного матеріалу (наприклад, з бетону або сталі), зокрема питання міцності й жорсткості, викладаються в Єврокодах по будівельних матеріалах (Єврокоди 2, 6, 9). Єврокод 7 (геотехнічне проєктування) і Єврокод 8 (проєктування сейсмостійких конструкцій) відносяться до всіх типів конструкцій, незалежно від того, з якого матеріалу вони побудовані.

В Єврокод 7 наводяться вимоги до геотехнічного проєктування, що забезпечують безпеку (міцність і стійкість), експлуатаційну надійність і довговічність конструкцій, тобто будинків і цивільних споруд, що опираються на ґрунт і скельну основу. Зокрема, в Єврокод 7 розглядаються питання розрахунків геотехнічних впливів, результатів впливів на конструкції й міцності основи.

В Єврокодi 7, так само, як i в iнших Єврокодах, проводиться відмінність між «Принципами» й «Правилами» застосування, що залежить від особливостей конкретних статей. В Єврокодi 7 констатується таке:

1. «Принципи» містять:
  - положення й визначення, що не мають альтернативи;
  - вимоги й аналітичні моделі, для яких не існує альтернативи, якщо не зазначене iнше.
2. «Принципи» виділяються буквою Р, що йде за номером параграфа.
3. «Правила» застосування відзначаються тільки номером параграфа (без додаткових позначок),
4. «Правила» застосування являють собою загальноприйняті норми, що впливають із «Принципів» i відповідають їхнім вимогам.
5. Допускається застосування альтернативних правил за умови, що вони узгодяться з відповідними «Принципами».

Дієслово *«необхідно»* завжди застосовується в підпунктах «Принципів», що ставляться до питань. Дієслово *«слід»* звичайно використовується в «Правилах» застосування. Крім того, дієслово *«може»* застосовується в альтернативних правилах застосування. Дієслова *«є»* i *«може»* застосовуються в певних заявах або в якості припущення.

Що стосується альтернатив «Правилам» застосування слід додати, що альтернативні варіанти повинні, як мінімум, передбачати аналогічні рівні безпеки конструкцій, їх експлуатаційної надійності й довговічності, котрі передбачаються Єврокодами. Більше того, якщо альтернативне правило заміняє «Правило» застосування, то підсумкове проєктування не може бути заявлене як проєктування повністю відповідає Єврокоду 7, хоча в цілому проєктування залишається виконаним згідно із «Принципами» Єврокод 7.

У вступі вже було відзначено, що при реалізації Єврокоду 7 за допомогою свого Національного додатка, країна – учасниця ЄС має право на відступ від правил i може посилатися на «додаткові правила/стандарти». Це припускає створення правил застосування, які відповідають «Принципам» стандартів,

але не містяться в Національному додатку. Отже, як зазначено вище, такі «додаткові правила стандарти» не є «альтернативними» будь-яким правилам застосування, викладеним у стандартах.

### *Визначення, характерні для Єврокоду 7*

Нижче наведені терміни, характерні для Єврокоду 7 або перенесені з EN 1990 (Єврокод 0):

*Геотехнічний вплив*: вплив, переданий на споруду ґрунтовою основою, насипним ґрунтом, надземною або ґрунтовою водою. Прикладом геотехнічних впливів є тиск ґрунту на підпірні конструкції та негативне тертя ґрунту по бічній поверхні паль.

*Порівнянний досвід*: документована або інша чітко встановлена інформація про ґрунт, який розглядається в проєкті, включаючи різновиди ґрунтів зі схожими геотехнічними характеристиками, а також схожі споруди. Інформація, отримана по місцю, розглядається як найбільш достовірна.

*Ґрунтова основа*: ґрунт, скельна порода й засипка виконана на місці будівництва перед початком будівельних робіт.

*Конструкція*: упорядкована комбінація з'єднаних елементів, включаючи насипний ґрунт, виконаний під час будівельних робіт, призначені для сприйняття навантажень і забезпечення достатньої жорсткості.

*Похідне значення*: значення геотехнічного параметра, отримане теоретично, шляхом кореляції або емпірично за результатами випробувань.

*Жорсткість*: стійкість матеріалу до деформацій.

*Опір*: здатність елемента конструкції або його поперечного перерізу протистояти впливам без механічного руйнування. Наприклад: опір ґрунту, опір вигину, опір втраті стійкості, опір розтягання.

Дієслова «розглядати», «оцінювати», «враховувати» і «визначати» дуже часто зустрічаються в Єврокодi 7, однак визначення їм не даються. Далі пропонуються визначення цим дієсловам, розроблені дослідниками Орром (Orr) і Фарреллом (Farrell) (1999), а також Симпсоном і Дрисколлом (1998).

Дієслово *«розглядати/вважати»* означає ретельне й раціональне осмислення відповідних факторів, що впливають на розрахунки, на основі наявної інформації, і визначення їх можливого впливу. Якщо вважається, що один або декілька факторів впливають на проєктування, то вони повинні бути включені в розрахунки, у той час як якщо ці фактори не впливають на проєктування, то вони можуть не розглядатися. Дієслово *«розглядати»* не має на увазі необхідність включення зазначених факторів у розрахунки, хоча в деяких випадках це робити доцільно. При геотехнічному проєктуванні рекомендується становити перелік питань, що вимагають розгляду; після чого проєктувальник ставить у переліку контрольних перевірок відповідну оцінку.

Дієслово *«оцінювати/давати оцінку»* означає процес, що включає в себе комбінація розрахунків, вимірів і зіставлень, а також розгляд усіх відповідних факторів для встановлення числового значення показника або перевірки виконання певного умови.

Дієслово *«враховувати/брати до уваги»* означає фактор впливу з боку процесу проєктування. Цей термін, застосовуваний у Єврокоді 7, має більш стаке значення, ніж термін розглядати. Він припускає, що вплив фактору включений у розрахунки при проєктуванні.

Дієслово *«визначати/оцінювати»* слугує для визначення чисельного значення параметра з урахуванням усіх факторів, що впливають на його величину

## Тема 2 Принципи і методи геотехнічного проєктування

Єврокод 0 визначає граничні стани як «стани, за межею яких конструкція не відповідає вимогам певного розрахункового критерію». Метою розрахунків граничного стану є недопущення досягнення жодного із граничних станів, при застосуванні в моделях розрахунків відповідних розрахункових значень впливів, твердості матеріалів і геометричних характеристик. Для спрощення проєктування прийнято два принципово різні типи граничного стану, кожний з яких має свій розрахунковий критерій:

- граничні стани по несучій здатності визначені в Єврокод 0 як «стани, обумовлені руйнуванням або іншими аналогічними формами втрати несучої здатності будівельних конструкцій» (наприклад, руйнування фундаменту, викликане недостатньою несучою здатністю);

- граничні стани за придатністю до експлуатації визначені в Єврокод 0 як «стани, що відповідають умовам, за межами яких встановлені експлуатаційні вимоги, пред'являємі до конструкцій або елементів конструкцій, уже не дотримуються» (наприклад, надлишкове осідання).

Граничні стани, що відповідають «руйнуванню» геотехнічної конструкції зустрічаються надзвичайно рідко. Разом з тим граничний стан по несучій здатності звичайно розвивається при таких значних переміщеннях, коли не виконуються вимоги безпеки конструкцій, що опираються. У зв'язку із цим стандарт вимагає перевірки того, що граничний стан не настане в результаті втрати несучої здатності ґрунту або в результаті втрати несучої здатності конструкції, що опирається. Також необхідно перевірити, що надлишкові деформації основи не приведуть до досягнення спорудою граничного стану.

Запобігання виникнення граничних станів повинне перевірятися одним із зазначених нижче способів або їх комбінацією:

- розрахунками;

- прийняттям приписуючих вимог згідно з якими добре обґрунтовані і перевірені розрахунки ухвалюється без обчислень на основі чітко обумовлених ґрунтових умов і умов навантаження;
- випробуванням моделей або повномасштабними випробуваннями, що особливо застосовне для розрахунків паль і анкерних кріплень;
- методом спостереження.

Для встановлення вимог до геотехнічного проєктування в Єврокод 7 даються рекомендації з поділу конструкцій на геотехнічні категорії 1, 2 і 3, котрі визначаються складністю цих конструкцій, ґрунтовими умовами й навантаженнями, а також прийнятним рівнем ризику, що висуваються до конструкції. Однак такий поділ на категорії не є обов'язковим. Зазначені геотехнічні категорії використовуються в стандарті для визначення обсягу інженерно-геологічних вишукувань і обсягу робіт, спрямованих на перевірку проєкту. На рисунку 1 показана блок-схема, що ілюструє етапи геотехнічного проєктування, відповідні до принципів і правил Єврокоду 7. Важливо відмітити, що геотехнічні категорії слід перевіряти на кожному етапі проєктування й зведення.

Прості конструкції, що зазнають незначного ризику і вимоги до яких пред'являються на основі досвіду проєктування, належать до категорії 1. Більша частина конструкцій підпадає під категорію 2, у той час як складні конструкції належать до категорії 3.

В Єврокодi 7 увага приділяється конструкціям, що відносяться до геотехнічної категорії 2. Крім того приводяться приклади типових проблем проєктування.

На рисунку 2 представлена блок-схема, що допомагає віднести будь-яку проблему до відповідної до геотехнічної категорії.



Рисунок 1 – Схема процесу проєктування відповідно до Єврокод 1

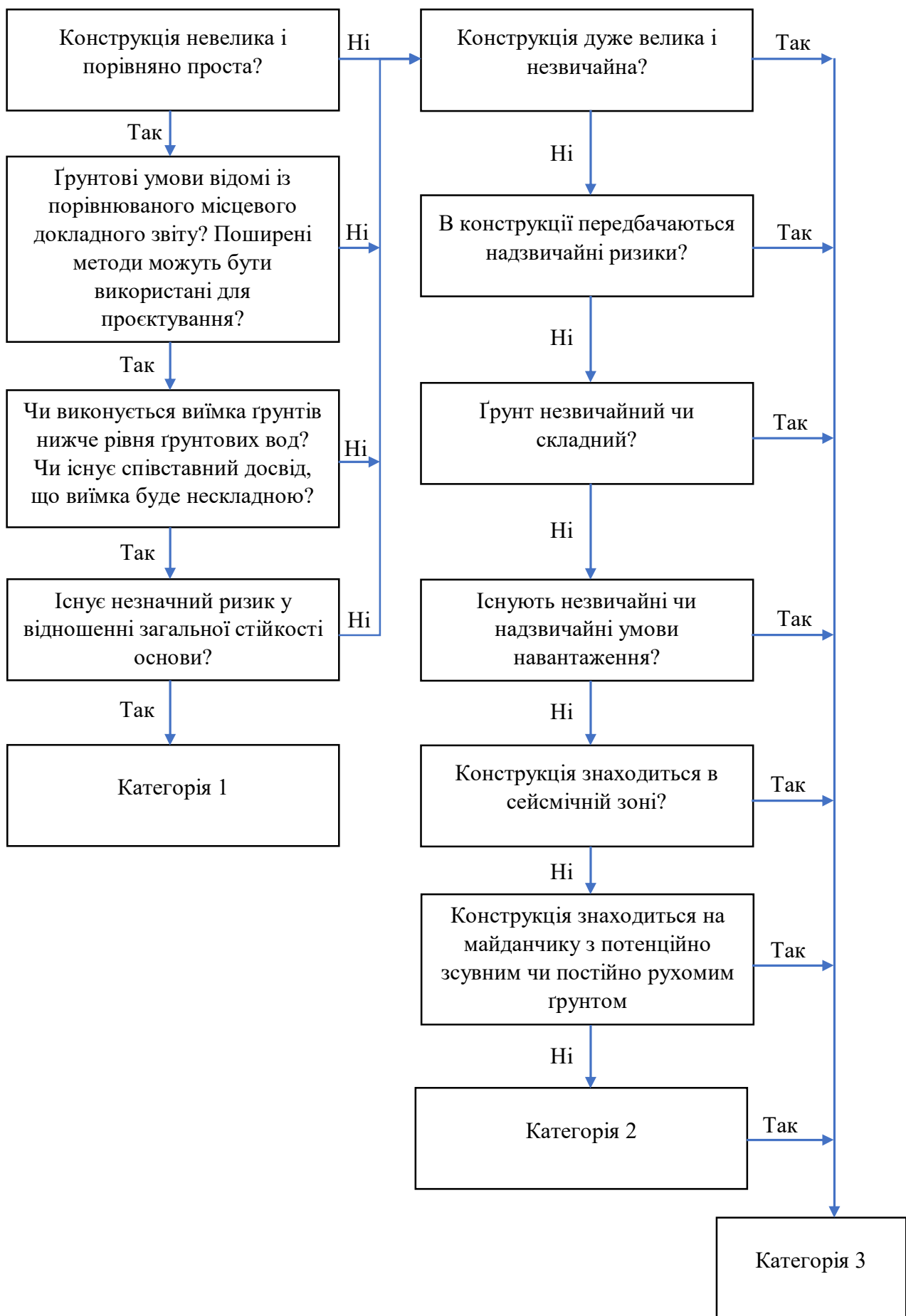


Рисунок 2 – Схема визначення геотехнічної категорії

Проект повинен бути перевірений на відповідність розрахунковим ситуаціям. Розрахункові ситуації обираються так, щоб охопити всі можливі умови, які можуть виникнути в ході будівництва й експлуатації конструкції. Різні розрахункові ситуації для граничних станів по несучій здатності й граничних станів по придатності до експлуатації наводяться в Єврокодi 0.

В Єврокодi 7 розглядаються граничні стани по несучій здатності в стабілізованому й нестабілізованому стані, а також в аварійних ситуаціях. Крім того розглядаються граничні стани по придатності до експлуатації.

Якщо водопроникність водонасиченого ґрунту порівняно низька (тобто час необхідний для розсіювання надлишкового позитивного або негативного порового тиску, викликаний будівельними роботами, тривалий в порівнянні з періодом будівництва), то необхідно розглянути дренаваний і недренаваний стани з надлишковим паровим тиском і тільки дренаваний після розсіювання порового тиску.

Недренавані умови мають велике значення при навантаженні мілкодисперсних ґрунтів і у випадках, коли тривале розсіювання порового тиску води приводить до підвищення міцності ґрунту. Зазвичай такі умови утворюються при навантаженні пластичних глин (наприклад, пластичні глини, що перебувають під греблями).

Дренавані умови мають значення при розгляді мілкодисперсних ґрунтів, у яких зменшення порового тиску приводить до зниження міцності ґрунту. Звичайно такі умови створюються при знятті навантаження з тугопластичних глин, наприклад, після вилучення ґрунту.

#### *Геотехнічне проектування шляхом розрахунків*

В Єврокодi 0 визначені впливи, що враховуються при розрахунках.

Значення впливів на конструкції беруться з Єврокоду 1, у той час як в Єврокод 7 розглядаються:

- геотехнічні впливи;
- геотехнічний опір.

Проектування шляхом розрахунків є найпоширенішою процедурою перевірки недопущення граничних станів. Це основне питання розглянуте в Єврокод 7.

Процедура розрахунків граничних станів містить:

- встановлення впливів, що є або прикладеними навантаженнями або прикладеними переміщеннями;
- визначення властивостей ґрунту й будівельних матеріалів;
- визначення граничних значень деформації, ширини розкриття тріщин, вібрації і т. п.;
- створення моделей розрахунків відповідних граничних станів, що прогнозують результати впливів, ступінь стійкості та/або деформування ґрунту, у яких враховуються різні розрахункові випадки;
- розрахункове підтвердження того, що в розрахункових ситуаціях граничні стани не будуть досягнуті.

Розрахункові значення впливів і стійкості матеріалів, а також комбінацій навантажень (впливів) різні для постійних і тимчасових граничних станів, для аварійних граничних станів і для експлуатаційних граничних станів.

Хоча проектування методом розрахунків і є найпоширенішим методом геотехнічного проектування, проектувальник при всіх обставинах повинен знати, що відомості про ґрунтові умови залежать від обсягу і якості виконаних геотехнічних вишукувань. Відомості про ґрунт і контроль якості вишукувань, як правило, є більш важливими для дотримання основних вимог, ніж точність роботи розрахункових моделей і визначення часткових коефіцієнтів.

Розрахункова модель може містити аналітичну модель, напівемпіричне правило або чисельну модель. В Єврокод 7 не пропонуються розрахункові моделі для визначення граничних станів, деякі моделі представлені в інформаційних додатках. Слід зазначити, що в Єврокод 7 представлені не тільки аналітичні й напівемпіричні моделі, але й чисельні моделі (метод скінченних елементів, метод скінченних різниць і т. п.), хоча вони й не розглядаються в стандарті.

При відсутності в Єврокодi 7 надійної розрахункової моделі для визначення особливого граничного стану допускається аналіз можливого іншого граничного стану, при цьому використовуються коефіцієнти, що підтверджують неможливість виникнення такого особливого граничного стану. Такий підхід звичайно використовується в геотехнічному проєктуванні для оцінки експлуатаційних граничних станів спрощеним способом у тих випадках коли не потрібні значення деформацій. При цьому використовуються моделі граничних станів (наприклад, моделі несучої здатності) з використанням досить великих коефіцієнтів надійності. Наприклад цей метод застосований у якості непрямого методу для оцінки розрахунків фундаменту на природній основі.

Найчастіше розрахункові моделі містять у собі спрощення, що приводить до помилок при розрахунках надійності. Не виключено, що розрахункова модель містить у собі систематичну помилку або видає невизначені значення. Результат розрахунків, виконаних за допомогою такої моделі, при необхідності можна виправити, застосувавши модельний коефіцієнт і переконавшись у точності розрахунків або допустимому значенні помилки. Модельні коефіцієнти можуть застосовуватися до навантажень або до жорсткості.

### Тема 3 Складання звіту з геотехнічного проєктування

В Єврокодi 7 вводиться у вжиток термін *«метод спостереження»*, згідно з яким проєкт планово переглядається в ході будівництва відповідно до даних з моніторингу конструкцій. Суть методу полягає в складанні точного плану моніторингу будівництва й виконання заходів, розроблених у результаті спостереження. Визначені мінімальні вимоги, обов'язкові для дотримання під час будівництва. Перевага зазначеного методу полягає в тому, що він полегшує проєктування в тих випадках, коли точний геотехнічний прогноз динаміки основи неможливий, наприклад, при складних ґрунтових умовах або за недостатньої інформації про ґрунт. *«Метод спостереження»* передбачає наявність *«оптимістичних»* і *«песимістичних»* припущень, що перевіряються моніторингом фактичної динаміки основи.

В Єврокодi 7 залишається відкритим питання щодо способу введення запасу міцності в допоміжні розрахунки. Це може бути зроблене через зменшені значень окремих коефіцієнтів або вибору характеристичних значень властивостей ґрунту з меншим запасом. Спосіб введення запасу міцності в проєктування при використанні методу спостереження визначається для кожного окремого проєкту залежно від причин застосування коефіцієнтів надійності (наявність невизначеності або результати контролю переміщень) і наслідків можливого руйнування.

Метод спостереження не повинен застосовуватися у випадках, коли непередбачене руйнування відбувається без попередження, як наприклад, коли сама основа та/або взаємодія між нею і конструкцією недостатньо пластична (крихка поведінка).

Розрахункові припущення, вихідні дані, методики розрахунків і результати перевірки надійності й експлуатаційної придатності повинні фіксуватися у *«Звіті про геотехнічне проєктування»*. Це стосується всіх видів геотехнічного проєктування, включаючи проєктування невеликих і простих конструкцій, що зводяться у нескладних ґрунтових умовах. Рівень відображення інформації може бути різним. Звіт про просте проєктування

може складатися з одного аркуша. Зразок таблиці контрольних перевірок, що звичайно включається у *«Звіт про геотехнічне проєктування»*, дається в Єврокодi 7.

Найбільш важливими частинами Звіту про геотехнічне проєктування є:

- звіт про вишукування;
- графік контролю й моніторингу.

У таблиці контрольних перевірок перераховані перевірки, виконувані згідно із планом контролю й моніторингу.

Надійність геотехнічного проєктування залежить від якості виконання вишукувань і правильної обробки отриманих даних. Тому в розділі 3 Єврокоду 7 викладаються загальні вимоги до планування геотехнічних вишукувань і аналізу значень геотехнічних параметрів. Крім того, підкреслюється важливість ретельного збору даних, їх реєстрації й обробки.

Особливі вимоги, що пред'являються до польових і лабораторних випробувань і визначенню встановлених геотехнічних параметрів, розглянуті в Єврокодi 7. Оскільки Єврокод 7 є стандартом геотехнічного проєктування, то в ньому не розкриваються технічні умови виконання польових і лабораторних випробувань. Технічні умови на більшість загальних польових і лабораторних геотехнічних випробувань для визначення й класифікації ґрунтів, а також для визначення й опису скельних ґрунтів, готуються Технічним комітетом 341 Європейського комітету зі стандартизації й Технічним комітетом 182 Міжнародної організації по стандартизації.

Проєктування згідно Єврокод 7 повинне ґрунтуватися на геотехнічних даних, отриманих за результатами випробувань, виконаних відповідно до загальновизнаних міжнародних стандартів і рекомендацій.

В Єврокодi 7 визначається наступна ієрархічна структура досліджень:

- геотехнічні вишукування, представлені дослідженнями основи та іншою інформацією про місце проведення робіт;

– інженерно-геологічні вишукування, представлені польовими випробуваннями, лабораторними випробуваннями й чисто теоретичним вивченням геотехнічної й геологічної інформації;

– польові дослідження, представлені безпосереднім вивченням (буріння, розвідницькі й пробні шурфи) і непрямими методами (випробування ґрунту на місці проведення робіт, наприклад випробування за допомогою конічного пенетрометра).

У результаті геотехнічних вишукувань повинні бути отримані достатні дані про ґрунт і підземних водах у районі проведення робіт і довкола нього, що дозволяють виконати опис основних властивостей ґрунту й надійний аналіз значень геотехнічних параметрів, застосовуваних у розрахунках при проєктуванні. Тому в Єврокоді 7, частина 2, відзначається, що ціль досліджень основи полягає в повному описі ґрунтових умов, що відносяться до планованої роботи і у встановленні відповідних геотехнічних параметрів. Характер і обсяг виконання геотехнічних вишукувань залежать від складності ґрунтових умов. При використанні геотехнічних категорій ґрунтового умови повинні бути визначені на самих ранніх стадіях роботи, оскільки вони визначають вибір геотехнічної категорії й можуть впливати на нього.

В Єврокоді 7 розглядаються три етапи геотехнічних вишукувань:

- попередні вишукування;
- розрахункові вишукування;
- контрольні вишукування.

*Попередні вишукування* є дослідженнями, що виконуються під час етапу планування або етапу реалізації проєкту. Мета попередніх досліджень - оцінка загальної відповідності місця проведення робіт пред'являємим вимогам, розгляд альтернативних майданчиків (якщо потрібно), планування й контроль досліджень і визначення ділянок виїмки (за потреби).

Зазвичай попередні дослідження включають:

- теоретичне ознайомлення з геотехнічною й геологічною інформацією про ґрунтові умови, включаючи вивчення звітів про ранні вишукування околиць територій;
- рекогносцирувальні польові інженерно-геологічні обстеження (піший огляд);
- розгляд досвіду будівництва на околиць територіях.

*Розрахункові вишукування є основними геотехнічними дослідженнями, виконуваними з метою одержання геотехнічних даних, необхідних для відповідних розрахунків тимчасових і основних робіт. Крім того розрахункові дослідження виконуються для забезпечення інформацією, необхідною для будівництва й для визначення потенційних проблем, що виникають у ході будівництва.*

Зазвичай розрахункові дослідження включають випробування по місцю ведення робіт і відбір ґрунтових зразків для лабораторних випробувань. Розрахункові дослідження повинні виконуватися для всіх елементів, що мають відношення до конкретної конструкції. В Єврокоді 7, частина 2 даються певні рекомендації щодо інтервалів і глибини досліджень.

Контрольні вишукування – це перевірки, що виконуються під час етапу будівництва, з метою перевірки й порівняння фактичних умов ґрунту з умовами котрі були прийняті при проєктуванні. Вони передбачають постійну перевірку ґрунту й необхідність обліку результатів інспекцій. При контрольних дослідженнях, можливо, буде потрібно виконати додаткові випробування, щоб переконатися у відповідності ґрунтових умов, якості будівельних матеріалів і будівельних робіт вимогам, прийнятим при проєктуванні. На закінчення якість проєктування аналізується, виходячи з результатів інспекцій і випробувань.

Усі геотехнічні проєкти, включаючи невеликі й відносно прості споруди із простими ґрунтовими умовами, повинні ґрунтуватися на результатах геотехнічних вишукувань. Визначається, що інформація, отримана в

результаті геотехнічних вишукувань, повинна бути відображена у Звіті про вишукування, що становить частину Звіту про геотехнічне проєктування. Особа, що складає Звіт про вишукування, як правило, не повинна співпадати з особою, що готує Звіт про геотехнічне проєктування. Передбачається, що буде існувати відповідна послідовність і обмін інформацією між особами, що беруть участь у зборі даних, проєктуванні й будівництві. Тому є важливим, щоб особа, відповідальна за геотехнічне проєктування, навіть якщо вона не бере участь у вишукуваннях, відповідним чином обмінювалася інформацією з тими, хто вивчає ґрунт і одержує геотехнічні дані для проєктування й розрахунків.

Зазвичай інформація, представлена у Звіті про вишукування, складається із двох частин:

1) представлення наявних достовірних геотехнічних даних і іншої інформації;

2) геотехнічна обробка інформації, що включає припущення, зроблені при розшифруванні результатів випробування й отримані значення параметрів.

Перша частина Звіту про дослідження ґрунту включає викладення результатів випробувань ґрунту й містить частину, названу зазвичай називану «Доповіддю про фактичний стан ґрунтів», яка повинна включати:

- звіт про фактичні результати всіх польових і лабораторних випробувань;
- інформацію про застосовувані методики виконання лабораторних і польових випробувань.
- прізвища консультантів і назви підрядних організацій;
- історія району забудови;
- геологічна будова місця проведення робіт, включаючи несприятливі процеси;
- місцевий досвід.

Друга частина Звіту про вишукування полягає в аналізі геотехнічної інформації. Вона відповідає частині котра зазвичай має назву «пояснювальна записка». У цій частині повинні розкриватися такі питання:

- огляд польових і лабораторних досліджень, зокрема, будь-які фактори, що вимагають розгляду при обробці результатів випробувань: наприклад, обмеження, пов'язані з одержанням даних, вимоги до відбору зразків, їх транспортуванню й зберіганню, а також аномальні результати випробувань;

- огляд похідних значень геотехнічних параметрів;

- пропозиції по необхідності проведення подальших польових і лабораторних робіт і їх мета;

- глибина залягання ґрунтових вод і їх сезонні коливання;

- розрізи, що показують залягання різних інженерно-геологічних елементів;

- докладний опис усіх елементів, включаючи визначення їх фізико-механічних властивостей, характеристик деформування й міцності.

У випадку простої розрахункової ситуації, наприклад, ситуації, що відповідає геотехнічній категорії 1 з невеликими спорудами на добре вивченій основі, обидві частини, тобто й Звіт про вишукування й Звіт про геотехнічне проектування можуть бути представлені на одному аркуші.

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

### ПРОЄКТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА ПРИРОДНІЙ ОСНОВІ

#### Тема 4 Принципи і методи проєктування

При проєктуванні необхідно розглядати кілька граничних станів, представлених далі. Перші чотири є граничними станами по несучій здатності, які допускають необмежені переміщення фундаменту, п'ятий граничний стан у списку припускає значні, але обмежені переміщення фундаменту, при яких фундаментна конструкція досягає граничного стану, тобто вона більше не відповідає вимогам по несучій здатності будівельних конструкцій або їх сполучних вузлів, три останні граничні стани відносяться до граничних експлуатаційних станів.

Увага проєктувальників звертається також на деякі аспекти, які можуть вплинути на вибір глибини закладання фундаменту на природній основі. Деякі зазначені проблеми можуть бути вирішені шляхом вживання директивних заходів. У переліку контрольних перевірок передбачається розгляд і облік майбутніх земляних робіт. Це не означає, що фундаменти на природній основі повинні бути розраховані на всі можливі види розробки ґрунту, потрібно щоб проєктувальники розглядали й враховували виникнення можливих ситуацій у майбутньому й ухвалювали відповідні дії. Така умова залишається в силі й стосовно інших вимог переліку контрольних перевірок.

Один із трьох методів проєктування й розрахунків, зазначених нижче, повинен застосовуватися для перевірки розрахунків фундаментів.

1) *прямий метод*, що передбачає дві окремі перевірки:

- застосування моделі розрахунків, максимально наближеної до механізму руйнування граничного напруженого стану;

- застосування методики розрахунків осідань для задоволення умов граничного експлуатаційного стану. Передбачається вільний вибір розрахункових моделей, використовуваних для кожного із кроків. Перевірка граничного напруженого стану виконується за допомогою аналітичних

розрахункових моделей, що описують несучу здатність і опір зсуву, або використовуючи напівемпіричні розрахункові моделі, у яких несуча здатність визначається безпосередньо, у вигляді похідної величини, виходячи з результатів польових випробувань. Перевірка граничного експлуатаційного стану виконується за допомогою розрахунків осідань;

2) *непрямий метод*, що базується на порівняльному досвіді (обов'язкова умова) і використовує результати польових або лабораторних досліджень або інших спостережень, а також значень навантажень, що відповідають граничному експлуатаційному стану. Порівнянний досвід пов'язаний із граничним експлуатаційним станом для того, щоб застосування цього методу автоматично задовольняло умовам граничного експлуатаційного стану. Непрямий метод, крім того, у неявному виді враховує граничний напружений стан при розгляді загальних конструкцій без особливих навантажень за умови, що досвід проєктування є відповідним до цього стану. Таким чином, непрямий метод являє собою одноступінчастий метод перевірки як граничного експлуатаційного стану, так і граничного напруженого стану. Розрахунки виконуються за допомогою аналітичних або напівемпіричних моделей. Вибір підходу до проєктування не здійснюється, оскільки перевірка заснована на умовах граничного експлуатаційного стану;

3) *директивний метод*, як правило, ґрунтується на порівняльному досвіді спостереження експлуатаційних станів.

У таблиці 1 показано три методи проєктування, а також приводяться приклади моделей розрахунків фундаментів на природній основі з посиланнями на відповідні статті й рекомендовані методи розрахунків.

Варто зазначити, що прості споруди, без особливих умов навантаження, можна проєктувати, використовуючи непрямий або директивний методи. Однак великі або складні споруди, що проєктуються на слабких або стисливих ґрунтах, повинні проєктуватися з використанням двоступінчастого прямого методу. Більше того, при розрахунках споруд, що піддаються значному впливу

горизонтальних навантажень, особлива увага повинна бути приділена ексцентриситету й ухилу розрахункових навантажень.

Таблиця 1 – Огляд методів проєктування, передбачуваних Єврокодом 7 моделей та відповідних розрахунків

| Метод і граничні стани                                                                   | Розрахункова модель                                                                                                                                                                                                                                  | Пункти Єврокоду 7                                | Рекомендований метод                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Прямий метод:<br>а) граничний напружений стан                                            | Аналітична розрахункова модель:<br>– несуча здатність;<br>– опір зсуву, напівемпірична розрахункова модель;<br>– пресіометр                                                                                                                          | 6.5.2, 6.5.3<br>6.5.22<br>6.5.3<br>6.52.3<br>6.6 | Єврокод 7, <i>дод. D</i><br>Єврокод 7, <i>дод. E</i><br>EN 1997-2, <i>дод. 31</i> |
| б) граничний експлуатаційний стан                                                        | Аналітичні розрахунки осідань:<br>– розрахунок осідань.<br>Напівемпіричні розрахунки осідань:<br>– конічний пенетрометр;<br>– пресіометр;<br>– стандартне випробування на занурення (SPT)                                                            | 6.6.2                                            | Єврокод 7, <i>дод. F</i><br>EN 1997-2, <i>дод. B2, 32, D4</i>                     |
| Непрямі методи.<br>Граничний напружений і граничний експлуатаційний стани, разом         | Аналітична розрахункова модель<br>– застосування загальних коефіцієнтів до «характеристичних» значень несучої здатності.<br>Напівемпірична розрахункова модель:<br>– застосування загальних факторів до «характеристичних» значень несучої здатності | 24.1(4),<br>2.4.8(4)                             | Єврокод 7, <i>дод. D</i>                                                          |
| Директивний метод.<br>Граничний напружений стан і граничний експлуатаційний стани, разом | Таблиці номограм прогнозованих значень несучої здатності                                                                                                                                                                                             | 6.5-2.4 - 6.7                                    | Єврокод 7, <i>дод. G</i>                                                          |

Згідно з Єврокодом 7 ґрунтовий масив повинен перевірятися на загальну стійкість. У потенційно нестійкому масиві ґрунту може перебувати фундамент (рис. 3, поверхня руйнування A-B) або поверхня руйнування може проходити поблизу його (рис. 3, поверхня руйнування C-D).

Оскільки руйнування уздовж поверхні C-D може суттєво впливати на несучу здатність самого фундаменту, воно повинне бути малоймовірним.



Рисунок 3 – Загальна стійкість повинна перевірятися на поверхнях руйнування A-B і C-D.

Поверхня руйнування C-D проходить зовні фундаменту, але при зсуві схилу вертикальна несуча здатність фундаменту значно знижується.

Термін «малоймовірно» необхідно розуміти так: втрата загальної стійкості повинна бути такою ж практично неможливою, як і втрата несучої здатності фундаменту від вертикальних навантажень. При застосуванні означених підходів до проєктування така ситуація буде забезпечена використанням аналогічних часткових коефіцієнтів для розрахунків стійкості схилів і для розрахунків несучої здатності. При застосуванні підходу до проєктування два часткові коефіцієнти опору для розрахунків загальної стійкості й несучої здатності відрізняються.

Основна вимога граничного напруженого стану виражається нерівністю

$$V_d < R_d, \quad (1)$$

де  $V_d$  – розрахункове навантаження граничного напруженого стану, перпендикулярне до площини обпирання фундаменту;  $R_d$  – розрахунковий опір фундаменту проти діючих на нього навантажень (рис. 4).

$R_d$  – можна визначити за допомогою аналітичної або напівемпіричної моделі.  $V_d$  включає вагу фундаменту й вагу ґрунту зворотної засипки (розглядається як «конструктивне навантаження»), прикладених зверху до фундаменту. Тиск ґрунту на конструктивні елементи, розташовані вище підшви фундаменту, являють собою геотехнічні впливи й також включаються в  $V_d$  у відповідних випадках.

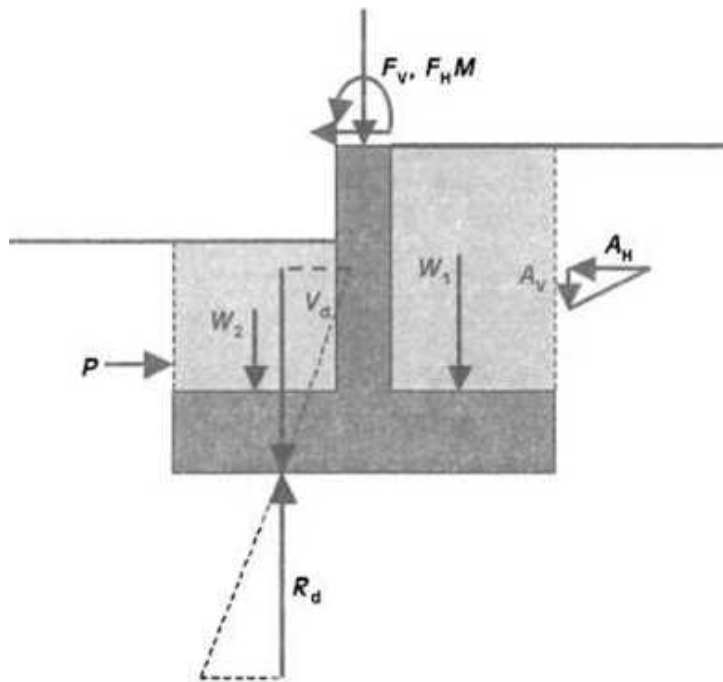


Рисунок 4 – Приклад впливу на фундамент:  $V_d$  – складова рівнодіючої, перпендикулярна до фундаменту;  $H$ ,  $M$  і  $V$  – впливи від конструкції;  $A$  і  $P$  – тиск ґрунту;  $W_1/W_2$  – вага ґрунту зворотної засипки

Основну нерівність  $V_d \leq R_d$  необхідно перевіряти з урахуванням рекомендованих часткових коефіцієнтів. У загальному випадку часткові коефіцієнти, як правило, рівні 1,0. Необхідно відзначити, що рекомендовані

значення часткових коефіцієнтів, наведені у Додатку А Єврокоду 7, установлені для аналітичних методів, застосовуваних у всіх трьох підходах до проєктування, а також для напівемпіричного методу, застосовуваного в підході до проєктування 2 (DA-2). Таким чином, для напівемпіричних методів, використовуваних у підходах до проєктування 1 і 3 (DA-1 і DA-3), можуть знадобитися коефіцієнти моделі.

У Єврокоді 7 передбачаються такі вимоги: тиск води, не викликаний навантаженнями на фундамент, завжди включається в розрахунки. Для дренажованих умов тиск води рекомендується включати у вигляді впливів. Типова ситуація показана на рисунку 5. Вона відповідає визначенню терміну «вплив», розглядаючи всі значення тиску води в дренажованих умовах у вигляді впливів, коли вони відомі на самому початку розрахунків.

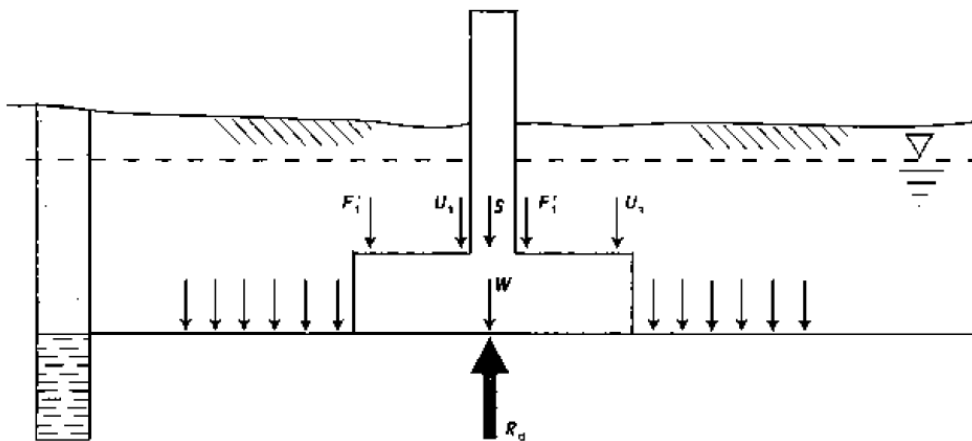


Рисунок 5 – Вплив на фундамент гідростатичним тиском води:

$A_b$  – площа підшви фундаменту;

$A_c$  – площа поперечного перерізу колони;

$\gamma_1$  – питома вага ґрунту над рівнем ґрунтових вод;

$\gamma_2$  – питома вага ґрунту нижче рівня ґрунтових вод;

$S$  – впливу від надземної частини будинку або спорудження;

$W$  – вага фундаменту;

$U_1$ ;  $U_2$  – сили, викликані тиском води;

$F_1$  – рівнодіюча впливу ґрунтової засипки на фундамент

Основними вхідними параметрами для аналітичних розрахунків є міцнісні показники ґрунту й питома вага. Їх значення повинні вибиратися для врахування мінливості основи залежно від відносного розміру фундаменту й жорсткості конструкції:

- для фундаментів значного розміру на природній основі величини значення параметрів опору зсуву зазвичай представляють у вигляді середнього значення під фундаментом. Якщо будинок опирається на кілька фундаментів, у значеннях показників повинні враховуватися просторова змінність параметрів міцності на зсув по плямі забудови будинку й жорсткість конструкцій які спираються;

- ділянки з відносно несприятливою геологічною ситуацією, що ведуть до значного зниження несучої здатності, необхідно визначити при виборі значень. При відсутності несприятливих ділянок, величина міцності на зсув може бути представлена у вигляді середніх значень зсуву по плямі забудови. Якщо несприятливі ділянки мають місце на майданчику, а конструкція не має достатньої жорсткості для передачі навантажень від фундаментів, що перебувають на несприятливих ділянках, до фундаментів, що перебувають на міцних місцях, то значення параметрів міцності на зсув може бути представлено у вигляді середнього або мінімального значення під кожним фундаментом окремо.

При виборі середнього значення параметрів міцності ґрунту на зсув для проектування невеликого фундаменту слід звернути увагу на поверхні руйнування, які можуть розвиватися переважно уздовж несприятливих ділянок у основі. Якщо така можливість імовірна, тоді вибір величини значення повинен обмежуватися мінімальними значеннями параметрів міцності ґрунту. Значення питомої ваги ґрунту повинне бути представлене у вигляді його середнього значення.

Ефективний тиск від ваги ґрунту на рівні фундаменту  $q'$  представляється його середнім значенням поблизу від фундаменту. Воно повинне враховувати несприятливі рівні ґрунтових вод і негативний вплив на несучу здатність основи зменшення стискаючого зусилля в процесі будь-якої виїмки ґрунту.

## Тема 5 Проектування будівельних конструкцій

### *Дотичний метод. Загальні положення.*

У непрямих методах використовується порівняльний досвід і результати польових або лабораторних досліджень та спостережень, обраних відповідно до навантажень граничного експлуатаційного стану, дотримуючись вимог всіх відповідних граничних станів. Отже, непрямий метод відповідає вимогам граничного експлуатаційного стану й, у неявній формі, вимогам граничного напруженого стану, як мінімум, стосовно основних конструкцій, для яких існує порівняльний досвід, до яких не прикладається спеціальне навантаження й не розглядаються особливі ґрунтові умови. Непрямий метод відрізняється від прямого методу розрахунків тим, що він передбачає виконання тільки одного розрахунку для перевірки як граничних напружених так і граничних експлуатаційних станів. Непрямий метод добре підходить для вирішення звичайних проблем геотехнічної категорії 2. Проблеми геотехнічної категорії 3 слід вирішувати прямим методом. Крім вимоги щодо наявності порівняльного досвіду й зв'язку з навантаженнями граничних експлуатаційних станів, в Єврокод 7 не дається чітких рекомендацій із застосування непрямого методу. Виходячи із зазначених загальних правил непрямий метод припускає:

- або виконання розрахунків осідань за умовами граничного експлуатаційного стану;
- або обмеження мобілізації опору ґрунту, розрахованого за допомогою моделей (аналітичних або напівемпіричних) для визначення несучої здатності з метою запобігання настанню граничного експлуатаційного стану.

*Непрямий метод, заснований на обмеженні мобілізації несучої здатності.*

Як мінімум, для простих ґрунтових умов і навантажень досвід традиційного проектування показує, що фундаменти поведуться задовільно

відносно експлуатаційної придатності, а тому відповідно задовольняється в постійних і перемінних умовах і граничний напружений стан, коли розміри фундаменту були визначені з досить високим значенням загального коефіцієнта надійності по несучій здатності (коефіцієнт надійності більше 2,5 – 3). Такий досвід було отримано застосуванням як аналітичних, так і напівемпіричних моделей розрахунків.

У Єврокоді 7 щодо непрямого методу зазначається: «Можна продемонструвати, що досить невелика частка міцності ґрунту мобілізується для втримання деформацій у межах необхідних значень по експлуатаційній придатності». Ця заява зроблена в дусі сталої практики. Обмеження мобілізації несучої здатності ґрунту може бути досягнуте:

- порівнянням навантажень по граничному експлуатаційному стану з несучою здатністю, діленою на досить великий загальний коефіцієнт мобілізації. Значення такого загального коефіцієнта встановлюються, виходячи з досвіду проектування;

- порівнянням навантажень по граничному експлуатаційному стану з несучою здатністю, розрахованою шляхом застосування досить великого загального *«коефіцієнту мобілізації»* безпосередньо до параметрів міцності на зсув. Досвід застосування таких *«часткових мобілізаційних»* коефіцієнтів є значно меншим, однак можна припустити, що він буде швидко зростати найближчим часом.

Обидва методи можуть застосовуватися з аналітичними формулами, при використанні напівемпіричних правил може застосовуватися тільки загальний *«коефіцієнт мобілізації»*.

В Єврокоді 7 не дається визначення, яка комбінація впливів за умовами граничного експлуатаційного стану, відповідно до Єврокод 0, повинна враховуватися при застосуванні непрямого методу. Оскільки при використанні непрямого методу розглядаються необоротні граничні стани, то є доречною основна комбінація.

Непряний метод припускає, що осідання за умовами граничного експлуатаційного стану не будуть перевищені. Такий «спрощений метод» перевірки граничного експлуатаційного стану представляється способом застосування непрямого методу, при якому як граничний експлуатаційний стан так і граничний напружений стан перевіряються разом.

Застосування спрощеного методу, для перевірки граничного експлуатаційного стану розглядається за наявності таких умов:

1) наявність точно встановленого й документованого позитивного досвіду;

2) відсутність чітких обмежень по осіданнях, визначаємих для встановлення граничних експлуатаційних станів і граничних напружених станів надфундаментної конструкції, викликаних переміщеннями фундаменту;

3) відсутність домінування особливих умов навантаження, таких як сильно нахилені або позацентрові навантаження, дуже змінні або циклічні навантаження, або кліматичні навантаження (сніг або вітер). Якщо превалюють особливі навантаження, необхідно приділити особливу увагу, при цьому, проєктувальникам не рекомендується застосовувати напівемпіричні методи для розрахунків легких конструкцій;

4) метод не застосовується для розрахунків при наявності слабких глин і ґрунтів з високим змістом органічних речовин, для яких завжди потрібні розрахунки осідань.

Непряний метод містить у собі дуже просту процедуру, відповідну загальноприйнятій практиці, що не передбачає необхідності в розрахунках осідань. У багатьох розрахункових ситуаціях міцнісні параметри ґрунту ( $\text{tg}\varphi$  і  $c$  або  $c_u$ ) відомі з більшим ступенем довірчості, ніж параметри деформування ґрунту, а отже, спрощений метод може бути більш достовірним, ніж розрахунки осідань.

### *Проектування будівельних конструкцій*

Проектування фундаменту припускає перевірки граничних напружених станів, що виникають у фундаментній конструкції. Перевірка граничних експлуатаційних станів (наприклад, перевірка ширини розкриття тріщин) також може мати безпосереднє значення.

Значення внутрішніх згинальних моментів і поперечних сил елементів фундаменту за умовами граничних напружених станів і граничних експлуатаційних станів отримуються шляхом додавання опорних тисків під фундаментом, розмір якого визначений з умов недопущення втрати несучої здатності основи (інакше вимоги експлуатаційної придатності повинні привести до прийняття фундаменту більшого розміру).

Для проектування конструкції по граничному напруженому стану опорні тиски під фундаментом визначаються виходячи з величин розрахункових навантажень, тобто значень, що включають часткові коефіцієнти впливів  $\gamma_g$  і  $\gamma_q$  і частки коефіцієнти надійності по матеріалу  $\gamma_m$ . Важливо розглядати тиск води у вигляді впливів, оскільки вони представляються несприятливими для згинальних моментів і внутрішніх сил (наприклад, тиск води, спрямований вгору на плитний фундамент). Потім значення тисків води множаться на відповідний коефіцієнт впливу.

Варто зазначити, що підхід до проектування 1 (DA-1), комбінація 2, не відноситься до проектування конструкцій у випадках, коли міцність ґрунту не має ніякого значення при оцінці опорного тиску під фундаментом (це скоріше відноситься до звичайних методів розрахунків для оцінки опорних тисків). Згідно DA-1, проектування фундаментів на природній основі далі виконується за допомогою комплексу коефіцієнтів комбінації 1, хоча, як правило, розмір фундаменту визначається за допомогою комбінації 2.

У Єврокоді 7 проводиться відмінність між жорсткими і гнучкими фундаментами, без надання рекомендацій, яким чином визначати цю відмінність. Аналогічно рекомендації не даються в сфері застосовності або порівняльних якостей і обмежень реакції ґрунтової основи (реактивного

опору), а також моделей суцільного середовища. Вибір залишається за проєктувальниками і їх досвідом з урахуванням рекомендацій, опублікованих у літературі. Необхідно враховувати поєднуваність деформацій за умовами граничного стану. Можливо, буде потрібно виконати докладний аналіз взаємодії.

Розподіл опорних тисків, використовуваних для визначення критичного експлуатаційного стану фундаменту (наприклад, ширина розкриття тріщини), виводиться з відповідних комбінацій впливів за умовами граничного експлуатаційного стану, згідно Єврокоду 0, і шляхом врахування деформацій ґрунту й фундаменту.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ**

### **Тема 6 Загальні положення. Граничні стани**

У Єврокод 7 розглядаються всі види паль незалежно від способу їх улаштування (забивання, вдавнення домкратом, загвинчування або буріння), а також їх прогнозована робота (навантаження на опорний кінець та сили тертя по бічній поверхні).

Палі призначаються для сприйняття навантажень, що виникають у результаті впливу конструкції. Хоча мікропалі докладно не розглядаються в Єврокод 7, мається на увазі, що його положення відносяться й до цих паль у відповідних випадках. Це стосується і баррет, і стін у ґрунті або шпунтових паль, якщо вони встановлені під конструкцією і сприймають навантаження своїми оголовками (вертикальне або горизонтальне). Якщо палі використовуються тільки для зменшення осідання фундаментів на природній основі або суцільних фундаментів (найчастіше такі палі називаються «повзучими» палями), то положення цього розділу безпосередньо до таких паль не відноситься. Це пояснюється тим, що загальний коефіцієнт надійності таких паль, щодо опору руйнуванню, може бути набагато менше за коефіцієнт

надійності звичайних паль, забезпечених таким же опором руйнуванню, котрий мають фундаменти на природній основі або суцільні фундаменти.

При проектуванні пальового фундаменту необхідно розглянути і врахувати ряд граничних станів. Далі наведено перелік одинадцяти найбільш вживаних граничних станів, обов'язкових для розгляду в ході проектування пальових фундаментів. В цьому переліку не передбачаються розрахунки й перевірки всіх зазначених граничних станів. Перші сім граничних станів являють собою звичайні режими руйнувань: або геотехнічних, або конструктивних, отже, є граничними напруженими станами. Що стосується останніх чотирьох граничних станів, то слід зазначити, що надмірні переміщення (осідання, випір палі і поперечні переміщення) можуть привести до виникнення граничного стану по експлуатаційній придатності або до граничного напруженого стану надфундаментної конструкції, у той час як неприйнятний рівень вібрацій може викликати граничний стан по експлуатаційній придатності.

При проектуванні пальового фундаменту необхідно розглядати і враховувати впливи, зазначені в Єврокодi 7. Вибір впливів, обов'язкових для розгляду, залежить від типу пальового фундаменту й від конкретної розрахункової ситуації.

Для пальових фундаментів постійні й динамічні навантаження, що передаються надфундаментними конструкціями, різні додаткові навантаження, а також навантаження від транспортних засобів, а також від переміщення ґрунту є найбільш важливими впливами, обов'язковими для врахування.

Як правило, пальові фундаменти досліджуються окремо на предмет впливу осьових (зазвичай вертикальних) і поперечних (зазвичай горизонтальних) навантажень.

Впливи, викликані переміщенням ґрунту, властиві пальовим фундаментам, а взаємодія ґрунт-палі, обумовлена такими переміщеннями,

зазвичай включена в розрахунки й ускладнює виконання аналізу. Типові переміщення ґрунту, обов'язкові для розгляду й врахування:

- вертикальні осідання, що викликають негативне тертя по стовбуру палі;
- переміщення ґрунту нагору, що викликає випір палі;
- горизонтальні переміщення ґрунту, що викликають поперечні навантаження.

Більшість методів проєктування паль, розташованих у ґрунті й зазнаючих зміщення, засновані на значенні впливу, визначеного іншими розрахунками. Щоб перестрахуватися, слід вибирати максимальні значення жорсткості або опору ґрунту. Фактично верхні значення приведуть, у більшості випадків, до оцінки несприятливих впливів на палі, викликаних переміщеннями ґрунту.

Відповідно до Єврокоду 7 повинен застосовуватися один із двох методів розрахунків:

- при розрахунках переміщення ґрунту приймається як вплив і виконується аналіз цієї взаємодії, саме в цьому випадку застосовуються методи розрахунків, що ґрунтуються на функціях передачі навантаження, таких як криві  $t-z$  і  $p-u$  ( $z$  і  $u$  – відносне зміщення палі відносно ґрунту). Абсолютне значення переміщення ґрунту вводиться на самому початку розрахунків у вигляді поправки до переміщення  $z$  або  $u$  (Алонсо (Alonso) і ін., 1984 р.);

- або навантаження на палю, викликане переміщенням ґрунту, приймається як вплив. Це значення повинне бути верхньою границею величини характеристики.

Потрібно пам'ятати, що часткові коефіцієнти надійності по матеріалу і опору, наведені в Додатку Л Єврокоду 7, дають нижні (консервативні) розрахункові значення. Вони не призначені для одержання високих (неконсервативних) розрахункових значень.

Звичайний консервативний спосіб розрахунків паль, що піддаються негативному поверхневому тертю, полягає в оцінці максимально можливого (тривалого) його значення.

Застосування максимально можливого значення навантаження негативного тертя може привести до дуже консервативних і навіть нереальних розрахунків, особливо в тих випадках, коли осідання ґрунту малі та/або стисливий шар має більшу потужність. У таких випадках слід виконати ретельний аналіз взаємодії системи ґрунт-палля. Ціль такого аналізу – оцінка, зокрема, «нейтральної точки» в стисливому шарі, що визначає глибину, на якій переміщення палі вниз дорівнює переміщенню ґрунту навколо палі вниз. Відповідно, сила, що діє між ґрунтом і стовбуром палі припиняє бути впливом на палю, направленим униз, і починає ставати опором переміщення палі вгору.

Що стосується випору, то в Єврокод 7 передбачається, що переміщення ґрунту, спрямовані вгору, розглядаються у вигляді впливу. При цьому необхідно виконати аналіз взаємодій. Це викликане тим, що зазначені переміщення, як правило, незначні, щоб їх розглядати.

Зустрічаються різні ситуації, коли палі зазнають поперечного навантаження в результаті переміщень ґрунту. Характерним прикладом таких типів навантажень є мостові опори на палях.

Єврокод 7 дає рекомендації з виконання аналізу взаємодії системи ґрунт-палля у випадку появи поперечного навантаження. Такий аналіз виконується за допомогою теорії балок на лінійних і нелінійних опорах і горизонтального модуля реакції основи або узагальнених кривих  $z$ - $u$ .

Як уже відзначене раніше, методики розрахунків, прийняті в Єврокоді 7 і призначені для проєктування паль, майже всі повинні, прямо або дотично, ґрунтуватися на результатах випробувань паль статичним навантаженням.

Звісно, це той випадок, коли результати випробування статичним навантаженням, виконаного на конкретному майданчику, формують основу проєктування. Крім того, у цьому випадку застосовуються розрахункові методи, надійність яких повинна ґрунтуватися на результатах випробувань

статичним навантаженням, отриманих у порівняльних ситуаціях. При виконанні випробування динамічним навантаженням надійність розрахункових методів повинна бути підтверджена випробуванням статичного навантаження в порівняльних ситуаціях. Один значний виняток полягає в наступному: коли застосовується метод розрахунків, що ґрунтується на дослідній роботі порівняльних пальових фундаментів, необхідно, щоб розрахунки були підкріплені результатами польових випробувань і досліджень.

Метод розрахунків, що базується на результатах випробувань паль навантаженням, може застосовуватися для розрахунків паль, що піддаються осьовим та/або поперечним навантаженням.

Наведено досить великий перелік питань, обов'язкових для розгляду або потребуючих уваги при проектуванні паль, включаючи вибір типу палі. Слід визнати, що деякі з перерахованих вимог нелегко виконати, інші відносяться до загальноприйнятої практики. При використанні результатів випробування палі навантаженням дуже важливо враховувати характер навантаження й можливі зміни, що відносяться до ґрунту й ґрунтових вод.

Випробування несучої здатності паль особливо необхідні при наявності значного ступеня сумніву в поведінці паль, обумовленій або способом їх влаштування, умовами ґрунту й прогнозованими навантаженнями, або тому, що непередбачена поведінка паль була помічена під час їх влаштування. Складні навантаження, які важко змодельовати випробуваннями палі пробним навантаженням, відповідно до Єврокоду, можна замінити розрахунками, використовуючи найбільш несприятливі розрахункові значення параметрів ґрунту. Це стосується випадків впливу, наприклад, циклічних навантажень.

Кількість і місце виконання випробувань несучої здатності паль вибирається відповідно до наявних ґрунтових умов. Зокрема, випробування повинні проводитися в місцях з найбільш несприятливими умовами.

Представлення даних випробувань несучої здатності є важливим чинником, оскільки результати випробувань будуть впливати на конструкцію паль.

Випробування паль статичним навантаженням можуть виконуватися на пробних палях або на робочих палях, які будуть частиною фундаменту.

Виходячи з результатів випробування паль статичним навантаженням, варто зробити висновок про деформацію, повзучість і випір пального фундаменту. Ці властивості фундаменту придатні, зокрема, при перевірці граничного експлуатаційного стану. Розрахунки граничного напруженого стану найчастіше ґрунтуються на обмірюваних граничних руйнівних навантаженнях, представлених, як мінімум, осьовим навантаженням. Викликає подив той факт, що в Єврокоді 7 говориться про те, що проєктувальник повинен уміти робити висновок про граничні руйнівні навантаження, виходячи тільки з результатів навантаження дослідних паль. Слід розуміти, що не завжди потрібно викликати руйнування дослідної палі, тому що загальновідома практика одержання значення граничного руйнівного навантаження допускає екстраполяцію кривої навантаження-осідання. Робочі палі повинні навантажуватися, як мінімум, до проєктного навантаження на фундамент. Хоча це й не вказувалося, необхідно розуміти, що таке проєктне навантаження – це навантаження, що відповідає постійним навантаженням.

При розрахунках палих фундаментів, що піддаються навантаженню на розтяг, в усіх випадках слід виконати випробування статичним навантаженням до руйнування. Це пояснюється тим, що досягти руйнування палі випробуванням на розтягання легше тому, що під впливом розтягувального навантаження палі проявляють крихку поведінку. У цьому випадку представляється ризикованим робити прогноз несучої здатності ґрунту при розтяганні шляхом екстраполяції даних, узятих із кривої навантаження-переміщення.

При випробуванні дослідних паль, згідно Єврокоду 7 необхідно виконати ретельне дослідження ґрунту, переконавшись у його характерних

рисах навколо паль і під їхніми опорними кінцями, і підготувати повну документацію по способу їх влаштування, відповідну до документації постійних пальових фундаментів.

### **Тема 7 Опір пальового фундаменту стиску та зсуву. Вертикальне переміщення палі**

Термін «*опір ґрунту*» використовуваний у Єврокоді 7 означає «несучу здатність» або «міцність на розрив» палі. Слово «опір» у цьому випадку означає наявність максимальної відповідної дії ґрунту (максимальний бічний опір, а для палі, що працює на стиск, максимальний опір по опорному кінцю) на противагу навантаженням, прикладеним на ґрунт (через палю).

Граничні стани, обов'язкові для перевірки. Перші три стани відносяться до граничних напружених станів: втрата несучої здатності окремої палі, втрата несучої здатності всього пальового фундаменту, що викликала руйнування або серйозні ушкодження надфундаментної конструкції в результаті надмірного переміщення пальового фундаменту. Останній стан відноситься до критичного експлуатаційного стану надфундаментної конструкції, викликаному переміщенням фундаменту, яке перевищує допустиме граничне значення.

Розрахунки втрати несучої здатності окремо взятої палі або всього пальового фундаменту за умовами граничного напруженого стану відповідають звичайним розрахункам несучої здатності, навіть якщо Єврокод 7 пропонує інноваційні методики розрахунків величини опору ґрунту і якщо розрахунки виконуються за допомогою часткових коефіцієнтів, що змінюють як прикладені навантаження, так і опір ґрунту.

Розрахунки переміщення пальових фундаментів не є звичайною практикою, особливо відносно надфундаментних конструкцій за умовами граничного напруженого стану. Для паль, що зазнають значного осідання, Єврокод 7 передбачає докладну оцінку всього діапазону осідань. Слід

зазначити, що подальші рекомендації з перевірки переміщень, що відповідають граничному напруженому стану надфундаментної конструкції, не даються. Вважається, що рекомендації, що стосуються фундаментів на природній основі, можуть відноситися й до пальових фундаментів.

Втрата несучої здатності в результаті стиску або розтягання визначається як стан, при якому паловий фундамент значно зміщується вниз або нагору, супроводжуючи це ледве помітним ростом або зниженням опору.

Під час випробування паль, що працюють на стиск, буває важко досягти зазначеного стану або одержати його, виходячи з даних графіка навантаження-осідання. У такому випадку Єврокод 7 рекомендує, щоб осідання оголовка палі на 10 % від її діаметра застосовувалося у вигляді критерію втрати несучої здатності. Ця рекомендація важлива, оскільки методи розрахунків несучої здатності ґрунту ґрунтуються на критичному навантаженні, визначаємого в ході випробувань статичним навантаженням, яке може змінюватися в значній мірі, залежно від застосовуваного критерію втрати несучої здатності.

Так само, як і при проєктуванні фундаментів на природній основі, при проєктуванні пальових фундаментів необхідно враховувати їхню загальну стійкість. При розгляді пальових фундаментів поверхні руйнування, що проходять під палями, а також, що перетинають палі, повинні братися до уваги.

Опір ґрунту стиску при всіх граничних напружених станах перевіряється за допомогою наступної математичної нерівності:

$$F_{c.d.} \leq R_{c.d.}, \quad (2)$$

де  $F_{c.d.}$  – розрахункове осьове стискаюче навантаження, що діє на окремо взятую палю або групу паль за умовами граничного напруженого стану;  $R_{c.d.}$  – розрахункове значення опору ґрунту стиску при розгляді окремо взятої палі або групи паль за умовами граничного напруженого стану.

Навантаження граничного напруженого стану  $F_{c.d.}$  визначається, виходячи з комбінації впливів, відповідних до загального формату методу часткового коефіцієнту, тобто комбінацій впливів при постійних і змінних

розрахункових ситуаціях (що іменуються в Єврокод 0 «фундаментальними» комбінаціями), комбінацією впливів при аварійних і сейсмогеологічних ситуаціях.

Критично граничний опір стиску  $R_{c,d}$  наведений в нерівності, визначається, виходячи з результатів випробувань статичним навантаженням, випробувань ґрунту або ґрунтуючись на результатах випробувань динамічним навантаженням.

Для розгляду аварійних і сейсмогеологічних ситуацій комбінація впливів формується разом із частковими коефіцієнтами впливів, звичайно рівних 1,0. Єврокод 7 не надає значення часткових коефіцієнтів опору на випадок аварійних ситуацій. Згідно із загальноприйнятою практикою, приймаються значення, рівні 1,0, однак вони залежать від конкретної розрахункової ситуації. Інформація із часткових коефіцієнтів несучої здатності паль за умовами сейсмонебезпечних ситуацій дана в Єврокод 8, частина 5.

Варто зазначити, що математична нерівність застосована до всього фундаменту, тому немає необхідності перевіряти окремо кожну палю.

У Єврокод 7 звертається увага на те, що граничний напружений стан досягається тільки тоді, коли значна кількість паль руйнуються одночасно. Фактично, поки пальовий фундамент не стане механізмом (у статичному сенсі), граничний напружений стан не досягається. Такий механізм створюється перевищенням несучої здатності декількох паль, а також руйнуванням конструкції, що з'єднує палі.

Аналіз руйнування за умовами граничного напруженого стану, що передбачає перевірку всього пального фундаменту, робиться досить рідко. Для такої перевірки потрібен нелінійний аналіз перерозподілу навантаження між палями. Можна припустити, що відповідний перерозподіл навантаження можна реалізувати спрощеним способом, шляхом вибірки різних значень несучої здатності палі, що залежать від жорсткості конструкції. Врахування конструкційної жорсткості можна ввести спрощеним способом за допомогою

коефіцієнта, рівного 1,1. Цей коефіцієнт не слід застосовувати, коли враховується непластичний перерозподіл навантаження.

У Єврокодi 7 звертається увага на інші два питання щодо паль, котрі відносяться до наступних груп:

- необхідно брати до уваги палі, розташовувані по краях фундаменту, оскільки у випадку позацентрово навантажених жорстких фундаментів або при наявності похилих навантажень вони зазвичай навантажені більшою мірою, ніж інші палі, тому що їхня поведінка набагато жорсткіша за інші палі;
- група паль, що працюють на стиск, може зруйнуватися у вигляді окремого блоку, що складається з паль і ґрунту, розміщеного між ними. Єврокод 7 допускає розглядати такий блок у вигляді однієї палі великого діаметру. Окремий пальовий блок зазвичай аналізується шляхом розрахунку вертикальної несучої здатності еквівалентного суцільного фундаменту, згідно з відповідними методами розрахунків.

Зрозуміло, що перевірка руйнування від продавлювання такого еквівалентного суцільного фундаменту повинна виконуватися при необхідності.

Також звертається увага на інші фактори, обов'язкові для розгляду й врахування, при оцінці опору окремих паль стискаючому впливу:

- можлива наявність слабкого шару нижче опорного кінця паль;
- геометрія опорного кінця палі в порівнянні зі стовбуром;
- можливість виникнення ефекту «пробки» при застосуванні забивних паль із відкритим торцем.

Процедура визначення опору палі стиску в ході випробування статичним навантаженням ґрунтується на аналізі значень опору стиску  $R_{c,d}$ , визначених під час статичних випробувань однієї або декількох дослідних паль. Дослідні палі повинні бути аналогічні робочим палям фундаменту. Крім того, вони повинні встановлюватися в аналогічній ґрунтовій основі.

Важлива вимога, викладена в Єврокодi 7, полягає в тому, що при інтерпретації результатів випробування палі навантаженням, необхідно

враховувати мінливість параметрів ґрунту на місці проведення робіт і мінливість параметрів, викликану відхиленням від стандартного способу установки палі. Іншими словами, необхідно ретельно перевіряти результати дослідження ґрунту й результати випробування паль навантаженням. Результати випробування палі навантаженням можуть привести, наприклад, до виявлення різних однорідних частин робочого майданчика, кожна з яких має індивідуальний опір палі стиску.

Як уже було відзначено, методи прогнозу опору паль стиску, виходячи з результатів випробування ґрунту, можуть використовуватися за умови, що вони встановлені на основі випробувань паль навантаженням і порівняльного досвіду.

Для урахування додаткової невизначеності розрахункового методу Єврокод 7 передбачає застосування коефіцієнта моделі, обов'язкового для введення в розрахунки, для того щоб забезпечити надійність прогнозу. По суті, цей коефіцієнт моделі є каліброваним коефіцієнтом методу розрахунків. Однак детальна інформація про нього в документі не представлена. Значення коефіцієнта моделі повинне бути отримане шляхом порівняння результатів випробувань статичним навантаженням з відповідними прогнозованими значеннями. Він обирається з метою забезпечення заданої надійності прогнозів. Значення коефіцієнта моделі можна одержати шляхом статистичного аналізу банку даних, що отримується по результатам випробувань навантаженням.

## **Тема 8 Нагляд за будівництвом**

Основний принцип Єврокоду 7 полягає в забезпеченні контролю й моніторингу всіх процесів геотехнічного будівництва, включаючи контроль якості робіт у моніторингу експлуатаційних характеристик конструкції як під час будівництва, так і після його завершення, а також у забезпеченні відповідного обслуговування конструкції після завершення будівництва.

У розділі 4 Єврокод 7 розглядаються три основні теми:

Забезпечення безпеки і якості за допомогою контролю, нагляду й обслуговування. Важлива вимога полягає в тому, щоб характер і якість нагляду й моніторингу, передбаченого для проєкту, співвідносилися з точністю, прийнятою для проєктування й вибору технічних параметрів і часткових коефіцієнтів у розрахунках. Інакше кажучи, необхідно встановити підвищені вимоги до нагляду й моніторингу будівельних робіт у випадках, коли існує більша невизначеність у надійності розрахункових параметрів і ступеню точності проєктних розрахунків.

1. Визначення обсягу робіт і його відображення в офіційних документах, наприклад, у Звіті про геотехнічне проєктування.

2. Планове здійснення нагляду, моніторингу й обслуговування з веденням обліку.

У розділі 4 Єврокоду 7 розглядається питання відповідальності проєктувальників за визначення вимог до нагляду, моніторингу й обслуговування. Звертається серйозна увага на рішення, прийняті проєктувальником, і забезпечення його необхідною інформацією. Очевидно, що проєктувальник не може відповідати за моніторинг і обслуговування конструкції після завершення будівництва, однак він повинен підготувати й представити технічні умови на моніторинг і обслуговування для того, щоб проєктні рішення були підтверджені під час будівництва і після його завершення.

Питання, що перевіряються під час будівництва:

а) розташування й загальна схема конструкції.

б) ґрунтові умови перевіряються безпосередньо.

1) під час земляних робіт:

– ухил стінок і дно котловану;

– ґрунт при буравленні шпар для паль і анкерних кріплень;

2) непряма перевірка, наприклад, під час:

– занурення паль;

– занурення шпунта;

в) стан ґрунтових вод:

– -течія і тиск порової води;

– -ефективність гідрогеологічних заходів;

г) осідання й переміщення конструкції, стійкість виїмок і котлованів;

д) тимчасові підтримуючі конструкції;

е) вплив будівництва на навколишню забудову;

ж) тиск ґрунту на підпірні споруди;

и) охорона праці.

У розділі 4 не зазначено докладні вимоги до якості робіт, для чого повинні бути зроблені посилання на різні стандарти, що відносяться до будівництва спеціальних геотехнічних конструкцій.

У багатьох випадках самі проєктувальники визначають ступінь «відповідності», щодо цього весь розділ являє собою простий перелік контрольних перевірок, що нагадує проєктувальникові про питання і фактори, необхідні або бажані для розгляду в різних обставинах. Обсяг нагляду, моніторингу й обслуговування залежить від характерних рис проєкту й ґрунтових умов.

Так само як і в інших частинах Єврокоду, у справжньому розділі не визначаються договірні угоди. Проте вказується, які завдання повинні бути виконані і який обсяг інформації повинен бути наданий.

У розділі не розглядаються вимоги до охорони праці на місці проведення робіт, по цьому питанню слід посилатися на національне законодавство.

Хто повинен здійснювати нагляд, моніторинг і обслуговування? Це питання не регламентується, однак передбачається можливість послідовного обміну інформацією між проєктною і будівельною організаціями і наданням необхідного обслуговування конструкції протягом строку її експлуатації. Звіт про геодезичні роботи призначений для забезпечення необхідного обміну інформацією шляхом включення плану нагляду й моніторингу за виконанням зазначених робіт у ході будівництва й пунктів, що перевіряються в ході обслуговування. Витяги зі Звіту про геотехнічне проєктування, що відносяться

до вимог моніторингу і обслуговуванню після завершення будівництва, повинні надаватися замовникові.

У додатку J до Єврокоду 7 дається перелік найбільш важливих питань, розглянутих під час будівництва.

Питання охорони праці окремо не обговорюються в Єврокодах, це предмет розгляду національних правил охорони здоров'я й праці. Однак особа, що перевіряє хід геотехнічних робіт, зобов'язана забезпечувати захист робітників, що перебувають, наприклад, у котловані, від можливого обвалення його стінок.

Нагляд, згідно з Єврокодом 7, припускає перевірку як проєктування, так і будівництва. Необхідно розробити план, що включається у Звіт про геотехнічне проєктування, зміст якого залежить від масштабу й складності проєкту, представленої геотехнічними категоріями (GC<sub>s</sub>). Якщо проєкт відноситься до геотехнічної категорії 1, нагляд може бути обмежений візуальним оглядом основи, поверхневим контролем якості і якісною оцінкою експлуатаційних характеристик конструкції під час і відразу після завершення будівництва, цілком можливо, що цього буде досить. Подальший моніторинг і обслуговування, імовірно, не буде потрібно. Якщо проєкт відноситься до геотехнічної категорії 2, можливо, буде потрібно визначення характеристик основи або характеру переміщення конструкції. Випробування ґрунту на деформації під навантаженням, перевірка паль або вивчення щільності насипного ґрунту за підпірною конструкцією – це приклади моніторингу, який може знадобитися для проєкту геотехнічної категорії 2.

Важлива вимога Єврокод 7 полягає в тому, щоб звіти про такі перевірки систематично зберігалися і були доступними для проєктувальника. Нижче зазначені дані, обов'язкові для відображення у звітах:

- важливі характеристики й властивості основи і підземних вод;
- послідовність виконання робіт;
- якість матеріалів;
- відхилення від проєкту;

- виконавчі креслення;
- результати вимірів/визначень і їх обробка;
- спостереження за умовами навколишнього середовища;
- непередбачені події.

Контрольні дослідженням полягають у перевірці стану ґрунту й ґрунтових вод. Вони передбачають перевірку прийнятих проєктних рішень, якщо це необхідно, і виконання подальшого дослідження:

- ґрунту (тип і характеристики ґрунту або скельної породи);
- ґрунтових вод, включаючи рівень залягання, тиск порової води і її хімічний склад, вплив на ґрунтові води дренаванням, цементацією і прокладкою тунелів.

Якщо проєкт відноситься до простої геотехнічної категорії 1, то перевірка розрахунків, ґрунтових умов і підземних вод може бути обмежена візуальним оглядом і вивченням підтверджених документально або інших дотичних доказів стану майданчика проведення робіт. Якщо проєкт відноситься до геотехнічної категорії 2, то може знадобитися додатковий відбір зразків і їх лабораторні випробування або випробування зразків безпосередньо на місці проведення робіт. Крім того, може виникнути необхідність у виконанні вимірів/визначень у рамках контрольного дослідження. Непряме підтвердження властивостей ґрунту, наприклад, виходячи зі звітів про забивання паль, повинне оформлятися й використовуватися при розгляді ґрунтових умов.

Будівельні роботи повинні перевірятися з метою забезпечення їх відповідності методикам, прийнятим для проєктування й розрахунків і документально оформленим у Звіті про геотехнічне проєктування. Така вимога Єврокоду 7 може привести до більш ретельного розгляду проєктувальниками можливих методів будівництва й відображенню їх проєктних рішень у Звіті про геотехнічне проєктування (наприклад, перевірка укладання насипного ґрунту і параметрів його ущільнення). Звичайно зазначені вимоги не відносяться до конструкцій геотехнічної категорії 1, коли

послідовність будівельних робіт найчастіше не є складною і визначається підрядником. Відхилення від проєктних рішень, що стосуються ґрунтових умов і ґрунтових вод, і від методів будівництва повинні негайно повідомлятися особі, відповідальній за проєктування.

Дані, які можуть бути отримані зі схеми ведення моніторингу, включають наступні параметри і їх зміну в часі:

- деформації основи, викликані спорудженням;
- значення впливів;
- значення тисків на контакті основи зі спорудою;
- значення тиску порової води;
- зусилля і переміщення в елементах споруди.

Для конструкцій, що відносяться до геотехнічної категорії 1, досить виконання візуального огляду, у той час як для конструкцій, що відносяться до геотехнічної категорії 2, моніторинг конструкції може включати виміри в обраних точках. Для конструкцій, що ставляться до геотехнічної категорії 3, Єврокод 7 рекомендує проводити аналіз роботи конструкції на підставі вимірів в обраних точках. Вимога виконувати моніторинг і рекомендації зі зберігання звітів не повинні пред'являтися для виконання рядових геотехнічних робіт, притаманних для конструкцій геотехнічних категорій 1 і 2. У випадку простих фундаментів їх обсяг повинен бути мінімальний.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 151 с.
2. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Частина 2. Дослідження і випробування ґрунту. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 114 с.
3. Designers` Guide to Eurocode 7 : Geotechnical design / [R. Frank. C. Bauduin, R. Driscoll at al.]. – London : Thomas Telford Limited, 2009. – 213 p.
4. Bauduin C. M. Design procedure according to Eurocode 7 and analysis of the test results : Proceedings of the Symposium on Screw Piles – Installation and Design in Stiff Clay / C. M. Bauduin. Brussels, Balkema, Rotterdam, 2001. – P. 275–303.
5. Bauduin C. M. Designed axially loaded piles according to Eurocode 7 : Proceedings of the 9th International Conference on Piling and Deep Foundations / C. M. Bauduin. Nice : Presses de l'ENPC, 2002. P. 301–312.
6. Gulvanessian H. Guide to EN 1990, Eurocode: Basis of Structural Design. / H. Gulvanessian, J. A. Calgaro, M. Holicky. – London : Thomas Telford. – 2002. – 192 p.
7. Lumb P. (1974) Application of statistics in soil mechanics : Soil Mechanics / P. Lumb. – London : New Horizons, 1974. – P. 44–111.
8. Orp T. L. L. Geotechnical Design to Eurocode 7 / T. L. L. Orp, E. R. Farrell. – London : Springer-Verlag, 1999. – 166 p.

*Навчальне видання*

**АЛЕКСАНДРОВИЧ** Вадим Анатолійович

## **ГЕОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЗА ЄВРОКОДАМИ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр»  
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
освітня програма «Промислове і цивільне будівництво» (освітньо-наукова))*

Відповідальний за випуск *Г. М. Левенко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2019, поз. 3Л

---

Підп. до друку 01.07.2020    Формат 60 x 84/16.

Друк на ризографі.    Ум. друк. арк. 2,9.

Тираж 50 пр.    Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.