

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля**

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Основи та фундаменти»

Частина 1.

*(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G19 Будівництво та цивільна інженерія)*

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри будівництва,
урбаністики та просторового
планування

Протокол №9 від 21.04.2026 р.

Київ 2026

Конспект лекцій з дисципліни **«Основи та фундаменти»**. **Частина 1. (для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)** (Електронне видання) / Уклад.: М.В. Білошицький, Г.О. Татарченко, Н.І. Білошицька. – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. – 100 с.

Методичне видання спрямоване на опанування здобувачами вищої освіти теоретичного матеріалу з дисципліни «Основи та фундаменти».

У конспекті лекцій викладено основні поняття інженерної геології, розглянуті фізико-механічні властивості ґрунтів, геодинамічні процеси та їх вплив на будівлі і споруди, головні закони механіки ґрунтів, розподіл напружень і деформацій в основах споруд.

Конспект лекцій охоплює широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для фахівців зі спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»: Особливу увагу приділено фундаментам, що зводяться у відкритих котлованах, та пальовим фундаментам глибокого закладення. Викладено принципи проєктування фундаментів в складних ґрунтових умовах при різних варіантах завантаження, наведено способи і технології зміцнення слабких ґрунтових основ, особливості зведення і реконструкції фундаментів.

Наприкінці методичних вказівок наведено додатки, список необхідної літератури і нормативних документів.

Укладачі: М.В. Білошицький – к.т.н., доцент кафедри БУПП

Г.О. Татарченко – д.т.н., професор, завідувачка кафедри БУПП

Н.І. Білошицька – к.т.н., доцент кафедри БУПП

Рецензент: П.Є. Уваров – к.т.н., доцент кафедри БУПП

ЗМІСТ

Тема	Вступ	5
1.	Основні поняття і визначення	9
1.1.	Склад курсу основ і фундаментів, його зв'язок з іншими дисциплінами.	11
1.2.	Короткий історичний опис розвитку дисципліни «Основи та фундаменти».	12
1.3.	Основи і фундаменти в сучасних умовах будівництва і реконструкції.	13
	Питання до самоперевірки	14
2.	Види ґрунтів	15
2.1.	Походження, склад і будова ґрунтів.	17
2.2.	Тверді частинки ґрунту.	19
2.3.	Рідка складова ґрунтів.	20
2.4.	Газоподібна складова ґрунту.	23
2.5.	Будова ґрунтів.	24
	Питання до самоперевірки	26
3.	Класифікація ґрунтів та їх характеристика	27
3.1.	Класифікація ґрунтів.	27
3.2.	Природні скельні ґрунти.	31
3.3.	Природні дисперсні ґрунти.	33
3.4.	Техногенні ґрунти.	42
	Питання до самоперевірки	44
4.	Загальні положення проєктування основ та фундаментів	45
4.1.	Загальні принципи проєктування основ і фундаментів.	45
4.2.	Послідовність проєктування основ і фундаментів.	47
4.3.	Розрахунок основ і фундаментів за граничними станами.	51
4.4.	Загальна оцінка взаємодії споруд і основ.	53

4.5.	Матеріали інженерно-геологічних вишукувань.	54
4.6.	Вибір нормативних розрахункових навантажень і їх поєднань.	56
4.7.	Вибір типу і конструкції фундаменту.	58
4.8.	Варіантність рішень.	58
	Питання до самоперевірки	59
5.	Фундаменти, що зводяться в відкритих котлованах	60
5.1.	Конструкція фундаментів, їх види і порядок проєктування.	60
5.2.	Вибір мінімальної глибини закладення фундаментів.	64
5.3.	Попереднє призначення розмірів підшви фундаментів мілкого закладення.	69
5.4.	Розрахунок фундаментів мілкого закладення.	70
5.5.	Визначення розрахункового опору ґрунтів основи.	72
5.6.	Облік підстилаючого шару слабкого ґрунту.	75
5.7.	Розрахунок розмірів підшви фундаменту при наявності підвалу.	77
5.8.	Розрахунок осідання фундаментів мілкого закладення методом пошарового підсумовування.	79
5.9.	Розрахунок основ фундаментів мілкого закладання за несучою здатністю.	82
	Питання до самоперевірки	88
	Висновки	89
	Література	90
	Додатки	92

Вступ

Дисципліна «Основи та фундаменти» є частиною групи дисциплін, пов'язаних з проєктуванням, будівництвом і експлуатацією будівель і споруд, влаштуванням підземних комунікацій, прокладкою трубопроводів.

У багатьох випадках на виконання робіт нульового циклу, які включають влаштування фундаментів, витрачається більше часу, ніж на зведення збірних надземних конструкцій будівель.

Крім того, вартість цих робіт іноді становить до 40% від загальної вартості споруд, тому їх здешевлення дає цілком відчутний ефект.

Надійність основ і фундаментів і здешевлення робіт з їх пристрою в значній мірі залежать від уміння правильно оцінити інженерно-геологічні умови майданчиків будівництва, властивості ґрунтів в основах і спільну роботу цих ґрунтів з фундаментами, що деформуються і конструкціями споруди, від раціональності обраних типів основ, від якості виконання робіт.

Справжній курс є продовженням курсу «Інженерна геологія та вишукування».

Внаслідок вивчення дисципліни «Основи та фундаменти» здобувач вищої освіти набуде наступних програмних компетентностей:

ІК (інтегральна компетентність) – здатність розв'язувати складні спеціалізовані завдання та практичні проблеми під час професійної діяльності у сфері планування та благоустрою міст, застосування основних принципів містобудівної оцінки території за природними факторами, включаючи кількісну і якісну оцінку рельєфу; методів благоустрою міських територій та захисту їх від несприятливих природних умов та життєдіяльності людей.

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

СК01. Здатність використовувати концептуальні наукові та практичні знання з математики, хімії та фізики для розв'язання складних практичних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії.

СК03. Здатність проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди та інженерні мережі (відповідно до спеціалізації), з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

СК07. Спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у сфері архітектури та будівництва у непередбачуваних робочих контекстах.

Програмні результати навчання:

РН01. Застосовувати основні теорії, методи та принципи математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук, сучасні моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень для розв'язання складних задач будівництва та цивільної інженерії.

РН02. Брати участь у дослідженнях та розробках у сфері архітектури та будівництва.

РН03. Презентувати результати власної роботи та аргументувати свою позицію з професійних питань, фахівцям і нефахівцям, вільно спілкуючись державною та іноземною мовою.

РН08. Раціонально застосовувати сучасні будівельні матеріали, вироби та конструкції на основі знань про їх технічні характеристики та технологію виготовлення.

РН09. Проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди, інженерні мережі та технологічні процеси будівельного виробництва, з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, безбар'єрного простору, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації, часових та інших обмежень, у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

В результаті вивчення дисципліни здобувачі вищої освіти повинні набути:

знання:

- основних фізико-механічних властивостей ґрунтів основи, розподіл напружень від власної ваги, при дії зовнішнього навантаження, види деформацій і причини, які їх зумовлюють;
- вимог нормативних документів до проєктування об'єктів житлового будівництва;
- закономірностей та норм, покладених в основу розрахунків та проєктування основ та фундаментів за граничними станами;
- величин, що характеризують: граничні навантаження на основу; розрахункові та гранично допустимі деформації основ та споруд;
- напружено-деформованого стану основ, фундаментів та огорожувальних конструкцій;
- інженерних, конструктивних, технологічних та економічних факторів проєктування основ та фундаментів.

вміння:

- оцінювати і враховувати кліматичні, інженерно-геологічні, гідрологічні та екологічні особливості території будівництва при проєктуванні основ та фундаментів, використовуючи сучасні досягнення в галузі, можливості систем автоматизованого проєктування;
- застосовувати сучасні методи конструювання, зокрема штучне покращення ґрунту, проєктування та закладення фундаментів на слабких основах, пальові конструкції тощо;
- обґрунтовувати найбільш доцільні за техніко-економічними показниками конструктивні рішення, що забезпечують експлуатаційну надійність споруд та задовольняють вимогам охорони навколишнього середовища;
- працювати з нормативною будівельною літературою;
- самостійно користуватись довідниковою і нормативною літературою;

– самостійно проводити дослідження та оцінку ґрунтових умов основи, розрахунки фізико-механічних властивостей ґрунтів, застосування теорій лінійного деформування для розв’язання задач механіки ґрунтів.

навички:

– аналізувати інженерно-геологічні умови майданчиків, оцінювати характеристики ґрунтів, їх поведінку під навантаженням і вплив конструкцій;

– уміння виконувати розрахунки несучої здатності, осідання і стабільності фундаментів за граничними станами; проектувати мілкі та глибокі фундаменти з урахуванням ґрунтових умов;

– здатність працювати з нормативною базою;

– знання ДБН, будівельних стандартів і Єврокодів, а також вміння застосувати їх при проектуванні конструкцій.

ТЕМА 1

ВСТУП. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

План:

1.1. Склад курсу основ і фундаментів, його зв'язок з іншими дисциплінами.

1.2. Короткий історичний опис розвитку дисципліни «Основи та фундаменти».

1.3. Основи і фундаменти в сучасних умовах будівництва і реконструкції.

Проектування основ і фундаментів будівель і споруд, вибір типу конструкцій фундаментів, способи підготовки основ повинне проводитися в суворій відповідності до вимог ДБН А.2.1-1:2014 «Інженерні вишукування для будівництва» з урахуванням:

- результатів інженерних вишукувань для будівництва;
- даних, які характеризують призначення, конструктивні і технологічні особливості об'єкта, навантаження, що діють на фундаменти, умови їх експлуатації;
- техніко-економічного обґрунтування варіантів технічних рішень підземної частини будівлі або споруди.

Будь-яка будівля передає діючі на неї навантаження, включаючи власну вагу, на ґрунт основи.

Ґрунтами згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей» прийнято називати скельні або дисперсні гірські породи, а також насипу до початку будівельних робіт. Розрізняють ґрунти: скельні, напівскельні, великоуламкові, піщані, пилувато-глинисті, органогенні і техногенні. В окремих випадках ґрунт може мати штучне походження, будучи результатом господарської діяльності людини.

При зведенні насипів, гребель та інших земляних споруд ґрунт виступає в якості будівельного матеріалу (рис. 1.1).

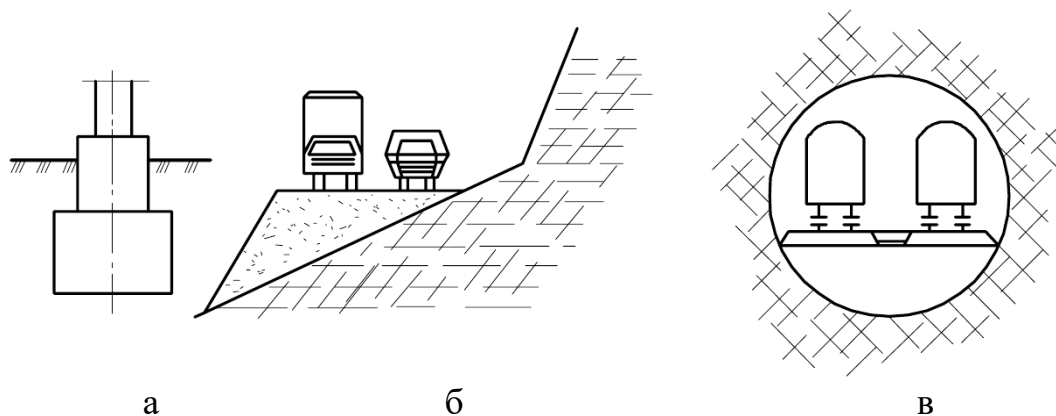


Рис. 1.1. Використання ґрунту в будівельних цілях: а – фундамент будівлі; б – насип; в – підземна споруда

Фундаментом (рис. 1.2) називається заглиблена частина будівлі або споруди, призначена для передачі навантажень від верхньої будови (надфундаментних конструкцій) на ґрунти основи, що залягають на деякій глибині від поверхні землі.

Надземні конструкції спираються на верхню площину фундаменту – його обріз. Нижню площину фундаменту прийнято називати підшвою.

В основі розрізняють несучий шар ґрунту, на який безпосередньо спирається підшва фундаменту, і шари, що підстилають, що залягають нижче несучого шару. Відстань від підшви до поверхні землі називається глибиною закладення фундаменту. Залежно від глибини залягання несучого шару ґрунту і конструктивних особливостей будівлі, фундаменти можуть бути (рис. 1.2): мілкового закладення, заглиблені і глибокого закладення.

Фундаменти мілкового закладення, малозаглиблені – передають навантаження на ґрунт основи переважно через підшву фундаменту.

Фундаменти заглиблені – передають навантаження на ґрунт основи через підшву і бічну поверхню фундаменту, враховуючи тиск ґрунту на бічну поверхню заглибленої (стіновий) частини будівлі.

Фундаменти глибокого закладення – передають навантаження на ґрунт розгорнутої основи за допомогою тертя або зчеплення по всіх поверхнях контакту конструкції фундаменту з основою (вертикальні, похилі поверхні і підшва).

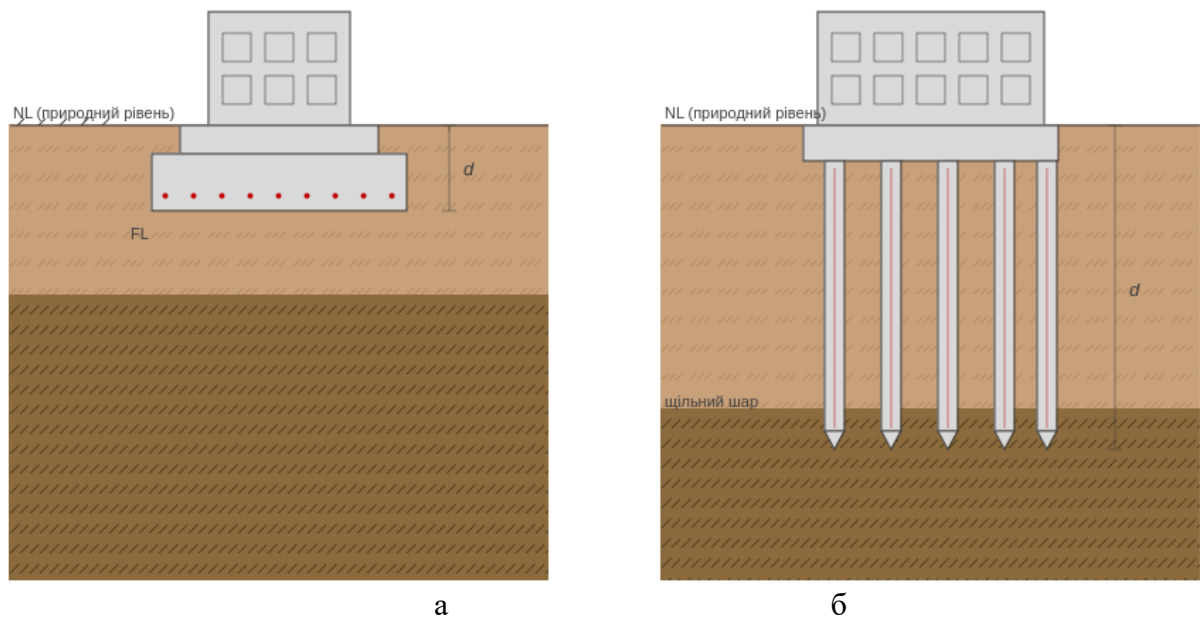


Рис. 1.2. Фундамент споруди: а – мілкого закладення; б – глибокого закладення

Основою називається частина ґрунтового масиву, яка сприймає і розподіляє навантаження від фундаменту. В основі розрізняють активну зону, або **товщу що стискається**, в межах якої розвивається основна частина деформації ґрунту. Керуючись певними правилами, можна знайти нижню межу товщі що стискається, за межами якої напруження та деформації в ґрунті від зовнішнього навантаження, що передається фундаментом на основу, настільки незначні, що ними можна знехтувати. Відстань від нижньої межі товщі що стискається до підшви фундаменту визначає глибину **активної зони**.

1.1. Склад курсу основ і фундаментів, його зв'язок з іншими дисциплінами

При вивченні курсу «Основи та фундаменти» необхідно мати уявлення про місце, яке займає ця дисципліна серед інших будівельних дисциплін, що вивчаються студентами у вищому навчальному закладі. Теоретична частина курсу в значній мірі базується на висновках і положеннях інженерної геології, теоретичної і будівельної механіки. Крім того, при проєктуванні фундаментів необхідно вирішувати питання, пов'язані з вибором будівельних матеріалів, технологічних прийомів виконання робіт, з економічною оцінкою розглянутих варіантів.

Лекційний матеріал складається з чотирьох розділів, в яких викладено такі матеріали:

- загальні відомості, класифікація та фізичні властивості ґрунтів, вплив геологічних процесів на стан ґрунтів в основі;
- механічні властивості і напружено-деформований стан ґрунтів, міцність і стійкість ґрунтів схилів і насипів, тиск ґрунтів на огорожувальні конструкції, реологічні процеси в ґрунтах;
- фундаменти на природній основі, пальові фундаменти, фундаменти на структурно – нестійких ґрунтах, способи поліпшення будівельних властивостей ґрунтів, проектування фундаментів і зміна властивостей ґрунтів при впливі динамічних навантажень;
- проектування фундаментів в складних геологічних умовах, вплив техногенних процесів на роботу і стан фундаментів.

1.2. Короткий історичний опис розвитку дисципліни «Основи та фундаменти»

Більшість збережених пам'яток стародавнього зодчества зобов'язані не тільки міцності будівельних матеріалів, вдалим конструктивним рішенням і правильному вибору місця будівництва, а й надійності ґрунтових основ і фундаментів. Ще в I в. до нашої ери римський архітектор та інженер Вітрувій в своїх працях «Десять книг про архітектуру» наголошував на важливості створення надійних фундаментів.

По мірі розвитку техніки, методів будівництва, застосування нових будівельних матеріалів збільшуються висота і вага будівель, що зводяться. Це, в свою чергу, вимагає від проєктувальників і будівельників більше приділяти увагу питанням досягнення теорії і практики фундаментобудівництва, а також питань надійності ґрунтових основ.

Першою вагомою теоретичною роботою з механіки ґрунтів прийнято вважати теорію Ш. Кулона (1773) про тиск ґрунтів на підпірні стінки. Основи механіки ґрунтів закладені працями Ж. Буссінеска, Л. Прандтля, К. Терцагі та ін.

До числа вчених-засновників сучасної школи механіки ґрунтів і фундаментобудівництва слід віднести: В.Г. Березанцева, Н.М. Герсєванова, М.І. Горбунова-Посадова, Б.І. Далматова, К.Е. Єгорова, М.В. Малишева, Н.Н. Маслова, Е.А. Сорочана, В.В. Соколовського, Н.А. Цитовіч, В.А. Флоріна та ін.

Істотний внесок у розвиток теорії і практики фундаментобудівництва внесли українські вчені: Ю.Л. Винников, І.П. Бойко, М.Н. Гольдштейн, В.Н. Голубков, Н.А. Зоценко, Ю.В. Избаш, С.Н. Клепиков, І.М. Литвинов, І.Я. Лучковський, Н.С. Метелюк, Ю.М. Молюшіцкій, С.В. Платонов, А.Г. Рудь, А.М. Рижов, С.А. Слюсаренко, Г.І. Чорний, В.Б. Швець, П.І. Яковлєв та ін.

Сучасні міста надувають не тільки новий, більш привабливий вигляд за рахунок зведення висотних будівель і споруд, а й надбудов, заглиблення фундаментів на значну глибину. При цьому ґрунтові основи вимагають ретельних досліджень і моделювання з економічним обґрунтуванням, використанням сучасних методів розрахунку і комп'ютерних технологій, що значно скорочує терміни видачі проектної документації, забезпечує точність розрахунків і прогнозування можливих деформацій ґрунтових основ.

Здобувачі, як майбутні фахівці-будівельники, повинні вміти вирішувати поставлені завдання в області фундаментобудівництва, використовуючи досвід минулих поколінь і нові досягнення науки і техніки, вимоги, що пред'являються до проєктування основ і фундаментів.

1.3. Основи і фундаменти в сучасних умовах будівництва і реконструкції

Незважаючи на значний досвід, накопичений при проєктуванні і будівництві, в даний час перед фахівцями виникають численні запитання, пов'язані зі збільшенням навантажень на фундаменти і ґрунтові основи. Підвищуються вимоги до якості виконання будівельних робіт, скорочення матеріаломісткості, вартості та тривалості будівництва. Це в свою чергу викликає необхідність вдосконалення методів розрахунку і проєктування, поліпшення якості проектних та вишукувальних робіт, вибору найбільш

раціональних і перспективних типів фундаментів, нових матеріалів і методів підготовки ґрунтових основ.

Інтенсивна забудова земельних ділянок, що раніше пустували, всередині міських територій з паралельним підземним будівництвом вимагає ретельного аналізу стану існуючих будівель і споруд. При цьому зростають вимоги до виробництва робіт, особливо коли ділянки під будівництво примикають до територій, що раніше вважалися непридатними – річкові заплави, схили, яри, звалища і місця складування відходів виробництва, а також до територій із складними ґрунтовими умовами – просадні лесові суглинки, глинисті, що набухають, слабководонасичені і заторфовані ґрунти.

Найбільш складно вирішуються питання передачі навантажень на основи при реконструкції будівель і споруд. Будівельникам все частіше доводиться заглиблювати різне обладнання в ґрунт, влаштовувати підземні поверхи та ін. В таких випадках ґрунти не тільки сприймають тиск від споруд, а й самі створюють додаткове навантаження на бічні поверхні заглиблених в ґрунт конструкцій, тобто є середовищем, в якій доводиться зводити такі конструкції. Це розширює завдання, які вирішуються при влаштуванні підземних частин споруд.

Таким чином, при проєктуванні та зведенні фундаментів і заглиблених в ґрунт частин споруд фахівець-будівельник повинен правильно оцінювати інженерно-геологічні умови майданчика будівництва, вміти вирішувати завдання не тільки з позицій спільної роботи споруд з основами, але і в часті оцінки ґрунтів як середовища, в якому зводяться будівельні конструкції.

Питання для самоперевірки.

1. За якими нормативними документами виконується проєктування основ і фундаментів будівель і споруд?
2. Визначення фундаменту.
3. На які різновиди за глибиною закладання поділяють фундаменти?
4. Що таке основа фундаменту, її розташування?
5. Основи і фундаменти в сучасних умовах будівництва і реконструкції.

ТЕМА 2

ВИДИ ҐРУНТІВ

План:

- 2.1. Походження, склад і будова ґрунтів.
- 2.2. Тверді частинки ґрунту.
- 2.3. Рідка складова ґрунтів.
- 2.4. Газоподібна складова ґрунту.
- 2.5. Будова ґрунтів.

Згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 ґрунти – це гірські породи, земляний покрив, техногенні утворення, що представляють собою багатокомпонентну і різноманітну геологічну систему мінерально-дисперсних утворень і є об'єктом інженерно-господарської діяльності людини.

В інженерній геології під терміном «ґрунт» розуміють будь-яку гірську породу, коли вона стає об'єктом тих чи інших будівельних заходів. У будівельній же практиці ґрунт – це рихлі, скельні гірські породи і техногенні утворення, які служать основою для будівель і споруд, а також матеріалом для цих споруд.

Науки, які вивчають ґрунти можна розділити на три групи. До першої групи належать науки, що вивчають гірські породи з природно-історичної точки зору, до другої групи – науки, що розглядають рішення прикладних, головним чином, будівельно-технічних завдань, пов'язаних з розрахунком, конструюванням і зведенням споруд, до третьої – проміжні науки між двома першими. До наук першої групи відносяться геологічні науки (інженерна геологія, ґрунтознавство та ін.), В яких ґрунти розглядаються, перш за все, як гірська порода.

Вивчаються умови утворення, склад і будову гірських порід, а також природні процеси і явища, під дією яких відбувається їх зміна. Науки другої групи (прикладні будівельно-технічні науки) вивчають ґрунти, як матеріали,

безпосередньо використовувані в тих чи інших технічних цілях. До цієї групи наук відносяться механіка ґрунтів, основи та фундаменти та ін.

2.1. Походження, склад і будова ґрунтів

Гірська порода, а отже і ґрунти являють собою закономірне поєднання мінералів. Закономірності складу, будови ґрунтів найтіснішим чином пов'язані з умовами їх утворення. В інженерній геології походження ґрунтів детально вивчено для різних умов, що і покладено в основу їх класифікації. Таким чином, походження (генезис) ґрунтів є одним з найважливіших факторів, що визначають їх фізико-механічні властивості і поведінку у взаємодії з будівлями і інженерними спорудами.

Всі ґрунти за генезисом можна розділити на природні та техногенні ґрунти. До природних ґрунтів відносяться магматичні, осадові і метаморфічні гірські породи, а до техногенних – ущільнені, закріплені в природному стані, насипні і наживні ґрунти.

Магматичні (вивержені) гірські породи утворюються в результаті застигання магми в надрах землі (інтрузивні – граніти, ліпарити, сієніт та ін.) і на її поверхні (ефузивні – базальти, андезит, порфіри та ін.).

Осадові гірські породи утворюються в результаті хімічного або механічного випадання осаду з водних розчинів (гіпс, ангідрит, солі та ін.), В результаті життєдіяльності тварин і рослин (доломіт, мергель, крейда, діатоміти та ін.), А також при перевідкладенні продуктів фізичного і хімічного вивітрювання гірських порід (щебінь, галька, пісок, глина та ін.).

Метаморфічні гірські породи утворюються в надрах землі з осадових, магматичних або раніше сформованих метаморфічних порід шляхом їх перетворення під впливом високого тиску і температур в присутності гарячих розчинів (мармур, кварцити, гнейси, сланці та ін.).

До техногенних ґрунтів відносять всі природні ґрунти будь-якого походження, спеціально закріплені матеріалами, що приводять до виникнення жорстких зв'язків між частинками, а також ґрунти, піддані спеціальному

ущільненню в природному заляганні, насипні, намівні ґрунти, тверді побутові та промислові відходи.

Різні умови походження і подальшу зміну ґрунтів під дією природних і техногенних факторів є причиною різноманітності будови, складу, стану і умов їх залягання.

$$\text{Ґрунт} = \text{мінеральні частинки} + \text{вода} + \text{газ}$$

Склад ґрунтів значною мірою визначається їх фізичними і механічними властивостями. З позицій загальної механіки ґрунт (рис. 2.1) являє собою складну термодинамічну систему, яка за прийнятою класифікацією є багатофазною і неоднорідною. У складі ґрунту присутні речовини в трьох фазових станах: тверда фаза (мінерали), рідка фаза (вода) і газоподібна фаза (газ і пар). Іноді в ґрунті виділяють **біоту** – живу речовину, яка може мати суттєвий вплив на його властивості. Так активізація життєдіяльності бактерій, як правило, знижує міцність ґрунту, а їх відмирання призводить, навпаки, до підвищення міцності. Однак поки властивості біоти не знайшли відображення в механіці ґрунтів, ми будемо розглядати ґрунт як трикомпонентну систему.

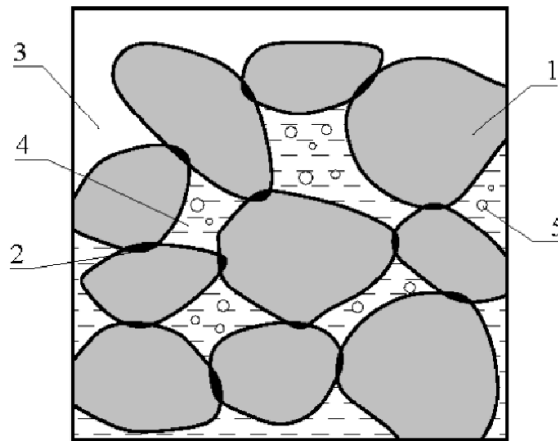


Рис. 2.1. Термодинамічна модель ґрунту: 1 – мінерали (тверда фаза); 2 – структурні зв'язки між мінеральними частинками; 3 – пори, заповнені газом або парою; 4 – пори, заповнені водою і розчиненим у воді газом; 5 – пухирці, заповнені газом і паром

Тверда фаза складається з мінеральних часток, які можуть мати розміри від десятків міліметрів до часток мікрона. Це породжує велику різноманітність видів ґрунту, що істотно відрізняються своїми властивостями.

Систему мінеральних часток, що складають ґрунт, називають скелетом ґрунту. Між мінеральними частинками ґрунту можуть існувати цементаційні або колоїдні зв'язки, міцність яких визначає ступінь зв'язності ґрунту.

Простір між мінеральними частинками, заповнений водою, газом або парою, називають порами, а тиск в порах – поровим тиском. Він може відноситися тільки до води, якщо всі пори заповнені водою, до газу при відсутності води в порах або до поверхні розділу фаз «вода – газ (пара)». Газ і пар можуть також міститися в бульбашках або в розчиненому (газ) вигляді в воді.

Залежно від температури і тиску компоненти, складові ґрунту, можуть зазнавати процеси фазових переходів. Наприклад, при низьких температурах грантова вода може частково переходити в лід (тверда фаза). Під час вилучення зразка ґрунту з великої глибини відбувається його пружне розширення в зв'язку зі зменшенням напружень на поверхні виділеного об'єму до нуля. Розширення ґрунту призводить до негативного (в порівнянні з атмосферним) значенням порового тиску. В результаті цього можуть протікати процеси газовиділення з порової води і перетворення частини порової води в пар (пароутворення).

Навпаки, при підвищенні порового тиску можуть спостерігатися процеси газорозчинення і конденсації пари. Ці процеси істотно залежать від температури і враховуються при розрахунках гідротехнічних споруд.

Таким чином, ми бачимо, що тверда, рідка і газоподібна компоненти знаходяться в постійній взаємодії, яка активізується в результаті будівництва. У зоні впливу промислових і цивільних споруд в ґрунтах, як правило, присутні всі три фазові компоненти одночасно. На великих же глибинах ґрунт може складатися з двох і навіть однієї компоненти. Так, в зоні позитивних температур нижче рівня підземних вод ґрунт зазвичай складається з твердої і

рідкої компонент. У механіці ґрунтів такий ґрунт називають «ґрунтовою масою». Газ в умовах високого гідростатичного тиску повністю розчинений у воді, але може виділитися з неї при зниженні зовнішнього тиску або підвищення температури. При зовнішніх впливах, наприклад, від будівництва і експлуатації будівель, однокомпонентна система ґрунту може переходити в двокомпонентну, а двокомпонентна – в трикомпонентну.

Виходячи з вищесказаного, випливає, що хімічні, фізичні, фізико-хімічні та біологічні процеси в ґрунтах протікають в складній взаємодії, зливаючись в єдиний геологічний процес, який змінює властивості ґрунтів у часі до будівництва, при будівництві і згодом при експлуатації споруд.

2.2. Тверді частинки ґрунту

Тверді частинки ґрунту представляють собою систему мінеральних зерен, різних за формою, складом, розмір яких змінюється від декількох сантиметрів до найдрібніших частинок колоїдного порядку (менше 1 мкм). Найважливішою характеристикою твердих частинок є мінералогічний склад, який багато в чому визначає фізико-хімічні властивості ґрунтів.

Магматичні, більшість метаморфічних і частина осадових гірських порід складені мінералами, інертними по відношенню до води і практично не вступають у взаємодію з розчиненими в ній речовинами. Ці мінерали (кварц, слюда, рогова обманка та ін.) не змінюють властивості не тільки при зміні вмісту води, але і в широкому діапазоні температур. Тому ґрунти, повністю складені такими мінералами, володіють найбільш сприятливими будівельними властивостями.

Розчинні у воді мінерали (галіт, гіпс, кальцит та ін.) дуже впливають на властивості ґрунту. Якщо частинки ґрунту в сухому стані скріплені розчинними мінералами, то при зволоженні зв'язки руйнуються, ґрунт втрачає міцність і може деформуватися навіть від власної ваги, а тим більше під навантаженням від споруд.

Можна виділити ще одну групу мінералів, які нерозчинні у воді, але їх не можна віднести і до інертних мінералів. Це глинисті мінерали – каолінит, монтморилоніт, іліт та ін. При малих розмірах кристалів (не більше 1...2 мкм) глинисті мінерали мають велику сумарну площу поверхні частинок, що зумовлює їх гідрофільність. Наприклад, в грамі каоліну сумарна площа поверхні всіх частинок становить 10 м², а в монтморилоніті – 800 м².

Тому наявність в ґрунті глинистих мінералів істотно впливає на їх властивості.

2.3. Рідка складова ґрунтів

Властивості всіх різновидів ґрунтів, особливо піщаних, пилуватих і глинистих залежить від складу і вмісту в них води. Вода в гірських породах може перебувати в пароподібному, рідкому і твердому стані. На підставі класифікації А.Ф. Лебедєва можна виділити наступні види води в ґрунтах: вода в формі пара, вода в твердому стані, пов'язана і вільна вода.

Вода в формі пара (водяна пара) є однією із складових частин ґрунтової атмосфери. Її кількість у ґрунті зазвичай не перевищує 0,001% від всієї ваги ґрунту. Вода в формі пара грає велику роль в процесах, що протікають в ґрунтах. Так, наприклад, вона є єдиною формою води, яка здатна пересуватися в ґрунті при незначній його вологості. У той же час, в результаті конденсації пари на поверхні ґрунтових частинок утворюються інші види води. Пароподібна вода в ґрунті знаходиться в постійній динамічній рівновазі з іншими видами води (зокрема, з гігроскопічною водою) і з парами води в атмосфері. При певних умовах пароподібна вода конденсується. Процес конденсації водяної пари може відбуватися під впливом температури і в силу молекулярної взаємодії парів води з грантовими частинками.

Вода в ґрунтах			
Пароподібна (вода у формі пари)		Рідка	Тверда (вода в твердому стані)
	Зв'язана	Вільна	
Міцно зв'язана	Рихло-зв'язана	Капілярна	Гравітаційна

Зв'язана вода – це вода адсорбована на поверхні твердих частинок. Вона утримується за рахунок фізико-хімічної взаємодії з мінеральними частинками ґрунту силами, що перевищують силу тяжіння, і за своїми властивостями відрізняється від звичайної води. Цей вид води складає більше 40% від всієї води, що міститься в глинистих ґрунтах. Її присутність в ґрунтах будь-якого складу різко змінює їх стан і властивості. Зв'язана вода переміщується в ґрунтах в сторону падіння електричного потенціалу, збільшення дисперсності ґрунту, більшого змісту глинистих мінералів, а також в сторону падіння температур ґрунту. Таку воду поділяють на хімічно та фізично зв'язану воду.

Хімічно зв'язана вода часто називається конституційною, бере участь у формуванні кристалічних решіток різних мінералів.

Вода входить до складу таких мінералів, як гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), карналіт ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) і багатьох інших. Ця вода, як правило, видаляється при температурі 200...600°C, що може привести до розпаду (руйнування) мінералу.

У свою чергу фізично зв'язана вода ділитися на міцно-зв'язану і рихло-зв'язану.

Міцно-зв'язана вода являє собою плівку навколо частинок ґрунту, яка складається з одного або декількох шарів молекул води. За своїми властивостями вона наближається до твердого тіла і володіє значною в'язкістю, пружністю і міцністю на зсув. Таку воду можна відокремлювати від твердих частинок лише виправними при температурі перевищує 100°C.

Рихло-зв'язана вода являє собою дифузний перехідний шар від міцно-зв'язаної води до вільної. Вона має властивості міцно-зв'язаної води, однак вони виражені слабше. Рихло-зв'язану воду можна відокремити за допомогою видавлювання, створюючи тиск до кількох МПа, або за допомогою центрифуги. Максимальний вміст зв'язаної води має місце в глинах і суглинках.

Властивості пилувато-глинистих ґрунтів в значній мірі залежать від товщини плівок рихло-зв'язаної води. Так Б.І. Далматов зазначає, що чим

товщі плівки води, тим менше міцність ґрунту і навпаки. Зміна товщини плівок води, що оточують частинки пилювато-глинистого ґрунту, призводить до зміни його стану від майже рідкого до твердого.

Зв'язаність ґрунту, що залежить від товщини шару рихло-зв'язаної води, може різко знижуватися при порушенні певного розташування молекул води і частинок. Згодом можливе відновлення міцності.

З віддаленням від поверхні частинок сили тяжіння слабшають. Там, де сили тяжіння частинки перестають діяти, вода знаходиться у вільному стані (рис. 2.2).

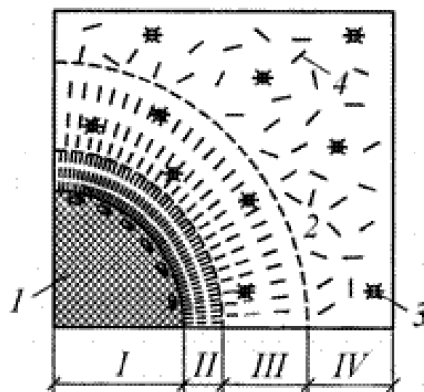


Рис. 2.2. Схема взаємодії частинок з водою: 1 – частинка; 2 – катіон; 3 – аніон; 4 – молекула води; I – тверда частинка; II – міцно-зв'язана вода; III – рихло-зв'язана вода; IV – вільна вода

Вільна вода поводить себе як звичайна рідина, тобто легко переміщується по порах і тріщинах в ґрунті під дією різниці напорів, утворюючи при цьому фільтраційні потоки. Вільна вода поділяється на капілярну і гравітаційну. Практично вся вода, що міститься в тріщинуватих скельних породах, великоуламкових, гравелистих і крупних пісках, відноситься до гравітаційної. Капілярна вода може міститися в пісках середньої крупності, дрібних і особливо в пилюватих пісках і глинистих ґрунтах.

Капілярна вода знаходиться вище рівня ґрунтових вод. Висота стовпа капілярної води залежить від гранулометричного складу ґрунту, розмірів пор і властивостей води (її температури, ступеня мінералізації). Цей вид води в ґрунті може знаходитися в кутах пор у підвішеному стані (не пов'язаному з

рівнем ґрунтових вод, що утримується натягом менісків) і в підпертому стані (безпосередньо над рівнем ґрунтових вод). Так, наприклад, висота капілярного підняття в суглинних ґрунтах досягає 400 см, а в глинистих може доходити до 600...1200 см.

Гравітаційна вода вільно рухається в ґрунті від більшого напору до меншого і поповнює ґрунтові води.

Вода в твердому стані. При температурі нижче нуля гравітаційна вода замерзає і міститься в ґрунті у вигляді льоду. Лід може формуватися в ґрунті як в вигляді прошарку різної потужності, так і у вигляді окремих кристалів, розсіяних в його товщі. Кристалічний лід в більшості випадків грає роль природного цементу, що скріплює мінерали один з одним. Присутність льоду різко змінює властивості ґрунту.

Е.М. Сергєєв зазначає, що вологі піщані ґрунти при промерзанні різко змінюють свої властивості вже при близьких до нуля і негативних температурах; глинисті ж ґрунти при замерзанні змінюють свої властивості більш плавно, монотонно і в більш значному діапазоні негативних температур.

2.4. Газоподібна складова ґрунту

Газоподібні включення в ґрунті можуть знаходитися в замкнутому (защемленому, розташованому в порах ґрунту), вільному (з'єднуються з атмосферою) і розчиненому (в поровій воді) стані.

Зміст в ґрунті защемленого і розчиненого у воді газу істотно позначається на властивостях ґрунту і процесах, що в них протікають. Зменшення тиску внаслідок розробки котловану або виймання зразка ґрунту на поверхню може призвести до виділення бульбашок газу і руйнування природної структури ґрунту. Навпаки, збільшення тиску при передачі навантаження від споруди може супроводжуватися підвищенням вмісту розчиненого у воді газу. У той же час збільшення вмісту у воді бульбашок повітря може збільшити

стисливість води в сотні разів і зробити її сумірною зі стисканністю скелета ґрунту.

Підсумки: ґрунт складається з твердої, рідкої і газоподібної компонент. У кожній з трьох компонент містяться мікроорганізми. Найбільш стабільною складовою ґрунту є тверда компонента. Рідка складова при певних температурних режимах може переходити як в твердий стан (лід), так і в газоподібний (при цьому випаровуватися).

Газова складова при певних умовах розчиняється, витісняється рідиною або іншим газом. Отже, властивості ґрунту залежать від складу, стану і взаємодії компонентів, що складають його.

2.5. Будова ґрунтів

Під будовою ґрунтів розуміють сукупність їх структурно-текстурних особливостей, тобто структуру і текстуру. Структура ґрунту визначається розміром, формою, характером поверхні, кількісним співвідношенням елементів, що складають ґрунт (мінералів, уламків мінералів і гірських порід, агрегатів, цементу) і характером взаємозв'язку їх один з одним. Текстура ж характеризує просторове розташування елементів, що складають ґрунт.

Всі структурні елементи пов'язані між собою структурними зв'язками, які за своєю природою і міцності дуже різні.

Утворення структурних зв'язків – тривалий процес, що розвивається на протязі всієї історії формування ґрунту і його подальшому житті. Формування цих зв'язків відбувається в результаті складних фізико-хімічних процесів: кристалізації, конденсації сполук, що містяться в ґрунті, а також адсорбції, міграції та багатьох інших. Сформовані в природі структурні зв'язки можуть руйнуватися або переходити в нові. У той же час методи технічної меліорації ґрунтів дозволяють людині створювати ґрунти із заданими властивостями, а також змінювати їх в потрібному напрямку. Наприклад, в тріщинуватих скельних ґрунтах шляхом заповнення тріщини цементуючою речовиною створюються нові структурні зв'язки.

Для різних генетичних типів гірських порід характерні різні структурні зв'язки. Так в магматичних, метаморфічних і деяких осадових зцементованих породах розвинені зв'язки хімічної природи, а в тонкодисперсних незцементованих породах – молекулярні та іонно-електростатичні зв'язки (водно-колоїдні зв'язки). В даний час встановлено, що дисперсні незцементовані частки породи можуть мати зв'язками магнітного характеру, а також зв'язками за рахунок поверхневих електричних зарядів.

Структурні зв'язки хімічної природи отримали назву «кристалізаційні зв'язки», які при руйнуванні не відновлюються. Цей вид зв'язку має досить високу міцність, що залежить від складу цементуючого речовини.

Водно-колоїдні зв'язки обумовлюються електромолекулярними силами взаємодії між плівковою водою і твердими частинками, включаючи колоїдні частинки. Інтенсивність цих зв'язків залежить від відстані між частинками, зарядів на їх поверхні, складу і вмісту іонів в поровій воді. Чим тонше плівка води, тим ці сили більше. При зволоженні такі зв'язки слабшають, а при висушуванні вони знову зростають.

Якщо в ґрунтах присутні природні феромагнетики (мінерали, що володіють магнітними властивостями: гематит, гетит, гідрогематит), то вони сприяють формуванню зв'язку магнітного характеру. Ступінь впливу такого типу зв'язку на формування структури природно невелика, але вона накладає свій специфічний відбиток на загальні структурні особливості ґрунтів.

У ґрунтах може утворитися зв'язок за рахунок взаємодії електричних зарядів, які виникають на контактах мінеральних часток.

Для оцінки будівельних властивостей ґрунтів дуже важливим є визначення текстури. Текстурою ґрунтів називається їх складання, тобто просторове розміщення і взаємне розташування частинок ґрунту.

ВИДИ ТЕКСТУРИ ҐРУНТІВ

Шарувата

Злита

Складна

Шарувата текстура (тонкошарувата, стрічкова, косошарувата та ін.) – найбільш поширений вид складання ґрунтів, характерний для морських, озерних та інших відкладень. Злита текстура (масивна і приховано-шарувата) характерна морським відкладенням, що мають однорідне складання в різних точках масиву. До складних текстур відносяться порфірові, ніздрюваті, макропористі та ін.

Питання до самоперевірки:

1. Визначення – ґрунт згідно ДСТУ, та в інженерній геології.
2. Які науки вивчають ґрунти?
3. Розподіл ґрунтів за генезисом.
4. Утворення магматичних, осадових та метаморфічних гірських порід.
5. Техногенні ґрунти.
6. Термодинамічна модель ґрунту.
7. Будова ґрунтів, складові.
8. Текстура ґрунтів.

ТЕМА 3

КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА

План:

- 3.1. Класифікація ґрунтів.
- 3.2. Природні скельні ґрунти.
- 3.3. Природні дисперсні ґрунти.
- 3.4. Техногенні ґрунти.

3.1. Класифікація ґрунтів

Питаннями класифікації ґрунтів займалися такі видатні спеціалісти, як І.В. Попов, В.А. Приклонский, П.Н. Панюта, Е.М. Сергеев, Л.Д. Білий. Класифікації ґрунтів можна розділити на загальні, приватні, регіональні і галузеві.

При вирішенні практичних завдань будівництва важливо використовувати точні класифікаційні найменування ґрунтів, засновані на обліку характеристик складу і будови. Прийнято наступне супідрядність класифікаційних найменувань (таксонометричні одиниці): клас – група – підгрупа – тип – вид – різновид. Ці таксонометричні одиниці, виділяються за групами ознак:

- клас – по загальному характеру структурних зв'язків;
- група – за характером структурних зв'язків (з урахуванням їх міцності);
- підгрупа – за походженням і умовами утворення;
- тип – по речовому складу;
- вид – по найменуванню ґрунтів (з урахуванням розмірів частинок і показників властивостей);
- різновиди – за кількісними показниками речового складу, властивостей і структури ґрунтів.

Сучасні стандарти вимагають супроводжувати найменування ґрунтів відомостями про їх геологічний вік, відповідно до місцевих стратиграфічних схем, прийнятих в установленому порядку.

В даний час ґрунти згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 поділяються на такі класи – природні: скельні, дисперсні, мерзлі і техногенні утворення. Кожен клас має свої підрозділи. Так, ґрунти скельних, дисперсних і мерзлих класів об'єднуються в групи, підгрупи, типи, види і різновиди, а техногенні ґрунти спочатку поділяються на два підкласи, а далі також на групи, підгрупи, типи, види і різновиди. Класифікація ґрунтів згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 в скороченому вигляді показана в табл. 3.1.

До класу природних скельних ґрунтів з жорсткими структурними (кристалізаційними і цементаційними) зв'язками входять групи скельних і напівскельних ґрунтів.

Група скельних ґрунтів включає три підгрупи порід: магматичні (інтрузивні і ефузивні), метаморфічні і осадові.

Група напівскельних ґрунтів включає дві підгрупи – магматичні ефузивні породи і осадові породи.

Розподіл ґрунтів цього класу на типи заснована на особливостях мінералогічного складу, а розподіл ґрунтів на різновиди проводиться за властивостями (по міцності, по щільності, водорозчинності в воді та ін.).

Клас природних дисперсних ґрунтів (з механічними і водно-колоїдними структурними зв'язками) представлений групою зв'язаних і групою незв'язних ґрунтів. Обидві групи представлені осадовими гірськими породами. В основу різновидів ґрунтів покладені щільність, засоленість, гранулометричний склад і інші показники.

До класу природних мерзлих ґрунтів (з кріогенними структурними зв'язками, тобто цементом ґрунтів є лід) належать групи скельних, напівскельних, зв'язаних ґрунтів, що знаходяться в умовах негативних температур. До цих трьох груп додається група крижаних ґрунтів у вигляді наземних і підземних льодів. Різновиди мерзлих ґрунтів ґрунтуються по льодистим структурам, засоленості, температурно-міцністними властивостями та ін.

Таблиця 3.1

Класифікація ґрунтів (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009)

Клас	Групи	Підгрупи	Типи	Види	Різновиди
1	2	3	4	5	6
Скельні ґрунти (з жорсткими структурними зв'язками)	Скельні ґрунти	Магматичні породи	Силікатні	Граніти, базальти, габро та ін.	Виділяються по: міцності, щільності, вивітрюваності, водорозчинності, розм'якшенню у воді, водопроникності, засоленості, структурам текстурам та ін.
		Метаморфічні породи	Силікатні	Гнейси, сланці, кварцити	
			Карбонатні	Мармур та ін.	
			Залізисті	Залізисті руди	
		Осадові породи	Силікатні	Пісковики, конгломерати та ін.	
			Карбонатні	Вапняки, доломіт	
	Напівсальні ґрунти	Магматичні ефузивні породи	Силікатні	Вулканічні туфи	
		Осадові породи	Силікатні	Аргіліти, алевроліти та ін.	
			Крем'яністі	Опоки, трепели, діатоміти	
			Карбонатні	Крейда, мергель	
			Сульфатні	Гіпси, ангідрити	
			Галоїдні	Галіти та ін.	

Продовження табл. 3.1

1	2	3		4	5	6
Дисперсні ґрунти (з механічними і водно-колоїдними зв'язками)	Зв'язні ґрунти	Осадові породи		Мінеральні	Глинисті ґрунти	Виділяють по: гранулометричному і мінералогічного складу; числу пластичності; набухання; просідання; водонасиченню; щільності; вмісту органічної речовини, засоленості; пученню та ін.
				Органо-мінеральні	Мули, сапропелі, заторфовані землі	
	Незв'язні ґрунти	Осадові породи		Органічні	Торф	
Техногенні ґрунти (з різними структурними зв'язками)	Скельні і напівскельні ґрунти	Природні утворення, змінені в умовах природного залягання	Змінені фізичним та фізико- хімічним впливом	Ті ж, що і для природних скельних ґрунтів	Ті ж, що і для природних скельних ґрунтів	Виділяються як відповідні різновиди класів природних ґрунтів з урахуванням специфічних особливостей і властивостей техногенних ґрунтів
	зв'язні ґрунти	Природні переміщені утворення	Насипні і намивні	Ті ж, що і для природних і скельних ґрунтів (роздроблених)	Ті ж, що і для природних і скельних ґрунтів (роздроблених)	
	незв'язні ґрунти	антропогенні утворення	Насипні і намивні	Відходи виробництва та господарської діяльності	Побутові відходи. Промислові відходи: будівельні відходи, шлаки, шлами, золи та ін.	

До класу техногенних ґрунтів відносяться ґрунти перших трьох класів природних утворень, змінені в умовах природного залягання фізичним або фізико-хімічним впливом, а також природні переміщені і антропогенні утворення (насипні і намівні ґрунти). Різновиди техногенних ґрунтів виділяються на основі специфічних особливостей і властивостей.

3.2. Природні скельні ґрунти

Згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 скельний ґрунт – це ґрунт, що складається з кристалів одного або декількох мінералів, що мають жорсткі структурні зв'язки кристалізаційного типу. Ці ґрунти характеризуються значною міцністю і твердістю. До них відносяться виверження вулканів (магматичні), метаморфічні і деякі осадові гірські породи.

Скельні ґрунти відрізняються водостійкими жорсткими зв'язками між зернами. За своїми властивостями вони близькі до таких твердих і пружних матеріалів як метали і бетон. Однак скельні ґрунти не ізотропні, так як складені різними мінералами, частина їх характеризується шаруватістю, сланцюватістю, тріщинуватістю, здатністю до вивітрювання і іноді (вапняки, доломіт) помітною розчинністю.

Ці ґрунти поділяються на спаяні і зцементовані. У спаяних ґрунтах зерна знаходяться в безпосередньому контакті і зростаються один з одним. До них відносяться виверження вулканів і метаморфічні гірські породи, а також хомогенні вапняки і доломіт. У зцементованих ґрунтах зв'язок між зернами здійснюється за допомогою цементу, що заповнює пори. До них належать пісковики, конгломерати і брекчії, вапняки, черепашники та ін.

Міцність зцементованих ґрунтів залежить від складу зерен і цементу, а також від характеру заповнення пор цементом. Найбільш міцний і стійкий до процесів вивітрювання кремнеземний цемент (кварц, халцедон, опал). Йому помітно поступаються вапняний і гіпсовий цемент.

Найменш міцними є ґрунти, зцементовані глинистою речовиною.

Скельні ґрунти малопористі (зазвичай до 1%), практично нестисливі, нерозчинні у воді, невологоємкі, водопроникність тільки по тріщинах. Показники механічних властивостей їх досить високі.

Однак верхня частина масивів скельних порід зазвичай порушена процесами вивітрювання і тріщинуватості. Крім тріщин, вивітрювання відзначаються тектонічні тріщини. Тріщинуватість є важливою особливістю скельних ґрунтів, завдяки якій їх водопроникність може сильно підвищуватися. Поряд з тектонічними і екзогенними тріщинами при інженерно-геологічних дослідженнях виділяються так звані тріщини розвантаження. Утворення цих тріщин пов'язано з тим, що гравітаційні і тектонічні напруження віджимають ґрунти в сторону вільного простору. Так гірські породи в масивах знаходяться в напруженому стані, а при розтині котлованів, проходці гірських виробок, а також при розмиванні долин ріками поблизу бортів виникають нові тріщини, а вже наявні розширюються.

В інженерній практиці часто використовують узагальнені характеристики тріщинуватості скельних ґрунтів: коефіцієнт тріщинної пустотності (КТП) і модуль тріщинуватості (МТР). Коефіцієнтом тріщинної пустотності називають відношення об'єму тріщин до об'єму скельних блоків. Формально ця характеристика аналогічна пористості нескельних ґрунтів. Модуль тріщинуватості – це кількість тріщин на 1м довжини оголення скельного ґрунту. Максимальні значення цього показника наближаються до 100 км, а мінімальні становлять частки одиниці. З використанням цих показників розроблені різні способи класифікації тріщинуватих скельних порід.

Крім тріщинуватості, на міцність і стійкість ґрунтів великий вплив чинить стійкість окремих мінералів до вивітрювання. Серед породоутворюючих мінералів найбільш стійкий кварц, польові шпати мають різну стійкість, а найменш стійкими є лужні польові шпати.

В якості основної характеристики скельних ґрунтів приймається межа міцності на одновісний стиск в водонасиченому стані (R_c) (див. табл. 3.2).

Скельні ґрунти при $R_c < 5$ МПа зазвичай називаються напівскельними.

Важливою характеристикою скельних ґрунтів є їх ставлення до води – коефіцієнт розм'якшення у воді (K_{sof}), а також ступінь вивітрюваності (K_{wt}), яка визначається зіставленням щільності вивітрюваності скельного ґрунту з «материнською» (невивітреною) частиною скельного масиву (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Властивості скельних ґрунтів

Характеристика властивостей	Стан ґрунтів	Показники характеристик
Межа міцності на одновісний в водонасиченому стані R_c , МПа	Дуже міцні	$R_c > 120$
	Міцні	$120 - 50$
	Середньої міцності	$50 - 15$
	Маломіцні	$15 - 5$
	Зниженої міцності	$5 - 3$
	Низької міцності	$3 - 1$
	Дуже низької міцності	$R_c < 1$
Коефіцієнт розм'якшення в воді, K_{sof}	Не розм'якшуванні	$K_{\text{sof}} \geq 0,75$
	Розм'якшуванні	$K_{\text{sof}} < 0,75$
Ступінь вивітрювання, K_{wt}	Не вивітрюванні (монолітні)	Ґрунти залягають у вигляді суцільного масиву, $K_{\text{wt}} = 1$
	Слабковивітрюванні (тріщинуваті)	Ґрунти залягають у вигляді брил, $1 \geq K_{\text{wt}} \geq 0,9$
	Вивітрені	Ґрунти залягають у вигляді кусків з переходом в тріщинувату скалу, $0,9 \geq K_{\text{wt}} \geq 0,8$
	Сильно тріщинуваті	Ґрунти в усьому масиві залягають у вигляді кусків, $K_{\text{wt}} < 0,8$

3.3. Природні дисперсні ґрунти

Ґрунти цього класу мають найширше розповсюдження на земній поверхні. У цей клас входять дві групи:

- незв'язні ґрунти (з механічними зв'язками), представлені уламковими осадовими породами у вигляді великоуламкових утворень і пісків;
- зв'язні ґрунти (з водноколоїдними зв'язками), представлені осадовими породами у вигляді мінеральних (глинистих), органо-мінеральних і органічних утворень.

Незв'язні ґрунти. Крупноуламкові ґрунти складаються в основному з нескладних або обкатаних уламків гірських порід розміром більше 2 мм, що мають переважно полімінеральний склад. Вони можуть бути поділені по крупності і формі уламків на валунні і брилеві, галькові і щебневі, гравійні і дресвяні (див. табл. 3.3).

Різновиди великоуламкових ґрунтів з обкатаних уламків
(згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009)

Різновид пісків	Розмір зерен, частинок d, мм	Вміст зерен, частинок, % за масою
Валунний (при переважанні необкатаних уламків – глибовий)	> 200	> 50
Галечникові (при переважанні необкатаних уламків – щебенистий)	> 10	> 50
Гравійний (при переважанні необкатаних уламків – дресвяний)	> 2	> 50

Пори в крупноуламкових ґрунтах можуть бути вільними або заповненими піщаним, пилюватим або глинистим матеріалом. При цьому пористість ґрунту знижується до 25...30%. Якщо такого заповнювача більше 30% (по масі повітряно-сухого ґрунту), то до назви ґрунту додається назва заповнювач, наприклад, глинистий гравій.

При відсутності дрібнозернистого матеріалу крупноуламкові ґрунти мають високу водопроникність ($K_f > 100 \text{ м/діб}$).

Форма уламків крупноуламкових ґрунтів, їх розмір і характер заповнювач визначаються генезисом породи. Відповідно до цього виділяються різні генетичні типи великоуламкових ґрунтів (елювіальний, алювіальні, морські та ін.), Які мають різні інженерно-геологічні особливості.

Таким чином, крупноуламкові ґрунти є хорошою основою для будівель і споруд, при щільному складанні під навантаженням не ущільнюються, але при великому вмісті глинистого матеріалу з'являється тенденція до стисливості. При сильних землетрусах водонасичені великоуламкові ґрунти можуть розріджуватися і втрачати стійкість, що впливає на стійкість об'єктів.

Піщані ґрунти (піски) складені кутастими і обкатаними уламками мінералів, розмір яких складає 2...0,05 мм. Згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 **пісок** – це незв'язний мінеральний ґрунт, в якому маса частинок розміром менше 2 мм складає 50 %.

Піски представляють масу частинок з механічними зв'язками. За крупності частинок піски поділяються на гравелісті, крупно-, середньо-, дрібнозернисті і пилюваті (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Класифікація пісків по крупності зерен (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009)

Різновид пісків	Розмір зерен, часток d, мм	Вміст зерен, часток, % за масою
Гравелисті	> 2	> 25
Крупнозернисті	> 0,50	> 50
Середньозернисті	> 0,25	> 50
Дрібнозернисті	> 0,10	≥ 75
Пилуваті	> 0,10	< 75

Щільність пісків оцінюється за значенням коефіцієнта пористості (e) (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Класифікація пісків за коефіцієнтом пористості (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009)

Різновид пісків	Коефіцієнти пористості (e)		
	Піски гравелисті, середньої крупності	Піски дрібні	Піски
Щільний	< 0,55	< 0,60	< 0,60
Середньої щільності	0,55...0,70	0,60...0,75	0,60...0,80
Рихлий	> 0,70	> 0,75	> 0,80

Рихле складення пісків легко переходить в щільне при водонасиченні, вібрації і динамічних впливах.

За рахунок відкритої пористості піски завжди водопроникні. У пилуватих пісках K_f не перевищує 1 м/доб, в крупнозернистих – 40...50 м/доб, а в гравелистих – 80...100 м/доб.

Піски мають надзвичайно широке поширення. Вони є надійною основою для будівель і інженерних споруд, служать сировиною для виготовлення будівельних виробів і матеріалів.

Особливості пісків багато в чому визначаються їх генезисом. Як приклад можна порівняти деякі з генетичних типів пісків.

Серед найбільш поширених алювіальних (руслових) пісків зустрічаються різні за гранулометричним складом, що відрізняються структурно-текстурними

особливостями і властивостями. Загальною характерною рисою руслових пісків є закономірна зміна їх дисперсності по повздовжньому профілю річки: вниз за течією зменшуються розміри зерен піску і одночасно підвищується його однорідність. Невисока дисперсність руслових пісків, їх досить хороша відсортованість і обкатаність, переважне середньощільне і рихле складення обумовлюють значну водопроникність, величина якої в горизонтальному напрямку зазвичай вище, ніж у вертикальному.

Заплавні і старичні піски представлені головним чином дрібними і пилюватими пісками горизонтально, косо- або лінзовидношаруватими, що містять домішки глинистого і часто органогенного матеріалу. Ці піски мають меншу величину водопроникності в порівнянні з русловими, а стисливість їх значно вище.

Флювіогляціальні піски представлені різними за дисперсності різновидами (переважають великі, середньої крупності і дрібні), що містять, як правило, ту чи іншу кількість грубоуламкового матеріалу. Серед флювіогляціальних пісків широко розвинені зандрові піски, які представлені всіма різновидами, причому серед них переважають дрібні піски і піски середньої крупності. Зандрові піски можуть створювати площі в сотні тисяч квадратних кілометрів.

Серед морських пісків переважають кварцові піски, нерідко з різними домішками. Серед останніх характерні і цікаві глауконітові піски. Порівняно легко розкладаючись, глауконіт може викликати зміну властивостей породи, зокрема цементацию пісків продуктами свого розкладу. Морські піски, за невеликим винятком, відрізняються високою однорідністю і дуже добре обкатані. Відповідно до цього їх водопроникність зазвичай досить велика (коефіцієнт фільтрації більше 1 м/доб.). Піски, що сформувалися в мілководних умовах, особливо піски зони прибою, мають, як правило, щільне складання. Глибинні піски часто характеризуються пухким складанням і схильністю давати швидку осадку при динамічних навантаженнях.

Еолові піски мають широке поширення в напівпустельних і пустельних областях. В умовах природного залягання вони знаходяться в пухкому складі і відповідно до цього легко і значно ущільнюються під дією динамічних

навантажень. Висота капілярного підняття не перевищує 60 см. Гарна відсортованість, однорідне і досить пухке складення еолових пісків обумовлює їх велику водопроникність: зазвичай коефіцієнт фільтрації становить 10...11 м / доб, в окремих випадках збільшується до 15 м / доб.

Піски різних генетичних типів під впливом гідродинамічного тиску можуть переходити в пливунний стан. **Пливуни** різноманітні по мінеральному і гранулометричному складу, для них характерно вміст органічної речовини. Таким чином, пливун – це насичений водою ґрунт, здатний розтікатися і обпливати.

Кут природного укосу α пливунів залежить від вологості (W). У дослідженнях ряду авторів отримані наступні дані, наведені в таблиці 3.6.

Збільшення вологості пливуну всього на 0,05 %. призводить до зміни кута природного укосу від 37° до 0°. Несуча спроможність пливунів, визначена в польових умовах, що виключають рух і випинання, досягає 0,8 МПа.

Таблиця 3.6

Кут природного укосу пливунів в залежності від вологості

Вологість W, %.	Кут природного укосу α , град
0,125	19...37
0,135...0,150	4...5
0,175	0

Велика водоутримуюча здатність і мала водопроникність пливунів унеможливлюють осушення їх звичайним способом водозниження.

Пливуни володіють найбільшою величиною деформації в порівнянні з іншими породами. Особливо небезпечні ці ґрунти при значній природної вологості.

Зв'язні ґрунти. Група зв'язаних ґрунтів об'єднує мінеральні глинисті ґрунти, органо-мінеральні – мули, сапропелі, заторфовані ґрунти, органічні ґрунти – торф та ін. Для них характерна залежність міцності та інших властивостей від вологості. Виходячи з величини вологості, в цих ґрунтах переважають структурні зв'язки різного характеру: іонно-електростатичні, капілярні і молекулярні.

Глинисті ґрунти є одним з найбільш широко поширених видів ґрунтів. Глинисті ґрунти представлені трьома літологічними різновидами: супіски, суглинки і глини. Глини складені глинистими мінералами (до 95%), серед яких переважають гідролути, а в якості домішок присутні каолінит, монтморилоніт та ін. В суглинках, крім глинистих мінералів, присутні (до 30...50%) кварц, польові шпати та інші кластогенні мінерали, що мають розмір пилюватих частинок. У складі супісків основне місце займають кластогенні мінерали (кварц, польові шпати та ін.), А глинисті мінерали знаходяться в підлеглому положенні (до 10...20%). Ці ґрунти характеризуються великою групою фізичних властивостей: пористістю, вологістю, поглинальною здатністю, корозійними властивостями, пластичністю, консистенцією, липкістю, набуханням, усадкою та ін.

Склад і властивості глинистих ґрунтів визначаються їх походженням (генезисом). Нижче наведені характеристики властивостей деяких генетичних різновидів глинистих ґрунтів.

Елювіальні глинисті ґрунти – це продукти вивітрювання осадових зцементованих скельних ґрунтів і представлені в основному суглинками і глинами, в яких рослинні залишки і органічна речовина практично не зустрічаються. Глини цього генетичного типу часто є мономінеральними. Ці ґрунти характеризуються різними інженерно-геологічними властивостями. Великою різноманітністю відрізняються такі петрографічні різниці елювіальних глинистих відкладень, як суглинки і супіски в силу надзвичайної мінливості, а також кількості та видів глинистих мінералів в їх складі. Особливо яскраво це проявляється в такій їх властивості як пластичність. Найбільш пластичні їх різновиди формуються при вивітрюванні основних вивержених і ефузивних порід. При вивітрюванні кислих порід зазвичай утворюються слабкопластичні глини, головним чином каолінітової складу.

До **делювіальних глинистих ґрунтів** відносять різноманітні по петрографічному складу основи, що покривають потужними покривами схили. Досить часто ці утворення містять щебінь і більші уламки порід, а також рослинні

залишки. Оцінюючи делювіальні глинисті ґрунти, слід мати на увазі їх загальну схильність до руху по схилах. Штучне підрізування делювіальної товщі (спорудження котловану під будівлю, дорожньої виїмки тощо), особливо в нижній частині схилу, нерідко викликає зрушення зсувного характеру.

Пролювіальні глинисті утворення найчастіше представлені пилюватими суглинками з характерним поганим сортуванням матеріалу і наявністю включень уламків порід різної величини. Глинистий пролювій сильно неоднорідний по всій товщі, з точки зору деформаційних, міцнісних і водно-фільтраційних характеристик.

Алювіальні глинисті утворення розвинені дуже широко в долинах рівнинних річок. Вони відрізняються великою різноманітністю за складом і властивостями. Така різноманітність визначається різними умовами формування тих чи інших глинистих алювіальних товщ.

Озерні глинисті відкладення мають порівняно нешироке поширення. Вони характеризуються високою пористістю, значним вмістом органічних частинок і високою природною вологістю, що обумовлює їх велику стисливість і низькі показники опору зсуву.

Морські глинисті відкладення утворюються практично у всіх областях моря, в межах яких відсутнє принесення крупного матеріалу і існують сприятливі гідрохімічні і гідродинамічні умови. Найбільшого поширення вони мають серед глибоководних відкладень морів і океанів. За своїм складом ці ґрунти найчастіше однорідні. Для них характерна наявність водорозчинних солей. При висиханні ці солі кристалізуються і створюють жорсткі зв'язки між частинками породи, збільшуючи її міцність. Наявність вільного кремнезему та оксидів заліза в морських глинах ще більше збільшує їх зв'язність, міцність і водостійкість. Протилежну роль відіграють сульфіді заліза і органічні речовини, які при розкладанні викликають зміну стану і погіршення властивостей глинистих ґрунтів.

Особливу увагу приділимо розгляду такого різновиду глинистих ґрунтів як лесові ґрунти. Вони лежать суцільним покривом на більшій частині України (до 80%).

Лес – це однорідний, тонкозернистий, зазвичай нешаруватий, пухкий ґрунт. За літологічним складом лесові відкладення представлені в основному суглинками, рідше – супісками, глинами. Так само лесові ґрунти містять різні за ступенем розчинності солі.

Для лесової товщі характерна наявність різноманітних прошарків і включень. Серед них найбільш поширені так звані поховані ґрунти, під якими розуміються як власне ґрунти, так і перевідкладені ґрунти і гумусові прошарки, що утворилися в результаті акумуляції органічної речовини. Також в лесових товщах відзначаються прошарки піску, гравію та гальки, потужність яких коливається від кількох сантиметрів до кількох метрів.

Проблема генезису лесу існує понад 150 років і до сих пір остаточно не вирішена. Більш ніж за вікову історію вивчення лесів було запропоновано не менше двадцяти різних гіпотез їх походження.

Лесові ґрунти за складом, структурно-текстурованими ознаками, а отже, і механічними властивостями істотно відрізняються від всіх інших ґрунтів. Тверді частинки лесових ґрунтів на 80...90% складаються з кварцу, польового шпату і розчинних мінералів. За крупності до 60%, а іноді і до 90% твердих частинок відноситься до пилюватих, решта – до глинистих і лише мала частина – до піщаних фракцій.

Лесові ґрунти зазвичай підрозділяються на леси і лесовидні ґрунти. Леси є ґрунтами, найбільш однорідними за гранулометричним складом. Лесові ґрунти характеризуються різноманітним гранулометричним складом. Серед них виділяються лесовидні піски, лесовидні супіски, лесовидні суглинки і лесовидні глини.

Лесові ґрунти відносяться до категорії макропористих ґрунтів, тобто до ґрунтів, у яких пори видно неозброєним оком. Сумарна пористість лесових порід

коливається від 30 до 64%. Найбільш часто зустрічається значення пористості – 44...50%.

Леси і лесовидні ґрунти, що мають невелику природну вологість, володіють незначним стисканням: осадка їх під навантаженням дуже невелика. Збільшення вологості, а тим більше насичення порід водою різко знижує їх опір стисненню. Поміщений в воду лесовий ґрунт швидко зволожується і розмокає, розпадається на дрібні агрегати і пилюваті частинки.

При природній вологості лесові ґрунти за рахунок цементаційних зв'язків володіють помітною міцністю і здатні тримати вертикальні укоси висотою до 10 м і більше. Зволоження лесів призводить до розчинення цементаційних зв'язків і руйнуванню його макропористої структури. Це супроводжується різкою втратою міцності ґрунту, значними і швидко діючими деформаціями ущільнення – просадками. Тому лесові ґрунти називають просадними.

Внаслідок просідання і легкого розмивання лесів будівництво на них і освоєння їх в інженерно-геологічних цілях більш складне, ніж на інших глинистих ґрунтах.

До *орґано-мінеральних ґрунтів* відносяться мули, сапропелі та заторфовані ґрунти. Всі орґано-мінеральні ґрунти високопористі і водонасичені. До їх складу входять піщано-пилювато-глинисті частинки, орґанічний мінерал і вода, якої в ґрунті буває більше, ніж мінеральної та орґанічної частин.

Мул – це водонасичений сучасний осад на дні водойми у вигляді піщано-пилювато-глинистих мас з гумусом (не менше 10%). Мули є початковою стадією формування глинистої породи. Вони практично не тримають навантаження, а при динамічному впливі переходять в розріджений стан.

Сапропелі – це крихкі водонасичені піщано-пилювато-глинисті відкладення, що містять до 30% орґанічного матеріалу.

Заторфовані ґрунти – це водонасичені піщано-пилювато-глинисті відкладення, але з великим вмістом (до 50%) орґанічної речовини у вигляді залишків коренів рослин з домішкою гумусу.

До *органічних ґрунтів* можна віднести торф. **Торф** – це відкладення, не менше ніж на 50% складаються з залишків болотної рослинності, що утворюються в умовах надмірного зволоження і недостатнього доступу кисню.

Відмінною рисою торфів є їх висока вологість в природному заляганні. У природних умовах торф має низьку здатність до набухання, а при висиханні спостерігається значна усадка. Цей ґрунт має високу стискальність під навантаженням, величина якої в десятки і сотні разів вище, ніж у мінеральних ґрунтів.

Неоднорідність будови і складу торф'яних відкладень і сильна стисливість торфу можуть привести до значних нерівномірних осідань споруд, що зводяться. Ці осідання зазвичай відбуваються протягом тривалого періоду часу.

Підсумки: будівництво будівель та інженерних споруд на органічних ґрунтах являє собою складну задачу, тому здійснюється за спеціальними нормативами.

3.4. Техногенні ґрунти

При будівництві і видобутку корисних копалин на поверхню виймають сотні мільйонів кубічних метрів різноманітних ґрунтів.

Разом з тим, людство у великій кількості створює нові «ґрунти» – продукти промислових і побутових відходів, що накопичуються в результаті життєдіяльності людини – ці ґрунти називаються техногенними. Ці ґрунти вивчені слабо. Потужність їх коливається від 1 до 10 м (на невеликих ділянках до 20 м), а в місцях засипання колодязів і шахт – до 100 м і більше. Мінімальні потужності їх приурочені до місць нової забудови.

Техногенні ґрунти використовуються в якості основ будинків і споруд, а також матеріалу для будівництва різних інженерних споруд (земляних гребель, насипів автомобільних доріг та ін.).

Згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 техногенні ґрунти виділені в окремі класи (див. табл. 3.1).

За характером поширення техногенні відкладення можна розділити на чотири категорії:

- велику за площею (найчастіше намивні ґрунти);
- лінійно витягнуті (дамби, насипи доріг, засипані річки, яри і траншеї);
- місцеві осередкові (засипані кар'єри і болота, будмайданчики та ін.);
- локально-точкові (дрібні звалища, засипані колодязі та ін.).

Найбільш часто зустрічаються насипні ґрунти. Ці ґрунти ділять на будівельні та промислові. Насипні ґрунти будівельного типу – ґрунти насипів автомобільних і залізних доріг, гребель і дамб, насипи під основу будівель, споруд та ін. До промислових насипних ґрунтів відносяться вироблені породи гірничо-рудної промисловості, розкривні породи, гірничі виробки.

Випадки нерівномірних осадок і деформацій будівель і споруд, побудованих на насипних ґрунтах, показують, що основні причини деформацій наступні:

- залягання в основі будівель і споруд ґрунтів, що помітно різняться за складом і властивостями (леси і насипні ґрунти тощо.);
- нерівномірна потужність насипних ґрунтів;
- неоднорідний склад насипних ґрунтів і значний (до 60%) вміст в них органічних речовин.

Вплив фактору часу на стан ґрунтів насипу позначається в придбанні цими ґрунтами ущільнення і зчеплення зміцнення. Час, необхідний для придбання насипними ґрунтами міцності і щільності, наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Час придбання природної щільності (за даними досліджень на газогонах)

Тип ґрунту	Час ущільнення, роки
Піски середні і дрібні	2...4,5
Супіски	4...6
Суглинки і глини	8...12
Супіско-піщані ґрунти з домішкою слабкорозкладеного торфу	2...4

Намивні ґрунти створюються засобами гідромеханізації. У комплексі техногенних намивних ґрунтів слід розрізняти ґрунти будівельного і гірського типів. До будівельного типу відносяться ґрунти дамб, насипів, а також спеціально створених масивів з намивних пісків.

Ці масиви дозволяють освоювати заплави і болота для промислового і цивільного будівництва. Мінерально-гранулометричний склад намитих пісків приблизно той же, що і піщаних русл місцевих річок.

Гірський тип намивних ґрунтів утворюється при скиданні розкривних порід на родовищах корисних копалин.

Виділяється три стадії формування властивостей намивних ґрунтів: ущільнення, зміцнення і стабілізація стану намивних ґрунтів.

На властивості намивних ґрунтів впливають фізико-географічні чинники (рельєфу ложа, клімату та ін.), Інженерно-геологічні властивості основи намивної споруди (склад, стан основи), а також властивості ґрунтів, що підстилають намивні споруди.

Питання до самоперевірки:

1. Класифікація ґрунтів згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009.
2. Природні скельні ґрунти.
3. Природні дисперсні ґрунти (піщані, глинисті, леси, мули, торфи...).
4. Техногенні ґрунти.
5. Час придбання природної щільності.

ТЕМА 4

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЄКТУВАННЯ ОСНОВ ТА ФУНДАМЕНТІВ

План:

- 4.1. Загальні принципи проєктування основ і фундаментів.
- 4.2. Послідовність проєктування основ і фундаментів.
- 4.3. Розрахунок основ і фундаментів за граничними станами.
- 4.4. Загальна оцінка взаємодії споруд і основ.
- 4.5. Матеріали інженерно-геологічних вишукувань.
- 4.6. Вибір нормативних розрахункових навантажень і їх поєднань.
- 4.7. Вибір типу і конструкції фундаменту.
- 4.8. Варіантність рішень.

4.1. Загальні принципи проєктування основ і фундаментів

Основними принципами проєктування основ і фундаментів є:

1. проєктування основ і фундаментів за граничними станами;
2. облік спільної роботи системи основа – фундаменти – надземні несучі конструкції;
3. комплексний підхід до оцінки характеру роботи ґрунтів основи і вибору типу фундаментів в результаті спільного розгляду:
 - а) інженерно-геологічних і гідрогеологічних досліджень умов майданчика будівництва;
 - б) чутливості конструкцій споруд до нерівномірності осідання;
 - в) способу виконання земляних робіт та робіт з улаштування фундаментів і підземних частин споруди.

Спільні методи проєктування основ, фундаментів і наземних конструкцій практично не розроблені. Виняток становлять розрахунки конструкцій на пружній (стисливій) основі. Однак ці розрахунки трудомісткі і не дозволяють врахувати всі особливості складної конструкції. Через відсутність простих прийомів спільного проєктування систему «основа – фундамент – наземна конструкція» розглядають як

ту, що складається з двох частин: «основа – фундамент» і «фундамент – наземна конструкція».

Проектування частини «основа – фундамент» ведеться в такий спосіб. Стосовно до інженерно-геологічних, природних та інших умов будівельного майданчика і з урахуванням особливостей будівель і споруд вибирають тип і попередню конструкцію фундаменту – фундамент у відкритому котловані або глибокого закладення. Для фундаментів у відкритих котлованах вибирають тип основи (природна або штучно покращена), а для фундаментів глибокого закладення – глибину занурення. Встановлюють умови залягання ґрунтів і визначають розрахункові характеристики. Використовуючи існуючі розрахункові схеми і формули, стосовно обраним типам основ і фундаментів визначають зовнішні розміри фундаментів, глибину їх залягання, розміри і форму подошви в плані, а потім і можливі їх деформації. Значення деформацій зіставляють з гранично допустимими переміщеннями конструкцій проєктованих будівель і коригують.

При проектуванні частини «фундамент – наземна конструкція» уточнюються прийняті розміри і конструкція фундаменту. Фундамент розраховується як окремий конструктивний елемент споруди спільно з наземною конструкцією. Розрахунки ведуться з урахуванням всіх комбінацій навантаження і визначаються найбільші значення переміщень фундаменту, які зіставляються з деформаціями основи при тих же поєднаннях навантажень. В процесі проектування розміри і конструкції фундаменту і наземної частини споруд можуть бути відкоректовані.

В результаті при проектуванні послідовними розрахунками треба домогтися, щоб деформації основи і переміщення фундаменту були близькі між собою і не перевищували допустимі переміщення наземних конструкцій.

Все це свідчить про складність завдання проектування основ і фундаментів, тому рекомендується розробляти кілька варіантів фундаментів і з них вибирати найбільш раціональне рішення на основі техніко-економічного порівняння. Таке рішення зазвичай вибирають при проектуванні найбільш навантажених, типових для даного спорудження фундаментів. Потім проводять розрахунок основи для

кожного окремого фундаменту з метою визначення його оптимальних розмірів. Розрахунки повинні підтвердити, що осадки і їх нерівномірності не перевищують гранично допустимих величин для даного виду споруд, ґрунти в основі і фундамент стійкі, фундамент володіє необхідною міцністю.

Проектування основ та фундаментів промислових і цивільних споруд проводять відповідно до ДБН (Державні будівельні норми) і ДСТУ. Крім того, враховують вимоги норм, технічні вимоги та інструкції, розроблені для регіональних ґрунтових умов.

Розрахунок конструкції фундаменту виконують в залежності від застосовуваного матеріалу за першим граничним станом на міцність всіх працюючих елементів. Залізобетонні фундаменти, що піддаються впливу агресивних підземних і виробничих вод, перевіряють на тріщиностійкість.

Основна увага при проектуванні основ приділяється вибору глибини закладення і розмірів подошви фундаментів. Ці розміри фундаментів приймають, виходячи з виконання умов, згідно з якими деформації не повинні перевищувати граничних величин.

4.2. Послідовність проектування основ та фундаментів

Проектування основ і фундаментів включає ряд операцій, які зазвичай виконуються у зазначеній нижче послідовності.

1. Оцінка результатів інженерно-геологічних, інженерно-геодезичних та інженерно-гідрометеорологічних вишукувань для будівництва. Склад цих даних визначається відповідними нормами та інструкціями і розглядається в курсі інженерної геології. Від якості та повноти матеріалів вишукувань багато в чому залежать надійність і економічність прийнятих в проекті рішень основ і фундаментів.

У загальному випадку результати досліджень повинні містити відомості про місцезнаходження території будівництва, її кліматичних і сейсмічних умовах, інженерно-геологічну будову і літологічному складі товщі ґрунтів, які спостерігаються несприятливими факторами (наявність просідання ґрунтів, карсту,

зсувних процесів, гірничих виробок тощо). Особлива увага приділяється відомостям про наявність в горизонтах підземних вод, коливаннях їх рівнів, агресивності по відношенню до матеріалів фундаментів і підземних частин будівель.

Результати детальних досліджень, що проводяться на майданчику будівництва, повинні містити відомості про стратиграфічні послідовності нашарування ґрунтів, формах залягання, розмірах в плані і по глибині, походження, склад і стан всіх інженерно-геологічних елементів, про підземні води. Дані представляються у вигляді інженерно-геологічних колонок по окремим виробкам (свердловинах, шурфів та ін.) і розрізів, побудованих за цими виробками, а також відповідних текстових матеріалів і таблиць. На інженерно-геологічних документах обов'язково наводяться місця відбору проб для лабораторних визначень характеристик фізико-механічних властивостей ґрунтів, пункти проведення польових досліджень, включаючи статичне і динамічне зондування.

Кількість виробок, що призначаються для пошуків, визначається складністю інженерно-геологічних умов майданчика і чутливістю проекрованої споруди до нерівномірних осідань. Так, для інженерно-геологічних умов III категорії складності мінімальне число виробок в межах контуру споруди становить 3...5, а максимальна відстань між ними – 20...30м. Глибина виробок повинна не менше ніж на 1...2 м перевищувати нижню межу стисливої товщі основи, а в разі слабких ґрунтів повністю прорізати їх товщу.

Результати досліджень повинні містити всі необхідні дані про фізико-механічні властивості ґрунтів основи, відомості про методи їх визначення, прогноз можливих змін показників цих властивостей. В особливо складних інженерно-геологічних умовах і для споруд підвищеної відповідальності потрібно проводити дослідження ґрунтів за спеціальною програмою.

2. Аналіз проекрованої будівлі та споруди. Відповідно до завдання на проектування визначаються планові і висотні розміри споруди, встановлюються його конструктивна і розрахункова схеми, матеріали елементів конструкцій, способи передачі навантажень на основу. Виходячи з конструктивних і

експлуатаційно-технологічних вимог визначається чутливість споруди або окремих її частин до нерівномірних осідань, призначаються граничні значення деформацій основи.

Важливим етапом є визначення навантажень, що діють на споруду (вітрових, снігових, особливих та ін.), а також завантажень від несучих конструкцій споруди, перекритій, різного роду обладнання та експлуатаційних умов, що передаються на фундаменти. Рівноважні всіх навантажень в залежності від розрахункової схеми споруди прикладаються в рівні верхнього обрізу або підшви фундаменту.

Слід звертати увагу на можливий вплив технологічних процесів в проєктованих спорудах на зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів основи. Необхідно, особливо при будівництві на слабких ґрунтах, брати до уваги взаємодію проєктованої споруди з навколишнім середовищем (сусідні будівлі та споруди, установки та обладнання в споруді, що проєктують, прокладка комунікацій, збереження прилеглої території, тощо).

3. Вибір типу основи і конструкцій фундаментів. Маючи наведені вище дані, здійснюють прив'язку проєктованої споруди до будівельного майданчика, тобто суміщення осей споруди з інженерно-геологічними розрізами і вибір глибини закладення підшви фундаментів. З цього, власне, і починається проєктування основ і фундаментів.

Уже на цій стадії проєктування слід прагнути так розмістити споруду на площі забудови, щоб по можливості уникнути впливу на спорудження джерел шкідливих впливів: лінз слабких ґрунтів, карстових порожнин, старих гірничих виробок, сторонніх комунікацій тощо.

Важливо відзначити, що при всій різноманітності природно-кліматичних та інженерно-геологічних умов майданчиків будівництва на території нашої країни, різноманітні конструкції різних будівель і споруд в масовому будівництві зазвичай застосовуються **два класи фундаментів: мілкового закладення і пальові фундаменти**. Більш складні конструкції (палі-оболонки, опускні колодязі, кесони та ін.) використовуються для спеціальних споруд або в складних інженерно-геологічних умовах.

Звичайно, і в масовому будівництві в кожному конкретному випадку є велика кількість різних варіантів рішень, що дозволяють виявити мистецтво проєктувальника.

Зазвичай вже сама схема споруди (каркасна, безкаркасна, багатоповерхова, одноповерхова, наявність або відсутність підвальних приміщень та ін.), а також величина і характер навантажень, переданих на основу (моментні, безмоментні та ін.), в сукупності з даними про основу (характер залягання, несуча здатність, деформованість ґрунтів, наявність і рівень залягання підземних вод тощо) дозволяють намітити кілька варіантів конструкцій фундаментів, найбільш придатних для конкретних умов будівництва. У разі застосування фундаментів мілкового закладення іноді розглядаються альтернативні варіанти використання основи без проведення додаткових робіт з її укріплення (природну основу) або з проведенням таких робіт (штучна основа). Слід також враховувати матеріально-технічні можливості індустріальної бази району будівництва (наявність і потужності заводів залізобетонних виробів при проєктуванні збірних фундаментів і забивних паль; безперебійне постачання бетону для монолітних фундаментів; забезпеченість транспортним, пальозабивним обладнанням тощо), дальність перевезень будівельних матеріалів, а також виробничий досвід будівельної організації.

Закінчується цей етап вибором типу основи і декількох (зазвичай не менше трьох) конструктивних типів фундаментів проєктованої споруди, намічених для подальшого, більш детального аналізу. Оскільки в якості проєктного рішення буде прийнято один з цих варіантів, значення даного етапу в загальному ланцюжку проєктування дуже велике.

4. Розрахунки основ за граничними станами, техніко-економічний аналіз варіантів і прийняття остаточного рішення. Для одного або декількох перетинів споруди в залежності від його конфігурації, навантажень, складності нашарування ґрунтів проводяться розрахунки вибраних варіантів фундаментів за граничними станами. Визначаються остаточні розміри фундаментів в плані, кількість і розташування паль, проєктуються фундаменти для кожного варіанта. Оцінюються

всі види робіт зі зведення фундаментів і, якщо потрібно, по влаштуванню штучних основ і інших заходів, спрямованих на зменшення нерівномірності деформацій. Проводиться техніко-економічне порівняння розглянутих варіантів і по мінімуму приведених витрат встановлюється оптимальне проектне рішення.

В окремих випадках, при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, може бути прийнято і більш дороге рішення, якщо це забезпечує прискорення введення об'єкта в експлуатацію і отримання за рахунок цього додаткових прибутків.

4.3. Розрахунок основ і фундаментів за граничними станами

Основна вимога розрахунку основ і фундаментів за граничними станами полягає в тому, щоб зусилля і напруження, що виникають в основах і фундаментах, а також їх деформації і переміщення були близькі до встановлених граничних значень, але не перевищували їх. Це прагнення пояснюється вимогами економічності, що пред'являються до влаштування основ і фундаментів. При невиконанні цієї умови, тобто якщо напруження і деформації значно менше граничних, буде потрібно влаштування фундаментів з великими розмірами підосви, що призводить до збільшення обсягів будівельних робіт і перевитрати матеріалів, а отже, до подорожчання фундаментів. З іншого боку, якщо зусилля, напруження і деформації більші за граничні значення, то може відбутися руйнування фундаменту. При цьому, навіть при відсутності руйнування, осадка фундаменту буде настільки велика, що будівля або споруда не буде відповідати умовам нормальної експлуатації.

Крім вимог економічності, розрахунок за граничними станами забезпечує і необхідну надійність основ і фундаментів. Граничні стани підрозділяють на дві групи:

I – за втратою несучої здатності. При розрахунках по даній групі повинні бути виключені всі можливі форми руйнувань і втрати стійкості під дією силових факторів або несприятливих впливів зовнішнього середовища;

II – по непридатності до нормальної експлуатації. При розрахунках по цій групі повинні бути виключені неприпустимі деформації (осадки, прогини, вигини, крен і кути повороту) основ і фундаментів, а також надмірне розкриття тріщин в елементах конструкцій фундаментів.

Розрахунок основ ведеться, перш за все, за другою групою граничних станів, так як під дією тиску, що передається через фундамент, більшість ґрунтів зазнає значних деформації, не руйнуючись. І тільки в особливих випадках при дуже слабких ґрунтах (при недостатності їх несучої здатності) необхідно додатково розраховувати основи по першій групі граничних станів.

Розрахунок самих фундаментів ведеться перш за все за першою групою граничних станів, так як деформації залізобетонних фундаментів в момент, що безпосередньо передуює моменту втрати ними несучої здатності (руйнування), часто не перевищують гранично допустимих значень.

При розрахунку по першій групі граничних станів повинно виконуватися умова:

$$F \leq \frac{\gamma_c \cdot F_u}{\gamma_n}, \quad (4.1)$$

де F – розрахункове навантаження на основу, кН;

F_u – сила граничного опору основи, кН;

γ_c – коефіцієнт умові роботи;

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням споруди, які визначаються відповідно до вимог ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд.

Розрахунок за другою групою граничних станів в основному зводиться до обмеження граничних деформацій основ:

$$S \leq S_u, \quad (4.2)$$

де S – деформація, отримана в результаті розрахунку основ методами механіки ґрунтів за певний проміжок часу;

S_u – гранично допустима деформація, обумовлена умовами нормальної експлуатації даного будинку чи споруди, що встановлюється за таблицями додатка Д (ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд).

4.4. Загальна оцінка взаємодії споруд і основ

Оцінка споруд за жорсткістю і форми їх деформації.

Будівлі, споруди та їх окремі елементи в залежності від чутливості до деформацій основи умовно поділяють на три типи: гнучкі, абсолютно жорсткі і кінцевої жорсткості.

Гнучкі споруди, передаючи навантаження на основу, безперешкодно слідує за осадкою так, що додаткові зусилля в їх конструкціях практично не виникають. Ідеальним прикладом подібної споруди є земляний насип. Будучи зведений навіть на слабких ґрунтах, він здатний нерівномірно деформуватися разом з ними без небезпеки руйнування. Для збереження проектних відміток їй надають будівельний підйом на величину очікуваних осадок або досипають у міру деформування. До того ж типу споруд відносяться днища металевих резервуарів, естакади і галереї з розрізними пролітними будовами та ін.

Абсолютно жорсткі споруди, навпаки, при деформаціях основи не згинаються, а дають осадку як єдиний масив, причому поверхня основи в межах підосви споруди залишається плоскою. До них відносяться димарі, масивні мостові опори, доменні печі та інші подібні споруди, як правило, компактні в плані, встановлені на масивному фундаменті. При дії моментного навантаження або в разі нерівномірної деформації основи крім осадки можуть виникати крен споруди. Контактні напруження по підосві фундаменту абсолютно жорсткої споруди істотно неоднорідні. Однак для масивних фундаментів, що мають великий запас міцності на згин, вони зазвичай не є небезпечними.

Переважає більшість будівель і споруд має кінцеву жорсткість (рамні і нерозрізні залізобетонні конструкції, цегляні, блокові і панельні будинки та ін.). Тут вже нерівномірні осідання основи супроводжуються викривленням споруди, хоча жорсткість споруди до деякої міри зменшує нерівномірність осадки. В результаті в несучих конструкціях виникають додаткові зусилля, які при неправильному проектуванні можуть призвести до появи тріщин і навіть руйнування елементів конструкцій.

У деяких випадках споруди мають незначну жорсткість (невисокі одноповерхові будівлі з розрізними балками покриття та ін.), їх можна вважати практично гнучкими.

Якщо врахувати характер розвитку впливу деформацій земної поверхні, жорсткість будівель і споруд, то можна виділити наступні форми деформацій і зсувів:

1. Крен (нахил) розглядається як різниця абсолютних осадок двох точок фундаментів, віднесених до відстані між ними (рис. 4.1, д, е);

2. Перекіс будівлі або споруди (рис. 4.1, в, г) – різниця осідання двох або декількох фундаментів, розташованих на одній поперечній або поздовжній осі, віднесеної до відстані між ними;

3. Відносний прогин (рис. 4.1, а) або вигин (рис. 4.1, б) будівлі або споруди оцінюється відношенням стріли прогину (вигину) до довжини частини будівлі, що прогнулася і кривизною згинальної ділянки;

4. Кручення (рис. 4.1, ж) представляє собою неоднаковий крен споруди по її довжині, особливо при розвитку його в двох перетинах в різні боки;

5. Горизонтальні зміщення фундаментів виникають при передачі від конструкцій значних горизонтальних зусиль (розпірні конструкції).

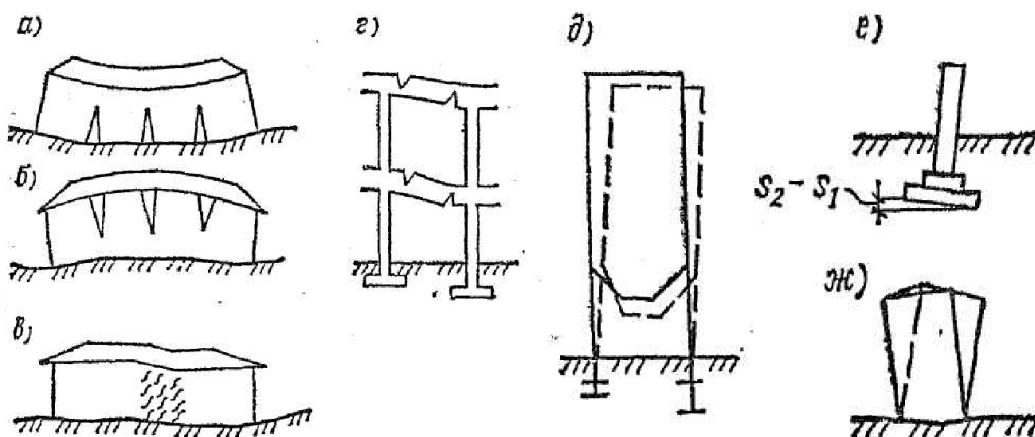


Рис. 4.1. Форми деформацій споруд
а – прогин; б – вигин; в, г – перекіс; д, е – крен; ж – кручення

4.5. Матеріали інженерно-геологічних вишукувань

До початку проєктування фундаментів необхідно:

1. ознайомитися зі звітом інженерно-геологічних вишукувань з нашаруванням ґрунтів і положенням рівня підземних вод на будівельному майданчику, що очікується під час будівництва фундаментів і експлуатації споруди;

2. встановити нормативні та розрахункові характеристики ґрунтів кожного шару для розрахунку по обом групам граничних станів;

3. оцінити характер і величини очікуваних осадок;

4. намітити з урахуванням нашарування ґрунтів найбільш раціональне розміщення (якщо не задано) споруди на ділянці будівництва.

Вивчення досвіду попереднього будівництва і даних тривалих спостережень за осадками зведених споруд часто дає цінний матеріал для проектування і влаштування нових фундаментів і отримання найбільш оптимального рішення.

В інженерно-геологічних звітах наводяться колонки свердловин і літологічні розрізи, які дозволять судити про простягання шарів ґрунту, їх потужності на різних ділянках території, напрямку потоку і положенні підземних вод і наявності напірних вод в підстилаючих водоносних горизонтах та ін.

Розрізняють такі характерні нашарування ґрунтів: *однорідне*, коли однорідний ґрунт залягає на значну глибину і *шарувату*. Ці дані оцінюють з позиції роботи ґрунтів під впливом навантажень, що передаються спорудою, а також можливих змін властивостей ґрунтів при викопуванні котлованів, зведенні фундаментів і експлуатації споруд.

Особливу увагу приділяють оцінці рівня підземних вод як при сезонному його коливанні, так і внаслідок будівництва споруд в районі проектного об'єкта (напірні гідротехнічні споруди, дренажні та ін.). Розглядають також агресивність підземних вод.

Оцінку інженерно-геологічних умов слід починати з нанесення на геолого-літологічні розрізи підземної частини споруди.

Для кожного шару ґрунту встановлюють насамперед фізичні характеристики (вологість W , питома вага ґрунту γ , питома вага твердих частинок ґрунту γ_s , питома вага сухого ґрунту (скелета ґрунту) γ_d , пористість n , об'єм твердих часток ґрунту в одиниці об'єму m , коефіцієнт пористості e , коефіцієнт водонасичення (ступінь

вологості) S_r , вологості на границі текучості W_L і границі розкочування W_p , число пластичності I_p , показник текучості I_L .

Значення характеристик W , γ , γ_s , W_L , W_p встановлюють як середньоарифметичні їх значення, отримані дослідним шляхом. Решта розраховують за відповідними формулами механіки ґрунтів.

Також за даними лабораторних або польових випробувань встановлюють механічні характеристики – модуль загальної деформації E_0 , МПа, або коефіцієнт відносної стисливості m_v , МПа⁻¹, нормативні параметри опору ґрунту зрушенню (кут внутрішнього тертя ϕ і питоме зчеплення c , МПа) і коефіцієнт фільтрації k_f .

4.6. Вибір нормативних розрахункових навантажень і їх поєднань

Всі навантаження від споруди передаються через фундамент на основу. Однак вони не в однаковій мірі впливають на різні ґрунти, тому важливо правильно вибрати найбільш несприятливий, і можливе основне сполучення навантажень, під дією яких розвивається даний вид переміщень основи, що приводить до деформації елементів конструкції.

При визначенні навантажень на фундаменти і основи керуються ДБН В.1.2-2:2006. «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування».

<u>Навантаження</u>		
Постійні	Тимчасові	
Довготривалі	Короткотривалі	Особливі
(обладнання, складування матеріалів, власна вага конструкцій)	(вітер, кранові)	(сейсмічні)

Навантаження і впливи ділять на постійні і тимчасові.

Постійні навантаження і впливи прикладаються під час будівництва і проявляються протягом усього періоду експлуатації (власна вага конструкції, тиск ґрунту та ін.).

Тимчасові навантаження і впливу прикладаються або виникають в окремі періоди будівництва або експлуатації, проте вони можуть зменшуватися або повністю зникати. Розрізняють тривалі, короткочасні і особливі навантаження і впливи. Тривалими називають навантаження, що діють тривалий час (вага

обладнання, навантаження від складованих матеріалів та ін.). До короткочасних відносять навантаження, що діють нетривалий час (навантаження від транспорту, включаючи крани, вага людей, від снігу, вітру тощо). Особливі навантаження виникають у виняткових випадках (сейсмічні, аварійні від просідання основи при її замочуванні тощо).

Розрізняють такі поєднання навантажень:

Основні, що складаються з постійних, тривалих і короткочасних навантажень або впливів; з короткочасних враховують ті, які здатні викликати розглянуті види деформацій.

Особливі, що складаються з постійних, тривалих, можливих короткочасних і однією з особливих навантажень або впливів.

Розрізняють навантаження нормативні (максимально типові) і розрахункові, отримані шляхом множення значення нормативного навантаження на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f , враховує можливе відхилення навантаження від типового значення.

Навантаження і впливи на основи, що передаються фундаментами споруд або їх окремими елементами, правильніше встановлювати розрахунком, виходячи з розгляду спільної роботи несучих конструкцій споруди жорсткості споруди або її частин у багатьох випадках навантаження на основу визначають без урахування їх перерозподілу надфундаментною конструкцією і приймають за статичною схемою споруди.

Розрахункові зусилля для розрахунку за несучою здатністю і міцністю (розрахункові) часто визначаються шляхом множення заданих зусиль по другій групі граничних станів (нормативні) на усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fcp} = 1,2$.

При зборі навантажень слід мати на увазі найбільш невідповідні, але реальні комбінації навантажень, число яких може бути більше однієї – двох.

Для окремо стоячих фундаментів навантаження збирається з відповідної вантажної площі, для стрічкових фундаментів навантаження приводиться до одного погонного метра його довжини.

Розрахунки для пальових фундаментів виробляються як за деформаціями, так і за несучою здатністю. Тому для них додатково необхідно провести збір навантажень для розрахунку за несучою здатністю.

4.7. Вибір типу і конструкції фундаменту

Тип фундаментів вибирають з урахуванням:

- а) особливостей несучих конструкцій споруд і переданих навантажень;
- б) розташування підземних пристроїв в будівлях (прямки, підвали, канали, фундаменти обладнання, трубопроводи тощо) і біля будівель (фундаменти сусідніх будівель, трубопроводи, тунелі тощо);
- в) характеру інженерно-геологічних умов будівельного майданчика;
- г) умов побудови фундаменту (технічна озброєність будівельної організації, в яку пору року зводиться фундамент і підземні конструкції та ін.).

При конструюванні фундаменту прагнуть, щоб навантаження від споруди найкоротшим шляхом було передане на ґрунт основи, при цьому у всіх перетинах фундаменту зусилля були б близькі до граничних значень. Такий шлях передачі навантаження від колон забезпечується окремими, а від несучих стін – стрічковими фундаментами.

Дорожчі стрічкові фундаменти під колони і суцільні фундаментні плити застосовують лише в необхідних випадках.

Збірні фундаменти повинні збиратися з мінімальної кількості типорозмірів, що мають певний модуль. Як модуль розмірів монолітних фундаментів приймають 10 см, а при використанні інвентарної опалубки – 30 см. Пальові фундаменти раціональні, коли їх застосування дозволяє різко зменшити об'єм земляних або бетонних робіт.

4.8. Варіантність рішень

Навіть при простих ґрунтових умовах (однорідний ґрунт на велику глибину), а тим більше при складних, можна намітити кілька варіантів рішень влаштування фундаментів. Ці варіанти можуть відрізнятися один від одного за матеріалом і конструкцією самого фундаменту, глибині його закладення, ширині подошви, підготовці основи, способу закладення фундаменту та ін. З них, очевидно, слід

вибрати оптимальне рішення. Це можна зробити тільки на основі техніко-економічного зіставлення варіантів.

При цьому повинні враховуватися вартість конструкції фундаменту, що будується, її довговічність, індустріальність, трудомісткість, швидкість зведення, можливість виконання робіт в зимовий час, збереження структури ґрунтів в основі під час земляних робіт та ін.

Процес розгляду варіантів є основним в проєктуванні фундаментів, тому важливо правильно вирішити принципові питання при виборі варіанта. Для цього рекомендується:

- 1) скласти найбільш реальні варіанти;
- 2) відкинути найбільш неприйнятні з них;
- 3) розрахувати відібрані варіанти для найбільш завантаженого типового фундаменту;
- 4) провести техніко-економічне порівняння варіантів.

Техніко-економічне порівняння повинно проводитися за приведеними витратами стосовно району будівництва.

При однаковій довговічності конструкцій фундаментів допустимо основне порівняння варіантів зробити за вартістю.

При виборі варіантів і проєктуванні необхідно також враховувати особливості виконання робіт по влаштуванню фундаментів і можливості підприємств будівельної індустрії.

Питання до самоперевірки:

1. Назвіть загальні принципи проєктування основ і фундаментів.
2. Яка послідовність проєктування основ і фундаментів?
3. В чому полягає розрахунок основ і фундаментів за граничними станами?
4. Загальна оцінка взаємодії споруд і основ.
5. Матеріали інженерно-геологічних вишукувань.
6. Вибір нормативних розрахункових навантажень і їх поєднань.
7. Вибір типу і конструкції фундаменту.
8. Варіантність рішень в проєктуванні фундаментів.

ТЕМА 5

ФУНДАМЕНТИ, ЩО ЗВОДЯТЬСЯ В ВІДКРИТИХ КОТЛОВАНАХ

План:

- 5.1. Конструкція фундаментів, їх види і порядок проєктування.
- 5.2. Вибір мінімальної глибини закладення фундаментів.
- 5.3. Попереднє призначення розмірів підшви фундаментів мілкого закладення.
- 5.4. Розрахунок фундаментів мілкого закладення.
- 5.5. Визначення розрахункового опору ґрунтів основи.
- 5.6. Облік підстилаючого шару слабкого ґрунту.
- 5.7. Розрахунок розмірів підшви фундаменту при наявності підвалу.
- 5.8. Розрахунок осідання фундаментів мілкого закладення методом пошарового підсумовування.
- 5.9. Розрахунок основ фундаментів мілкого закладання за несучою здатністю.

5.1. Конструкція фундаментів, їх види і порядок проєктування

До фундаментів мілкого закладення відносяться фундаменти, що мають відношення висоти до ширини підшви, що не перевищує 4, і передають навантаження на ґрунти основи переважно через підшву. Фундаменти мілкого закладення зводяться в відкритих котлованах (звідси ще одна їхня назва – фундаменти, що зводяться в відкритих котлованах) або в спеціальних виїмках, що влаштовуються в ґрунтах основи.

За умовами виготовлення фундаменти мілкого закладення поділяються на монолітні, що зводяться безпосередньо в котлованах, і збірні, монтовані з елементів заводського виготовлення. При влаштуванні монолітних фундаментів під підшвою здійснюється підготовка з тощого бетону або шару щебню, втрамбованого в ґрунт і пролитого цементним розчином, без витоку цементного молока, перемішування бетонної суміші з ґрунтом і занурення арматури в основу. При щільних слабофільтруючих ґрунтах таку підготовку можна не робити, а прийняти захисний шар бетону товщиною 5...8 см.

Як матеріали фундаментів застосовуються залізобетон, бетон, бутобетон, кам'яні матеріали (цегла, бут, пиляні блоки з природного каменю). В окремих випадках при влаштуванні фундаментів тимчасових будівель і споруд допускається застосування дерева або металу.

За формою фундаменти мілкового закладення поділяються на окремі, стрічкові, суцільні і масивні (рис. 5.1).

Окремі фундаменти влаштовують під колони, опори балок, ферм і інших елементів промислових і цивільних будівель і споруд. Можливо пристрій окремих фундаментів і під стіни (при невеликих навантаженнях і в тих випадках, коли основою служать ґрунти, які мають високі характеристики міцності і деформаційні характеристики). Окремі фундаменти не збільшують жорсткості споруди, тому їх зазвичай застосовують в тих випадках, коли нерівномірність осадки не перевищує допустимих значень (рис. 5.1 а, б, рис. 5.2).

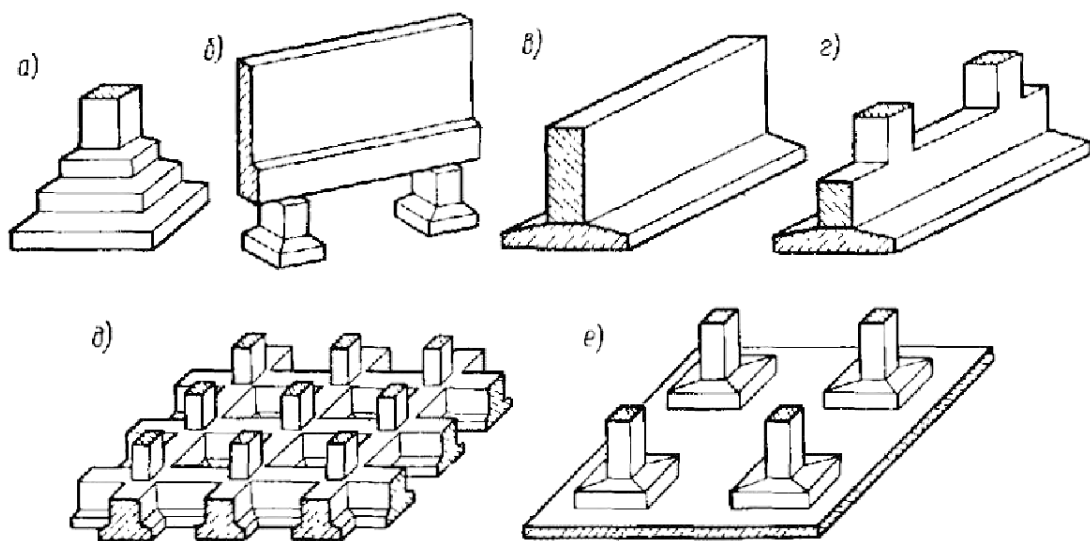


Рис. 5.1. Основні типи фундаментів мілкового закладення:

а – окремий фундамент під колону; б – окремі фундаменти під стіну; в – стрічковий фундамент під стіну; г – те ж, під колони; д – те ж, під сітку колон; е – суцільний (плитний) фундамент

Стрічкові фундаменти використовують для передачі навантаження на основу від протяжних елементів будівельних конструкцій, наприклад, стін будівель, або ряди колон. За розміщенням в плані стрічкові фундаменти можуть складатися з одинарних (рис. 5.1 в, г, рис. 5.3) або перехресних стрічок (рис. 5.1 д). Одинарні стрічки влаштовують, як правило, під стіни, а перехресні – під сітку колон.

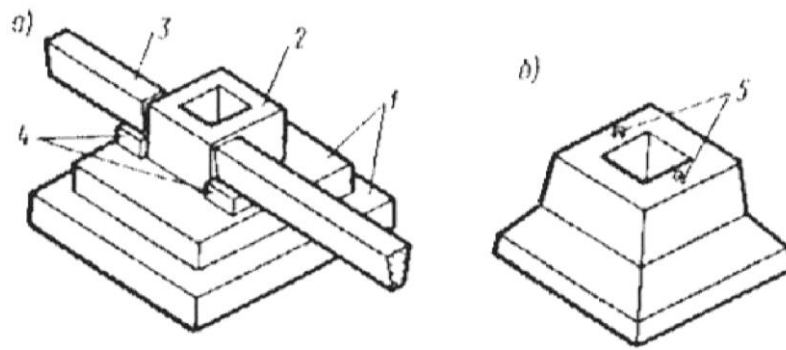


Рис. 5.2. Збірний фундамент під колону:

а – з кількох елементів; б – з одного елемента; 1 – фундаментні плити; 2 – підколонник; 3 – рандбалки; 4 – бетонні стовпчики; 5 – монтажні петлі

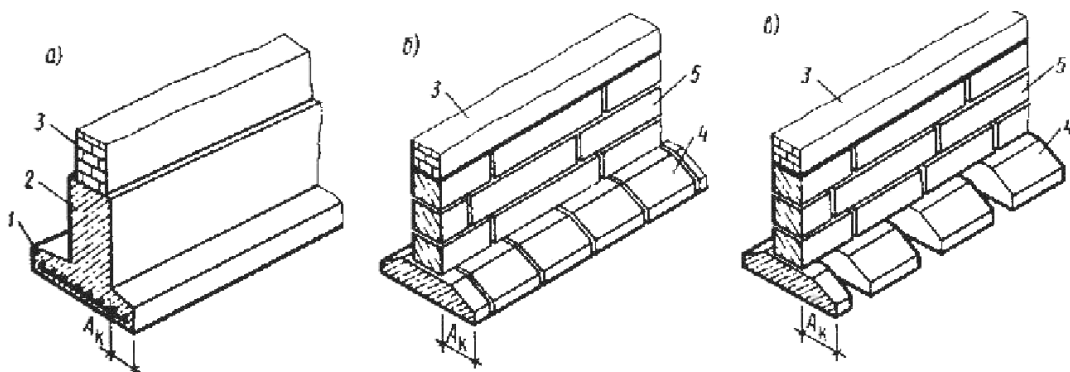


Рис. 5.3. Стрічкові фундаменти:

а – монолітний; б – збірний суцільний; в – збірний переривчастий;
1 – армована стрічка; 2 – фундаментна стіна; 3 – стіна будівлі;
4 – фундаментна подушка; 5 – стіновий блок

Суцільні фундаменти (рис. 5.1 е), іноді звані плитними, влаштовують під усім будинком у вигляді залізобетонних плит під стіни або сітку колон. Фундаментні плити розрізають в плані тільки осадовими швами, але в межах кожного виділеного відсіку вони забезпечують жорсткість будівлі і спільну роботу фундаменту і надземної частини споруди. Суцільні фундаменти сприяють зменшенню нерівномірності опади споруди.

Масивні фундаменти влаштовують у вигляді жорсткого масиву під невеликі в плані споруди, такі як вежі, щогли, димові труби, доменні печі, основи мостів тощо.

Важливим конструктивним елементом при влаштуванні фундаментів є їх захист від агресивних ґрунтових вод. Якщо не застосовувати спеціальних заходів, то під впливом агресивних вод відбувається руйнування бетону, арматура

оголюється і піддається корозії. Протистояти впливу агресивних ґрунтових вод можна застосуванням більш стійких цементів або щільних бетонів в тріщиностійких конструкціях. У ряді випадків влаштовують ізоляцію фундаментів від агресивних вод. Для цього виконується підготовка з втрамбованого в ґрунт щебню з покриттям бітумною мастикою або мастикою з полімерних матеріалів. Поверхня фундаменту також покривається чорним в'язучим матеріалом або мастикою з полімерних смол. Навколо фундаментів влаштовується глиняний замок.

При високому стоянні підземних вод виконується гідроізоляція підвальних приміщень, конструкція якої вибирається залежно від характеру ґрунтів, типу фундаментів, виду підвальних приміщень та рівня ґрунтових вод. При рівні ґрунтових вод нижче підлоги підвалу зовнішні сторони фундаменту покривають гідроізоляційною мастикою, а штукатурка підлоги і стін виконується з залізненням. Якщо стояння рівня підземних вод не більше ніж на 0,5 м вище за підлогу підвалу, то гідроізоляцію утримують пригрузочним шаром бетону вагою, що перевершує гідростатичний тиск. При рівні підземних вод вище підлоги підвалу більш ніж на 0,5 м гідроізоляцію влаштовують внутрішню або зовнішню. Внутрішня гідроізоляція влаштовується після зведення фундаментів і притискається залізобетонною плитою (кесоном), при цьому стінки кесона впираються в перекриття або виступаючі частини фундаменту. Іноді влаштовується зовнішня гідроізоляція, тоді фундамент виконується у вигляді монолітної залізобетонної плити. У цьому випадку кілька спрощується влаштування гідроізоляції в зв'язку зі зменшенням кількості кутів, що огинають. Вертикальна гідроізоляція захищається стінками зі збірних залізобетонних плит або цегли.

Порядок проєктування фундаментів мілкового закладення

1. Оцінка інженерно-геологічних умов майданчика будівництва (загальні вимоги для всіх типів фундаментів).
2. Визначення глибини закладення фундаменту (оптимальне значення при розгляді різних умов).
3. Попереднє призначення розмірів подошви фундаментів мілкового закладення.

4. Перевірочні розрахунки фундаментів мілкового закладення:

а) по тиску (тиск перевірки по підшві фундаменту не повинен перевищувати розрахункового опору ґрунту основи);

б) обмеження граничних деформацій основ (розрахункова осадка не повинна перевищувати максимально допустиму для даного типу будівлі чи споруди).

5. При необхідності проводять розрахунок основ фундаментів мілкового закладення за несучою здатністю.

5.2. Вибір мінімальної глибини закладення фундаментів

При проектуванні і влаштуванні фундаментів з техніко-економічних міркувань прагнуть приймати якомога меншу глибину закладення їх підшви.

Глибина закладення фундаментів повинна прийматися з урахуванням:

- призначення і конструктивних особливостей проекрованої споруди, навантажень і впливів на її фундаменти;

- глибини закладення фундаментів прилеглих споруд, а також глибини прокладки інженерних комунікацій;

- існуючого і проектового рельєфу території, що забудовується;

- інженерно-геологічних умов майданчика будівництва (фізико-механічних властивостей ґрунтів, характеру нашарувань, наявності шарів, схильних до ковзання, кишень вивітрювання, карстових порожнин та ін.);

- гідрогеологічних умов майданчика і можливих їх змін в процесі будівництва і експлуатації споруди;

- глибини сезонного промерзання ґрунтів.

Вибір оптимальної глибини закладення фундаментів в залежності від обліку зазначених вище умов рекомендується виконувати на основі техніко-економічного порівняння різних варіантів.

Інженерно-геологічні та гідрологічні умови будівельного майданчика.

З метою систематизації проф. Б.І. Далматов умовно поділяє інженерно-геологічні умови будівельного майданчика на «слабкі» і «надійні». Як «слабкі» розглядаються такі ґрунти, які не можуть забезпечити стійкість фундаментів і

споруд в цілому. І навпаки, «надійними» є такі ґрунти, які цілком забезпечують стійкість будівель і споруд. Поняття «слабкий» і «надійний» ґрунт досить відносні. При проектуванні порівняно легких і тим більш гнучких споруд навіть сильно стискувальні ґрунти можна віднести до категорії «надійних». У той же час при зведенні важких будівель і споруд, що не допускають появи нерівномірних деформацій, ґрунти з середньою стискальністю можуть виявитися «слабкими».

Ґрунтові нашарування ділять на три схеми (рис. 5.4).

При заляганні з поверхні «надійних» ґрунтів (схема I) глибина закладення фундаментів приймається мінімальною (з урахуванням кліматичних умов і особливостей споруди). Якщо з поверхні залягають «слабкі» ґрунти, що підстилаються «надійними» ґрунтами, то найбільш раціональним рішенням буде прорізка «слабких» ґрунтів і передача навантаження на «надійні» ґрунти за допомогою паль, стовпів, ущільненої піщаної подушки та ін. (Схема II). При ґрунтових нашаруваннях за схемою III можна рекомендувати прорізку «слабких» ґрунтів з оперттям фундаментів на верхній шар «надійного» ґрунту в якості розподільної подушки. Можливо також закріплення шару «слабкого» ґрунту одним з існуючих способів.



Кліматологічні особливості місцевості і їх вплив на верхні шари ґрунту.

Кліматичні фактори позначаються, перш за все, на промерзанні ґрунтів і пов'язаному з ним морозному пученні. При промерзанні ґрунту вода, що заповнює пори між частинками, розширюється і деформує ґрунт, випучуючи його догори (рис. 5.5).

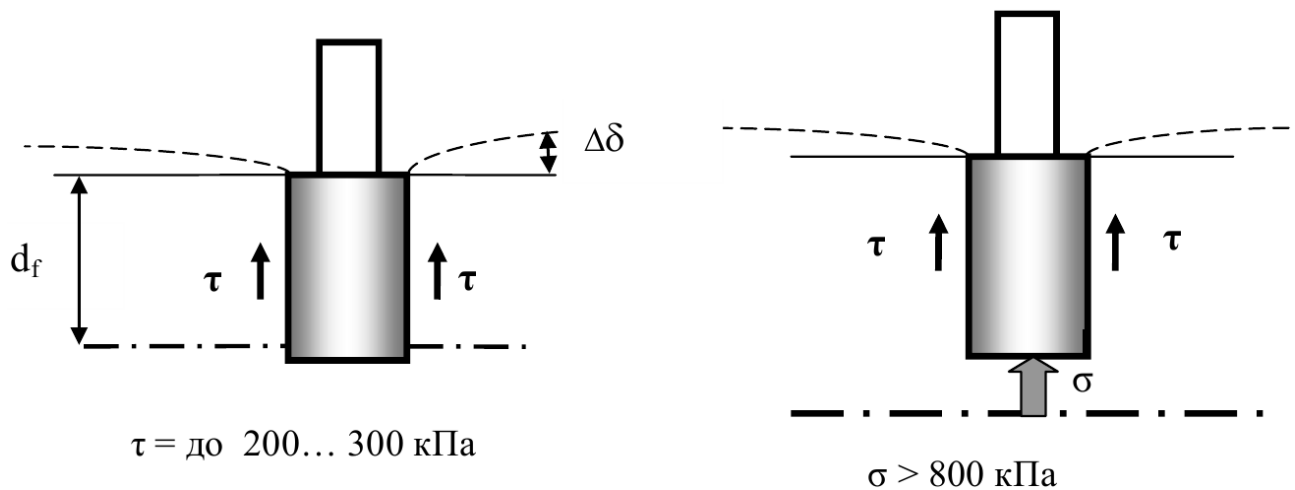


Рис. 5.5. Морозне пучення ґрунту при різному рівні підземних вод:

τ – дотичні сили пучення; σ – нормальні сили пучення; d_f – розрахункова глибина промерзання ґрунту; $\Delta\delta$ – пучення поверхні ґрунту

До пучення схильні пилюваті піски, суглинки і глини – м'якопластичні і текучі. Піски середньої крупності, крупні і гравелисті відносяться до ґрунтів, що не спучуються, і тому глибина закладення фундаментів на таких ґрунтах не залежить від глибини промерзання, табл. 5.1, (ДБН В. 2.1.-10: 2018).

У всіх інших випадках глибина закладення фундаментів повинна бути не менше розрахункової глибини промерзання ґрунтів:

$$d_f = k_h \cdot d_{fn}, \quad (5.1)$$

де d_{fn} – нормативна глибина промерзання, яка приймається як середня з щорічних максимальних глибин промерзання ґрунтів за даними спостережень протягом 10 років (для територій нашої країни d_{fn} можна визначити за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія); k_h – коефіцієнт, що враховує вплив теплового режиму будівлі на промерзання ґрунту біля зовнішніх стін опалювальних споруд – за табл. 5.2, (ДБН В. 2.1.-10: 2018).

При проміжних значеннях температури повітря коефіцієнт k_h приймають з округленням до найближчого меншого значення, зазначеного в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Грунт під підшвою фундаменту	Глибина закладення фундаментів в залежності від глибини розташування рівня підземних вод d_m , м, при:	
	$d_w \leq d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
Слабкі, крупноуламкові з піщаним заповнювачем, піски гравелісті, крупні та середньої крупності	Не залежить від d_f	Не залежить від d_f
Піски дрібні та пилюваті	Не менш d_f	Те саме
Супіски з показником текучості $I_L < 0$	Те саме	``
Те саме, при $I_L \geq 0$	``	Не менш d_f
Суглинки, глини, а також крупноуламкові ґрунти з глинистим заповнювачем при показнику текучості ґрунту або заповнювача $I_L \geq 0,25$	``	Те саме
Те саме, при $I_L < 0,25$	``	Не менш $0,5d_f$

Примітка

У випадках, коли глибина закладення фундаментів не залежить від розрахункової глибини промерзання d_f , відповідні ґрунти, зазначені в цій таблиці, повинні залягати до глибини не менше нормативної глибини промерзання d_{fn} .

Наведені в таблиці значення коефіцієнта $k h$ відносяться до фундаментів, у яких відстань від зовнішньої грані стіни до краю фундаменту $d_f < 0,5$ м; якщо $d_f \geq 1,5$ м, значення коефіцієнтів $k h$ підвищують на 0,1, але не більше ніж до значення $k h = 1$; при проміжному значенні d_f значення коефіцієнтів $k h$ визначають інтерполяцією. До приміщень, що примикають до зовнішніх фундаментів, відносяться підвали і технічні підпілля, а при їх відсутності – приміщення першого поверху.

Таблиця 5.2

Особливості споруди	Коефіцієнт k_h при середньодобовій температурі повітря в приміщенні, що примикають до зовнішнього фундаменту, °С				
	0	5	10	15	20 і більш
Без підвалу з полами, влаштованими:					
по ґрунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
на лагах по ґрунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленому цокольному перекритті	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
З підвалом або технічним підпіллям	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4

Конструктивні особливості зведення будинків і споруд.

До особливостей споруд, що впливає на вибір глибини закладення підоснови фундаменту, відносяться: наявність підвальних приміщень, приямків, глибоких фундаментів під обладнання, примикання до фундаментів раніше побудованих або майбутніх споруд, характер підземного господарства біля місця будівництва, а також конструкції самого фундаменту (рис. 5.6). Зазвичай намагаються запобігти можливості порушення структури ґрунтів в основі фундаменту при викопуванні поруч глибшого котловану.

При зведенні споруд в водоймах глибину закладення фундаментів призначають з урахуванням можливого розмиву ґрунту.

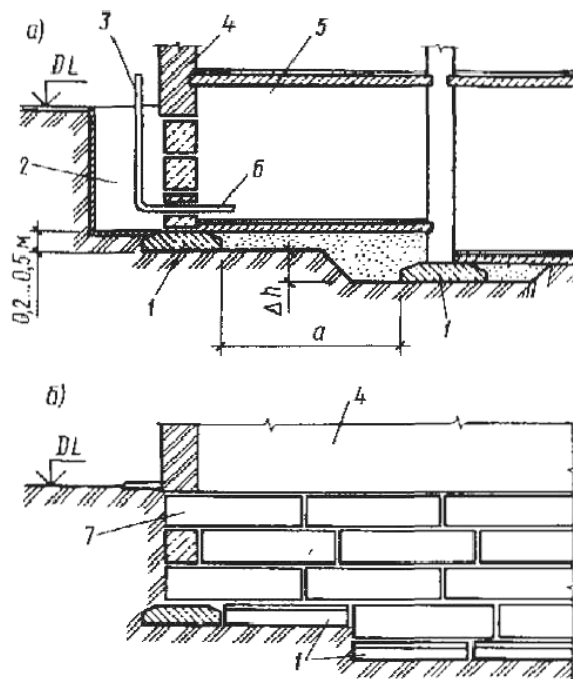


Рис. 5.6. Вибір глибини закладення фундаменту в залежності від конструктивних особливостей споруди: а – будівля з підвалом в різних рівнях і приямком; б – зміна глибини закладення стрічкового фундаменту; 1 – фундаментні плити; 2 – приямок; 3 – трубопровід; 4 – стіна будівлі; 5 – підвал; 6 – введення трубопроводу; 7 – стінові блоки

До особливостей споруд відносяться також навантаження, що передаються на основу, чутливість конструкцій до нерівномірних осідань, планована довговічність споруд і їх унікальність. При високих спорудах, наприклад, димових трубах, щоглах тощо, глибина закладення фундаментів диктується необхідністю значного розвитку їх в сторони.

На конструктивні особливості фундаментів опор ліній електропередачі, висотних споруд зв'язку, впливатиме наявність значних висмикуючих навантажень. Конструктивні розміри таких фундаментів часто доводиться призначати досить великими, для забезпечення значної власної ваги, здатної компенсувати наявність навантажень, що висмикують.

5.3. Попереднє призначення розмірів підшви фундаментів мілкового закладення

Попередні розміри фундаментів призначають з конструктивних міркувань або виходячи з табличних значень розрахункового опору ґрунтів основи R_0 , що визначається за таблицями додатка В (ДБН В. 2.1.-10: 2018). Значеннями R_0 допускається також користуватися для остаточного призначення розмірів фундаментів споруд III рівня відповідальності, якщо основу складено горизонтальними (ухил не більше 0,1), витриманими по товщині шарами ґрунту, стисливість яких не змінюється в межах глибини, що дорівнює подвійній ширині найбільшого фундаменту, відрховуючи від його підшви.

Попередньо площа підшви фундаментів мілкового закладення визначається:

$$A = \frac{N_0}{R_0 - \gamma_{mt} \cdot d_f}, \quad (5.2)$$

де γ_{mt} – середнє значення питомої ваги матеріалу фундаменту і ґрунту на його уступах, приймається рівним 18...20 кН/м³ для будівель без підвалу і 16...19 кН/м³ при наявності підвалу;

d_f – глибина закладення (висота фундаменту).

Визначення розмірів фундаментів мілкового закладення при дії різних поєднань навантажень:

Розміри підшви – ширина b і довжина ℓ визначаються:

1. Для центрально навантаженого окремого фундаменту (квадратна в плані підшва) розміри приймаються $b = \ell = \sqrt{A}$;

2. Для позацентрово навантаженого окремого фундаменту (прямокутна в плані підшва) розміри приймаються з співвідношенням $b/\ell = 0,6...0,85$;

3. Для стрічкових фундаментів розрахунок проводиться на 1 м довжини фундаменту – розміри приймаються $\ell = 1$ м. $b = A$.

5.4. Розрахунок фундаментів мілкового закладення

Основним розрахунком фундаментів споруд є розрахунок по граничному стані за деформаціями. Розрахунки основ за деформаціями виробляють виходячи з теорії лінійного деформування ґрунту (теорії пружності). Застосування цієї теорії допустимо, коли зони пластичних деформацій ґрунтів у основі або повністю відсутні, або мають незначний розвиток. З цієї причини при розрахунку по деформації середній тиск по підшві фундаментів обмежується. Цей середній тиск в більшості випадків не перевищує тиску, при якому під краями фундаменту утворюються зони пластичних деформацій (місцевого порушення міцності ґрунтів в основі) на глибину 0,25 ширини підшви фундаменту. При цьому умовно приймається, що тиск по підшві розподілено рівномірно.

Такий тиск називається розрахунковим опором ґрунту основи R . Так як він залежить від ширини підшви фундаменту і глибини його залягання, то визначається для кожного фундаменту.

Таким чином, до виконання розрахунку осідання основ слід для всіх фундаментів переконатися, що задовольняється умова:

$$P_{II} \leq R, \quad (5.3)$$

де R – розрахунковий опір ґрунту основи, кПа;

P_{II} – середній тиск по підшві фундаменту, кПа.

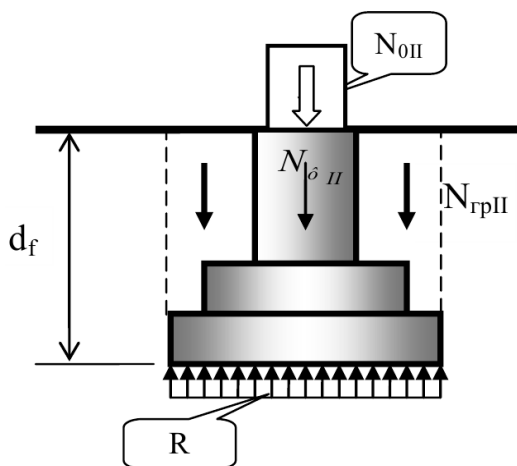


Рис. 5.7. Схема до визначення тиску по підшві центрально навантаженого фундаменту

$$P_{II} = \frac{N_{0II} + N_{фII} + N_{зрII}}{A}. \quad (5.4)$$

Тут N_{0II} – вертикальне навантаження, що діє на обрізі фундаменту, кН;

$N_{фII}$ – розрахункове навантаження від ваги фундаменту при розрахунку за деформаціями, кН;

$N_{зрII}$ – те ж, від ваги ґрунту над уступами фундаменту, кН.

Виконання цієї умови достатньо для центрально навантажених фундаментів (рис. 5.7), для позацентрово навантажених (рис. 5.8) додатково перевіряються умови обмеження максимальних і мінімальних тисків по краях підшви:

$$P_{\max \min} = \frac{N_{II}}{A} \pm \frac{M_{II}}{W}, \quad (5.5)$$

де M_{II} – момент, що діє на обрізі фундаменту, кН · м;

W – момент опору площі підшви фундаменту.

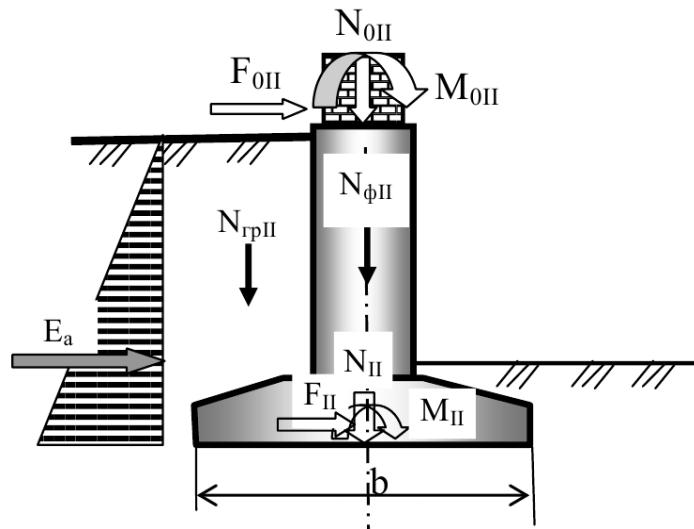


Рис. 5.8. Схема до визначення тиску по підшві позацентрово навантаженого фундаменту

Всі сили, що діють по обрізу фундаменту, наводимо до трьох складових в площині підшви фундаменту N_{II} , F_{II} , M_{II} .

$$\begin{aligned} N_{II} &= N_{0II} + N_{фII} + N_{зрII}; \\ M_{II} &= M_{0II} + M_{фII} + M_{зрII} + M_{фII} + M_{EфII} + M_{NII}; \\ F_{II} &= F_{0II} + E_a, \end{aligned} \quad (5.6)$$

де E_a – активний тиск ґрунту.

Для фундаменту прямокутної форми підосви, центрального прикладення вертикального навантаження N_{0II} , симетричного фундаменту і засипці фундаменту з двох сторін (або при сприйнятті активного тиску і моменту від ваги ґрунту вищерозташованими конструкціями)

$$P_{\min}^{\max} = \frac{N_{II}}{A} \times \left(1 \pm \frac{6 \times e}{l} \right), \quad (5.7)$$

де $e = M_{II} / N_{II}$; $M_{II} = M_{0II} + M_{FII}$; $N_{II} = N_{0II} + N_{\phi II} + N_{зр II}$; (для стрічкових фундаментів в формулу (2.7) замість довжини фундаменту l підставляється його ширина b).

Повинні бути виконані вимоги – $R_{\max} \leq 1,2P$; $P_{\min} \geq 0$ для всіх фундаментів, тобто перевантаження більше 20% і відрив підосви неприпустимі. При наявності кранового навантаження перевіряється умова $P_{\min} / R_{\max} \geq 0,25$.

5.5. Визначення розрахункового опору ґрунтів основи

При розрахунку деформацій земної поверхні з використанням розрахункової схеми, лінійно деформується півпростору, розрахунковий опір ґрунту основи R , визначається за формулою:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \left[M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II} \right] \quad (5.8)$$

де γ_{c1} і γ_{c2} – коефіцієнти умов роботи, що приймаються за табл. 5.3;

k – коефіцієнт, що дорівнює одиниці, якщо міцності ґрунту (φ і c) визначені безпосередніми випробуваннями, і $k = 1,1$, якщо вони прийняті за таблицями додатка Б (ДБН В. 2.1.-10: 2018);

M_{γ} , M_q , M_c – коефіцієнти, що приймаються за табл. 5.4;

k_z – коефіцієнт, що дорівнює одиниці при $b < 10$ м;

$k_z = z_0 / b + 0,2$, при $b \geq 10$ м (тут $z_0 = 8$ м);

b – ширина підосви фундаменту, м (при бетонній або щебеневій підготовці товщиною h_n допускається збільшувати b на $2h_n$);

γ_{II} – усереднене розрахункове значення питомої ваги ґрунтів, що залягають нижче підшви фундаменту (при наявності підземних вод визначається з урахуванням вісової дії води), кН/м³;

γ'_{II} – то ж, для ґрунтів, що залягають вище підшви фундаменту, кН/м³;

Таблиця 5.3

Ґрунти	Коефіцієнт γ_{c1}	Коефіцієнт γ_{c2} для споруд з жорсткою конструктивною схемою при відношенні довжини споруди або його відсіку до висоти L/H , що дорівнює	
		4 і більш	1,5 і менш
Великоуламкові з пісочним заповнювачем і піски, крім дрібних і пілуватих	1,4	1,2	1,4
Піски дрібні	1,3	1,1	1,3
Піски пілуваті: маловологі і вологі, насичені водою	1,25	1,0	1,2
	1,1	1,0	1,2
Глинисті, а також крупноуламкові з глинистим заповнювачем з показником текучості ґрунту або заповнювач $I_L \leq 0,25$	1,25	1,0	1,1
Те ж, при $0,25 < I_L \leq 0,5$	1,2	1,0	1,1
Те ж, при $I_L > 0,5$	1,1	1,0	1,0

Примітки:

1. До споруд з жорсткою конструктивною схемою відносяться споруди, конструкції яких спеціально пристосовані до сприйняття зусиль від деформацій основ, в тому числі за рахунок застосування таких заходів, як підвищення міцності і просторової жорсткості споруд, що досягається посиленням конструкцій, особливо конструкцій фундаментно-підвальної частини, відповідно до результатів розрахунку споруди у взаємодії з основою (введення додаткових зв'язків, влаштування залізобетонних або армокам'яних поясів, розрізання споруд на відсіки тощо).

2. Для будинків з гнучкою конструктивною схемою значення коефіцієнта γ_{c2} приймають рівним одиниці.

3. При проміжних значеннях L/H коефіцієнт γ_{c2} визначають інтерполяцією.

4. Для рихлих пісків γ_{c1} і γ_{c2} приймають рівними одиниці.

Таблиця 5.4

Кут внутрішнього тертя φ_{II} , град	Коефіцієнти			Кут внутрішнього тертя φ_{II} , град	Коефіцієнти		
	M_γ	M_q	M_c		M_γ	M_q	M_c
0	0	1,00	3,14	23	0,69	3,65	6,24
1	0,01	1,06	3,23	24	0,72	3,87	6,45
2	0,03	1,12	3,32	25	0,78	4,11	6,67
3	0,04	1,18	3,41	26	0,84	4,37	6,90
4	0,06	1,25	3,51	27	0,91	4,64	7,14
5	0,08	1,32	3,61	28	0,98	4,93	7,40
6	0,10	1,39	3,71	29	1,06	5,25	7,67
7	0,12	1,47	3,82	30	1,15	5,59	7,95
8	0,14	1,55	3,93	31	1,24	5,95	8,24
9	0,16	1,64	4,05	32	1,34	6,34	8,55
10	0,18	1,73	4,17	33	1,44	6,76	8,88
11	0,21	1,83	4,29	34	1,55	7,22	9,22
12	0,23	1,94	4,42	35	1,68	7,71	9,58
13	0,26	2,05	4,55	36	1,81	8,24	9,97
14	0,29	2,17	4,69	37	1,95	8,81	10,37
15	0,32	2,30	4,84	38	2,11	9,44	10,80
16	0,36	2,43	4,99	39	2,28	10,11	11,25
17	0,39	2,57	5,15	40	2,46	10,85	11,73
18	0,43	2,73	5,31	41	2,66	11,64	12,24
19	0,47	2,89	5,48	42	2,88	12,51	12,79
20	0,51	3,06	5,66	43	3,12	13,46	13,37
21	0,56	3,24	5,84	44	3,38	14,50	13,98
22	0,61	3,44	6,04	45	3,66	15,64	14,64

Коли в межах будь-якої глибини розташовується кілька шарів ґрунту з різними питомими вагами, середньозважена питома вага ґрунтів для визначення γ_{II} або γ'_{II} знаходиться:

$$\gamma_{сер} = \frac{\gamma_{II1}h_1 + \gamma_{II2}h_2 + \dots + \gamma_{IIn}h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}, \quad (5.9)$$

де $\gamma_{II1}, \gamma_{II2}, \dots, \gamma_{IIn}$ – питома вага ґрунтів відповідних шарів і матеріалу підлоги, кН/м³;

$h_1, h_2, \dots, h_n$ – товщина відповідно першого, другого, n -го шарів, м;

c_{II} – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту, що залягає безпосередньо під подошвою фундаменту, кПа;

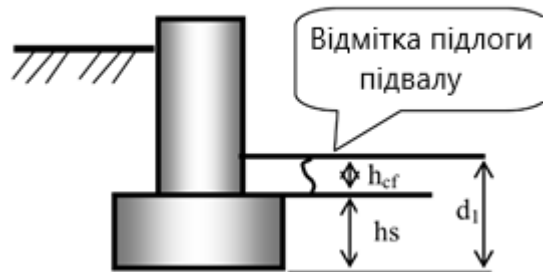
d_1 – глибина закладення фундаментів, м, безпідвальних споруд від рівня планування або приведена глибина закладення зовнішніх і внутрішніх фундаментів від підлоги підвалу, яка визначається за формулою (5.10). При плитних фундаментах за d_1 приймають найменшу відстань від підшови плити до рівня планування;

$$d_1 = h_s + h_{cf} \gamma_{cf} / \gamma'_{II}. \quad (5.10)$$

Тут h_s – товщина шару ґрунту вище підшови фундаменту з боку підвалу, м;

h_{cf} – товщина конструкції підлоги підвалу, м;

γ_{cf} – розрахункове значення питомої ваги конструкції підлоги підвалу, кН/м³.



При бетонній або щебеневій підготовці товщиною h_s допускається збільшувати d_1 на h_s .

Якщо $d_1 > d$ (d – глибина закладення фундаменту від рівня планування), у формулі (5.8) приймають $d_1 = d$ і $d_b = 0$;

d_b – глибина підвалу, відстань від рівня планування до підлоги підвалу, м (для споруд з підвалом глибиною понад 2 м приймають рівним 2 м).

5.6. Врахування підстиляючого шару слабого ґрунту

На практиці проектування досить частими є випадки, коли верхні шари ґрунту, на які спирається фундамент, підстиляються менш міцними. Крім природних умов, така ситуація завжди має місце при проектуванні штучних основ.

Міцність ґрунту, як відомо, оцінюється за значенням опору зрушенню τ , яке залежить від нормальних напружень, якщо ґрунт здатний ущільнюватися. Отже, перевірку слабого підстиляючого шару ґрунту, взагалі кажучи, необхідно вести при зіставленні дотичних напружень, що розвиваються від діючих навантажень на

його покрівлі, зі значеннями опору слабкого ґрунту зрушенню. При цьому, з огляду на розсіювання напружень від місцевого навантаження з глибиною, таку перевірку слід було б виконувати для декількох точок на покрівлі слабкого шару.

Для спрощення процедури такої перевірки можна користуватися не значеннями опору ґрунту зрушенню, а величиною розрахункового опору R_z , обчисленого для *умовного фундаменту*, який як би спирається на покрівлю слабкого шару. З огляду на залучення понять «умовний фундамент» і «розрахунковий опір ґрунту зниженої міцності для умовного фундаменту» останнім повинно зіставлятися зі значеннями тисків по підшві умовного фундаменту.

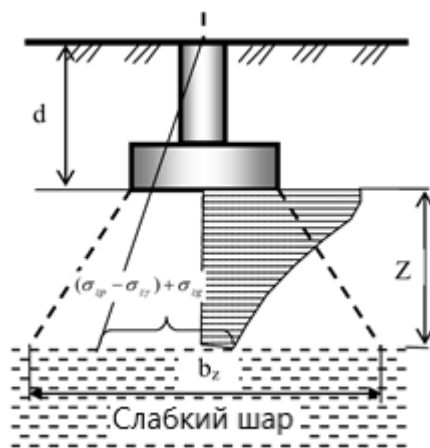


Рис. 5.9. Розрахункова схема фундаменту до перевірки слабкого підстиляючого шару

При обліку максимально можливих значень цих тисків слід очікувати, що подібна перевірка буде давати деякий запас.

Встановлюється на основі цих міркувань перевірка слабкого шару ґрунту, згідно п. 5.6.25 (ДБН В. 2.1.-10: 2018), полягає в забезпеченні умови:

$$(\sigma_{zp} - \sigma_{z\gamma}) + \sigma_{z\gamma} \leq R_z, \quad (5.11)$$

де σ_{zp} , и $\sigma_{z\gamma}$ – вертикальні напруження в ґрунті на глибині z від підшви фундаменту (на рівні покрівлі слабкого ґрунту) відповідно додаткове від навантаження на фундамент і від власної ваги ґрунту, кПа;

σ_{zi} – середнє значення вертикального напруження в i -му шарі ґрунту по вертикалі, що проходить через центр підшви фундаменту, від власної ваги обраної при ритті котловану ґрунту;

R_z – розрахунковий опір ґрунту зниженою міцності на глибині z , кПа, обчислений за формулою (5.8) для умовного фундаменту шириною b_z , м, що дорівнює:

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a, \quad (5.12)$$

де $A_z = N/\sigma_{zp}$; $a = (l-b)/2$.

Тут N – вертикальне навантаження на основу від фундаменту;

l і b – відповідно довжина і ширина фундаменту.

При невиконанні нерівності (5.11) необхідно перепроєктувати фундамент.

5.7. Розрахунок розмірів підшви фундаменту при наявності підвалу

При наявності підвалу стрічковий фундамент зовнішніх стін сприймає від зворотної засипки ґрунту тиск (рис. 2.10). Його визначають за формулами активного тиску ґрунту на підпірні стінки з урахуванням зчеплення. Однак при малій висоті цих стінок (1,5...4 м) і виконанні зворотної засипки на пазуху фундаменту ґрунтом порушеної структури зазвичай обмежуються наближеним розрахунком. В цьому випадку для зв'язкових ґрунтів в розрахункові формули вводять не кут внутрішнього тертя, а орієнтовне значення умовного кута опору ґрунту зрушенню ψ . Його значення можна приймати в залежності від ступеня вологості та щільності пілувато-глинистого ґрунту в таких межах:

а) для насиченого водою або вологого при пористості $e < 0,4$,

а також маловологого при значеннях $e < 0,9 - 40...45^\circ$;

б) для насиченого водою при $0,4 \leq e \leq 0,6$, а також вологого при $e \geq 0,4 - 30...35^\circ$;

в) для насиченого водою при $e \leq 0,6 - 20...25^\circ$.

Для пісків розрахунок ведуть по куту внутрішнього тертя.

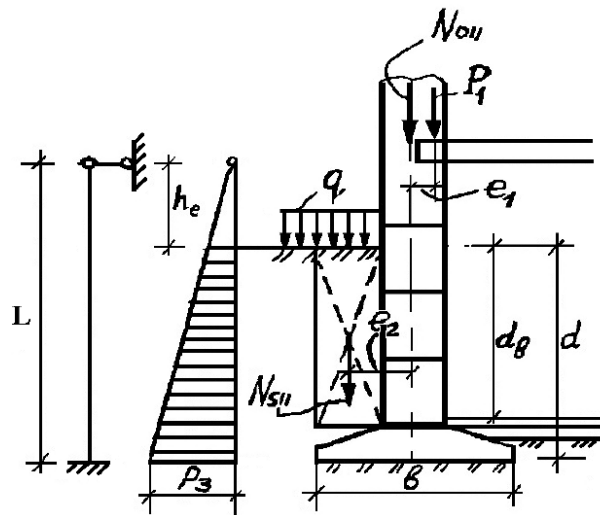


Рис. 5.10. Розрахункова схема фундаменту

При обчисленні тиску ґрунту на підпірну стінку підвалу враховують тимчасове навантаження на поверхні ґрунту $q = 10 \text{ кН/м}^2$.

Це розподілене навантаження зазвичай заміняють фіктивним шаром ґрунту $h_{np} = 0,6 \text{ м}$. Гідростатичний тиск враховують, коли він передається шару гідроізоляції. Якщо надпідвальне перекриття влаштовують до засипання ґрунту за пазуху фундаменту, тоді момент, $\text{кН} \cdot \text{м}$, на 1 м довжини фундаменту в площині підосви приблизно дорівнюватиме:

$$M_{\text{III}} = \frac{p_3 L^2}{15} - \frac{N_{0II} \cdot e_0}{2} - \frac{P_1 \cdot e_1}{3} - N_{sII} \cdot e_2, \quad (5.13)$$

де p_3 – інтенсивність тиску ґрунту на підпірну стінку на позначці підосви фундаменту, кПа , що визначається з вираження[^]

$$p_3 = \gamma'_{II} \cdot L \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - \psi_{срII} / 2); \quad (5.14)$$

де N_{0II} – навантаження в площині обрізу фундаменту на 1 м довжини стіни, кН ;

e_0 – ексцентриситет навантаження в площині надпідвального перекриття, м ;

P_1 – навантаження від перекриття над підвалом, кН , що діє з ексцентриситетом e_1 , м ;

N_{sII} – вага ґрунту на уступах фундаменту, неврахований з протилежного боку фундаменту, кН , що діє з ексцентриситетом e_2 ;

γ'_{II} – питома вага ґрунту зворотної засипки, кН/м^3 ;

L – висота підпірної стінки з урахуванням фіктивного шару, м ;

$$L = d + h_{np} = d + 0,6;$$

ψ_{cpII} – середнє значення кута зсуву, що залежить від ϕ і з ґрунту зворотної засипки.

У тих випадках, коли зворотнє засипання за пазухи фундаменту виробляють до влаштування надпідвального перекриття, тиск ґрунту повністю сприймається стіною підвалу як підпірною стінкою, що вільно стоїть.

Знаючи $M_{АП}$, розміри підосви перевіряють як для позацентрово навантаженого фундаменту.

При ширині підосви менше 1 м або при наявності шару м'якої гідроізоляції в нижній частині фундамент на зрушення забезпечують пристроєм бетонної підлоги.

Коли фундамент заглиблений щодо підлоги підвалу на 1 м і більше, додатково враховується активний тиск ґрунту на нижню частину фундаменту з підвальної боку.

5.8. Розрахунок осідання фундаментів мілко́го закладення методом пошарового підсумовування

У більшості практичних випадків основу складено по глибині різнорідними ґрунтами, представленими в матеріалах інженерно-геологічних вишукувань інженерно-геологічними елементами (ІГЕ).

Метод пошарового підсумовування дозволяє враховувати різнорідність ґрунтового масиву по глибині. В основі методу лежить підсумовування осідань елементарних шарів від дії додаткових напружень. При цьому розподіл додаткових напружень в ґрунтовому масиві приймається відповідно до моделі що лінійно деформується з півпростором.

Додатковими напруженнями називають напруження в ґрунтовому масиві від дії зовнішнього навантаження.

Розрахунок осадок основ за методом пошарового підсумовування проводиться відповідно до рекомендацій ДБН В.2.1-10: 2018 Основи і фундаменти будівель та споруд».

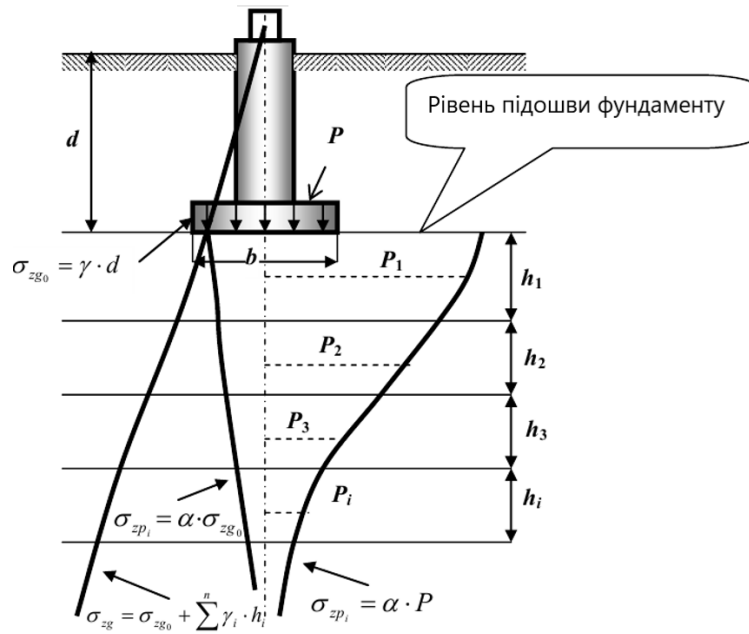


Рис. 5.11. Розрахункова схема до методу пошарового підсумовування

Порядок розрахунку

1. Будуємо розрахункову схему.
2. Розбиваємо ґрунтовий масив нижче підшви фундаменту шириною b на елементарні шари, виходячи з таких умов:

- потужність будь-якого елементарного шару $\Delta h_i \leq 0,4 b$;
- шари повинні бути однорідними за своїми властивостями.

3. Будуємо епюру природних тисків:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg0} + \sum_i^n \gamma_i \cdot h_i, \quad (5.15)$$

де γ_i – питома вага ґрунту i -го шару;

h_i – товщина (потужність) i -го шару ґрунту; $\sigma_{zg0} = \gamma' \cdot d$,

де γ' – питома вага ґрунту вище підшви фундаменту;

d – глибина закладення фундаменту.

Природні тиски визначаються на границях елементарних шарів.

4. Будуємо епюру додаткових вертикальних напружень від фундаменту і обчислюємо епюру додаткових вертикальних напружень власної ваги обраної при викопуванні котловану ґрунту.

Значення напружень визначаються на границях елементарних шарів. Початок епюри тисків від рівня підшви

$$\sigma_{zpi} = \alpha \cdot P, \quad \sigma_{z\gamma i} = \alpha \cdot \sigma_{zg0}, \quad (5.16)$$

где $P = (\sum N_{II} + \sigma_{\phi II} + \sigma_{zp II}) / A$ – середній тиск під підшвою фундаменту;

N_{II} – вертикальне навантаження на фундамент;

$\sigma_{\phi II}$ – вага фундаменту;

$\sigma_{zp II}$ – вага ґрунту на уступах фундаменту;

$\alpha = f(\eta = l / b, \quad \xi = 2z / b)$ – коефіцієнт, що враховує спадання з глибиною додаткових тисків (табл. А.1, дод. А).

5. Визначаємо нижню межу стисливої товщі, яка знаходиться на такій глибині від підшви фундаменту, на якій виконується умова $\sigma_{zp} \leq 0,5\sigma_{zg}$

При цьому глибина стисливої товщі не повинна бути менше $H_{\min}$, рівною $b/2$ при $b \leq 10$ м, $(4 + 0,1b)$ при $b \leq 60$ м и 10 м при $b > 60$ м. Якщо в межах глибини H_c , знайденої за вказаними вище умовами, залягає шар ґрунту з модулем деформації $E > 100$ МПа, стисливу товщу допускається приймати до покрівлі цього ґрунту. Якщо знайдена за вказаними вище умовами нижня межа стисливої товщі знаходиться в шарі ґрунту з модулем деформації $E \leq 7$ МПа або такий шар залягає безпосередньо нижче глибини $z = H_c$, то цей шар включають в стисливу товщу, а за H_c приймають мінімальне зі значень, відповідних підшві шару або глибині, де виконується умова $\sigma_{zp} \leq 0,2\sigma_{zg}$.

6. Визначаємо осадку основи в межах стиснутої товщі:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zpi}^{cp} - \sigma_{z\gamma i}) \cdot \Delta h_i}{E_i}, \quad (5.17)$$

де $\beta = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує бічне розширення ґрунту;

n – кількість елементарних шарів, які увійшли в стисливу товщу;

Δh_i – потужність відповідного елементарного шару, м;

E_i – модуль деформації відповідного елементарного шару, кПа;

σ_{zpi}^{cp} – додатковий вертикальний тиск від споруди в середині елементарного шару, кПа.

7. Перевіряємо умову $S < S_U$.

5.9. Розрахунок основ фундаментів мілкого закладання за несучою здатністю

Розрахунок основ по несучій здатності виконується з метою перевірки міцності і стійкості основи від дії розрахункових навантажень. Втрата стійкості основи може супроводжуватися як поворотом фундаменту, так і зрушенням по підшві і навіть його перекиданням (рис. 5.12 а, б, в), що неприпустимо з умов роботи надземних конструкцій.

Втрата основою стійкості настає при вичерпанні міцності ґрунту основи в масиві, що оточує фундамент. Математично це характеризується виконанням умови міцності Мора-Кулона, а фізично випиранням ґрунту на поверхню основи.

Розрахунок основ по несучій здатності полягає в обмеженні величини зовнішнього навантаження виходячи з умови:

$$F \leq \frac{\gamma_c \cdot F_u}{\gamma_n}, \quad (5.18)$$

де F – розрахункове навантаження на основу;

F_u – граничний опір основи;

γ_c – коефіцієнт умов роботи, який в залежності від виду ґрунту змінюється від 0,8 до 1,0;

γ_n – коефіцієнт надійності, що залежить від типу будинку чи споруди.

Сили F і F_u мають однаковий напрямок дії.

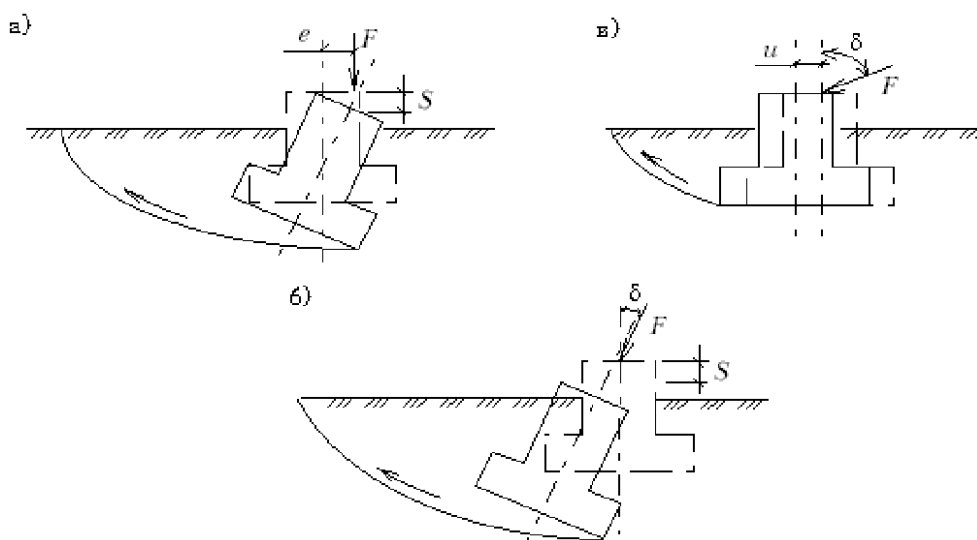


Рис. 5.12. Можливі схеми втрати стійкості основою: а – осідання фундаменту з поворотом; б – осідання фундаменту з поворотом і зміщенням; в – зсув фундаменту по підшві

Вертикальна складова сили граничного опору основи, складеної скельними ґрунтами, обчислюється за формулою:

$$N_u = R_c \cdot b' \cdot l', \quad (5.19)$$

де R_c – розрахункове значення межі міцності на одновісний стиск скельного ґрунту;
 b' і l' – відповідно наведені ширина і довжина фундаменту.

Основи стрічкових фундаментів перевіряються на стійкість тільки в напрямку короткої сторони (ширини) фундаменту, а прямокутного, квадратного і круглого – в напрямку дії моменту.

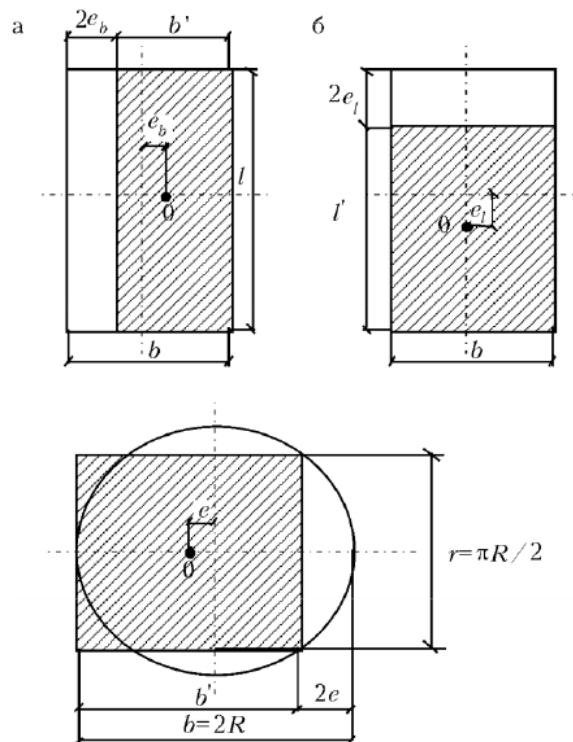


Рис. 5.13. Схеми для визначення наведених розмірів підшви фундаменту:
а – прямокутного; б – круглого

Наведені розміри підшви фундаменту при відцентровому навантаженні визначаються з умови, що рівнодіюча тисків по підшві прикладена в центрі ваги площі підшви. Підшва фундаменту складного обрису повинна при цьому приводитися до еквівалентної по площі підшві фундаменту прямокутної форми. Для круглого фундаменту еквівалентної формою буде квадрат, а наведеної – прямокутник (рис. 5.13).

Вертикальну складову сили граничного опору основи, складеної нескельними ґрунтами в стабілізованому стані N_u , визначають, якщо фундамент має плоску

підшви і ґрунти основи нижче підшви однорідні до глибини не менше її ширини, а в разі різної вертикальної пригрузки з різних сторін фундаменту (рис. 5.14) інтенсивність більшої з них не перевищує $0,5 \cdot R$ за формулою:

$$N_u = b'l'(N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I + N_q \xi_q \gamma'_I d + N_c \xi_c c_I), \quad (5.20)$$

де b' і l' – наведені ширина і довжина фундаменту (рис. 2.13);

N_γ , N_q , N_c – безрозмірні коефіцієнти несучої здатності, що визначаються залежно від розрахункового значення кута внутрішнього тертя ґрунту і кута нахилу до вертикалі рівнодіючої зовнішнього навантаження на основу в рівні підшви фундаменту;

γ_I и γ'_I – розрахункові значення питомої ваги ґрунтів, що знаходяться в межах можливої призми випирання відповідно нижче і вище підшви фундаменту;

c_I – розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту;

d – глибина закладення фундаменту (в разі неоднакової вертикальної пригрузки з різних сторін фундаменту приймається значення d , відповідне найменшій пригрузці);

ξ_γ , ξ_q , ξ_c – коефіцієнти форми фундаменту, які визначаються за формулами:

$$\xi_\gamma = 1 - \frac{0,25}{\eta}; \quad \xi_q = 1 + \frac{1,5}{\eta}; \quad \xi_c = 1 + \frac{0,3}{\eta}. \quad (5.21)$$

Тет $\eta = l / b$; l и b – відповідно довжина і ширина підшви фундаменту, що приймаються в разі позacentрового прикладання рівнодіючої навантаження рівними наведеним значенням b' і l' .

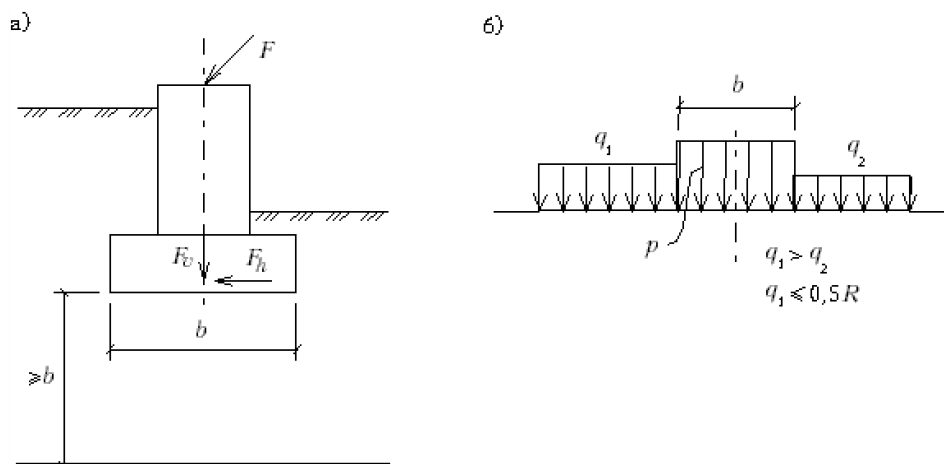


Рис. 5.14. Визначення граничного опору ґрунту основи: а – схема навантаження фундаменту; б – розрахункова схема

Кут нахилу до вертикалі рівнодіючої зовнішнього навантаження на основу визначається з умови:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{F_h}{F_v}, \quad (5.22)$$

де F_h і F_v – відповідно горизонтальна і вертикальна складові зовнішнього навантаження на підставу F в рівні підшви фундаменту.

Розрахунок за формулою (5.17) допускається виконувати, якщо дотримується умова:

$$\operatorname{tg} \delta < \sin \varphi_I. \quad (5.23)$$

Якщо ця умова не виконується, то розрахунок основи по несучій здатності слід виконувати з урахуванням зсуву фундаменту по підшві, тобто використовувати інше рішення.

Розрахунок фундаменту на зрушення по підшві проводиться виходячи з умови:

$$\sum F_{s,a} \leq \frac{\gamma_c \cdot \sum F_{s,\gamma}}{\gamma_n}, \quad (5.24)$$

де $\sum F_{s,a}$ і $\sum F_{s,\gamma}$ – суми проекцій на площину ковзання відповідно розрахункових зсувних та утримуючих сил, які визначаються з урахуванням активного і пасивного тиску ґрунту на бічні грані фундаменту; γ_c і γ_n – ті ж, що і у формулі (5.15).

Сума сил, що утримують визначається з виразу:

$$\sum F_{s,\gamma} = (F_v - U) \operatorname{tg} \varphi_I + A c_I + E_p, \quad (5.25)$$

а сума сил, що зрушуються дорівнює:

$$\sum F_{s,a} = F_h + E_a, \quad (5.26)$$

де F_v – нормальна до площини ковзання складова розрахункового навантаження на фундамент (рис. 5.15);

U – гідростатичний протитиск (при рівні ґрунтових вод вище підшви фундаменту);

A – площа підшви фундаменту;

F_h – дотична до площини ковзання складова навантаження на фундамент;

E_p і E_a – рівнодіючі пасивного і активного тиску ґрунту.

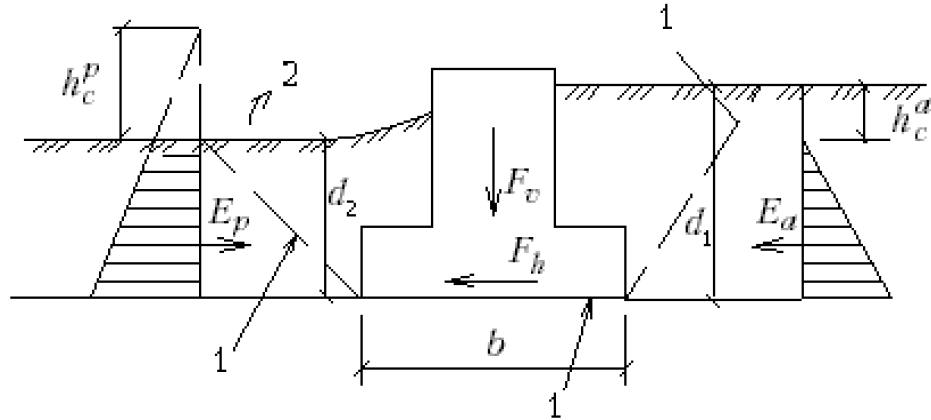


Рис. 5.15. Схема до розрахунку фундаменту на зрушення по підшві: 1 – поверхня зсуву; 2 – напрямок випору ґрунту

Рівнодіюча пасивного тиску ґрунту на вертикальну грань фундаменту становить:

$$E_p = \frac{\gamma_I \lambda_p d_2}{2} \left(d_2 + 2 \frac{2c_I}{\gamma_I \sqrt{\lambda_p}} \right) = \frac{\gamma_I d_2}{2 \lambda_a} \left(d_2 + 2 \frac{2c_I}{\gamma_I} \sqrt{\lambda_a} \right). \quad (5.27)$$

Рівнодіюча активного тиску:

$$E_a = \frac{\gamma_I \lambda_a d_2}{2} (d_1 + h_c^a) = \frac{\gamma_I \lambda_a d_1}{2} \left(d_1 - \frac{2c_I}{\gamma_I \sqrt{\lambda_a}} \right), \quad (5.28)$$

де d_2 – глибина закладення фундаменту з боку можливого випору ґрунту;

λ_p – коефіцієнт пасивного тиску ґрунту:

$$\lambda_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_I}{2} \right) = \frac{1 + \sin \varphi_I}{1 - \sin \varphi_I}; \quad (5.29)$$

d_1 – глибина закладення фундаменту з боку протилежного можливого випору ґрунту вгору;

λ_a – коефіцієнт активного тиску ґрунту:

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_I}{2} \right) = \frac{1 - \sin \varphi_I}{1 + \sin \varphi_I} = \frac{1}{\lambda_p}. \quad (5.30)$$

Величини наведених висот за рахунок впливу зчеплення в ґрунті:

$$h_c = \frac{2c_l}{\gamma_l \sqrt{\lambda_a}}; \quad h_c^p = \frac{2c_l}{\gamma_l} \cdot \sqrt{\lambda_a} = \frac{2c_l}{\gamma_l \sqrt{\lambda_p}}. \quad (5.31)$$

У ряді випадків для більшої безпеки в формулі для пасивного тиску h_c^p не враховується, тобто вважається, що $h_c^p = 0$.

Фундаменти з похилою підшоною застосовуються замість фундаментів з горизонтальною підшоною в тих випадках, коли для останніх не виконується умова (5.24).

При визначенні граничного опору основи фундаментів з похилою підшоною застосовують формулу 5.20, але що входять в формулу коефіцієнти N_γ , N_q , N_c визначаються з урахуванням кута α нахилу підшови фундаменту до горизонту.

Графоаналітичні методи розрахунку несучої здатності застосовуються в тих випадках, коли відсутні аналітичні рішення. Одним з таких методів є метод круглоциліндричних поверхонь ковзання.

Цей метод використовується у випадках, якщо:

- основа складена неоднорідними ґрунтами;
- пригрузка з боку протилежного можливого випору ґрунту основи більше $0,5R$;
- фундаменти розташовані на схилі, поблизу укосу або під схилом.

Розрахунок несучої здатності однорідних основ виконується з використанням аналітичних рішень по формулі (5.20).

У всіх інших випадках, у тому числі і для багат шарових основ, використовуються інженерні методи розрахунку, одним з яких є метод круглоциліндричних поверхонь ковзання.

Метод круглоциліндричних поверхонь ковзання застосовується тільки для випадків похилої рівнодіючої навантаження на фундаменти або при центральному навантаженні, але з розташуванням фундаменту на схилі.

Якщо на фундамент діє вертикальне навантаження, а основу складено двома шарами з згодним нашаруванням, то визначати несучу здатність рекомендується наступним чином.

При розрахунку двошарової основи (рис. 5.16) сила граничного опору основи стрічкового фундаменту визначається за формулою:

$$N_u = 0,5b^2 \cdot l \cdot \gamma_I \cdot N_{1,2}, \quad (5.32)$$

де $N_{1,2}$ – коефіцієнт несучої здатності, що залежить від H/b і $\frac{c_I}{\gamma_I \cdot b}$.

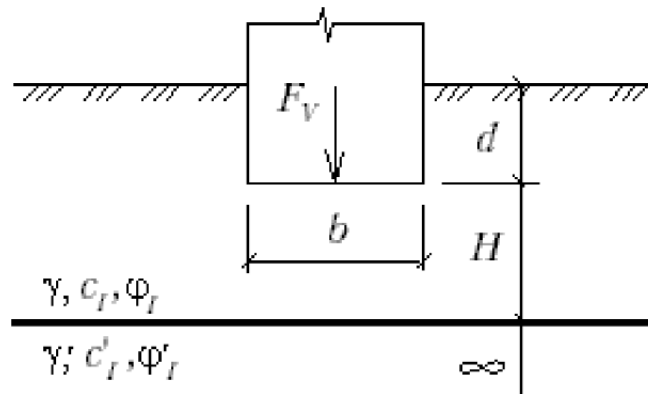


Рис. 5.16. До розрахунку несучої здатності двошарової основи

Питання до самоперевірки:

1. Які фундаменти відносяться до фундаментів мілкового закладення?
2. Як матеріали застосовуються для фундаментів?
3. Основні типи фундаментів мілкового закладення?
4. Порядок проектування фундаментів мілкового закладення.
5. Як вибирати мінімальну глибину закладення фундаментів?
6. Конструктивні особливості зведення будинків і споруд.
7. Визначення розрахункового опору ґрунтів основи.
8. Принцип розрахунку розмірів підшви фундаменту при наявності підвалу.
9. Принцип розрахунку осідання фундаментів мілкового закладення методом пошарового підсумовування.
10. Принцип і мета розрахунку основ по несучій здатності.

ВИСНОВКИ

Проектування основ і фундаментів є комплексним процесом, який передбачає облік значної кількості різних факторів.

Вибір найбільш оптимального рішення здійснюється, як правило, при техніко-економічному порівнянні різних варіантів влаштування основ і фундаментів, які проводяться за такими показниками: економічної ефективності; матеріаломісткості; термінами виконання робіт; величинам граничної і відносної нерівномірності осідань; можливості виконання робіт в зимовий час; трудомісткості виконання робіт при розробці котлованів (водозниження, кріплення стінок котловану тощо).

Дисципліна «Основи та фундаменти» знаходиться в постійному розвитку, удосконалюються методи розрахунку і проектування як нових фундаментів, так і фундаментів будівель, які потребують реконструкції.

Також удосконалюються і системи автоматизованого проектування основ і фундаментів. В даний час системи автоматизованого проектування дозволяють враховувати мінливість параметрів ґрунту в межах усього майданчика будівництва, а також розраховувати фундаменти з урахуванням роботи конструкцій усього будинку. Однак при проектуванні не варто забувати, що жодна програма не може претендувати на універсальність і безпомилковість. Тому сучасний студент обов'язково повинен володіти і «ручним розрахунком», що дозволяє уникнути появи завідомо неправильного результату при проектуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тютюкін О.Л., Купрій В.П., Дубінчик О.І. Основи та фундаменти : навч. посіб. – Електрон. вид. – Дніпро : Український державний університет науки і технологій, 2022. – 280 с.
2. Крусь Ю.О. Основи та фундаменти: Практикум: навч. посібник. – Вид. 2-ге, перероб. та доп. – Рівне : НУВГП, 2019. – 247 с.
3. Парфентьєва І.О., Верешко О.В., Гусачук Д.А. Основи та фундаменти : навч. посіб. для студ. спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Луцьк : ЛНТУ, 2017. – 296 с.
4. Винников Ю.Л., Зоценко М.Л., Лартер М.О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : навч. посіб. – Полтава : ПолтНТУ, 2019. – 280 с.
5. Швець В.Б., Бойко І.П., Винников Ю.Л., Зоценко М.Л. та ін. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти : підручник. – Дніпро : Пороги, 2018. – 232 с.
6. Збірник наукових праць «Основи та фундаменти». – Київ : КНУБА, 2020–2024. – Випуски № 41–48.
7. Корнієнко М.В., Шаповал В.Г., Мірошніченко О.М. Палі та пальові фундаменти : навч. посіб. – Київ : КНУБА, 2020. – 196 с.

Нормативні документи

1. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.
2. ДБН А.2.1-1:2014 Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2.
4. ДСТУ ISO 14688-1:2021 Геотехнічні дослідження та випробування. Ідентифікація та класифікація ґрунтів. Частина 1. Ідентифікація та опис (ISO 14688-1:2017, IDT).
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.

6. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей.
7. ДСТУ ISO 14688-2:2021 Геотехнічні дослідження та випробування. Ідентифікація та класифікація ґрунтів. Частина 2. Класифікація (ISO 14688-2:2017, IDT).
8. ДБН В.1.1-12:2025 Будівництво у сейсмічних районах. Основні положення.
9. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
10. ДСТУ Б В.2.6-65:2008 Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні. Технічні умови.
11. ДСТУ Б В.2.6-116:2010 Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні складені квадратного перерізу з ненапруженою арматурою. Технічні умови.
12. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість.
13. ДБН В.1.1-45:2017 Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення.
14. ДСТУ-Н Б В.1.1-44:2016 Настанова щодо проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах.
15. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016 Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах.
16. ДБН А.1.1-94:2010 Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення. Зі Змінами № 1 та № 2.

Визначення коефіцієнта α

ζ	Коефіцієнт α для фундаментів							
	круглих	Прямокутних з відношенням сторін $\eta = l/b$						Стрічкових $\eta \geq 10$
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5,0	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,064	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106

Розрахунковий опір під нижнім кінцем забивних паль і паль-оболонок

Глибина занурення нижнього кінця палі, м	Розрахунковий опір під нижнім кінцем забивних паль і паль-оболонок, що занурюються без виїмки ґрунту, R , кПа						
	піщаних ґрунтів середньої щільності						
	гравелистих	крупних	–	середньої крупності	дрібних	пилюватих	–
	пилювато-глинистих ґрунтів при показнику текучості I_L , рівному						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	7500	6600	3000	3100	2000	1100	600
		4000		2000	1200		
4	8300	6800	3800	3200	2100	1250	700
		5100		2500	1600		
7	9700	7300	4300	3700	2400	1400	850
		6900		3300	2200		
10	10500	7700	5000	400	2600	1500	900
		7300		3500	2400		
15	11700	6200	5600	4400	2900	1650	1000
		7500		4000			
20	12600	8500	6200	4800	3200	1800	1100
				4500			
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200
30	14200	9500	7400	5600	3800	2100	1300
35	15000	10000	8000	6000	4100	2250	1400

Примітки: 1. Над рискою подані значення для піщаних ґрунтів, під рискою – для пилювато-глинистих.

2. Глибину занурення нижнього кінця палі і середню глибину розташування шару ґрунту в водоймі слід приймати від рівня дна після загального розмиву розрахунковим паводком.

3. Для щільних піщаних ґрунтів значення R збільшуються на 60%, але не більше ніж до 20000 кПа.

Коефіцієнти умов роботи ґрунту γ_{cr} і γ_{cf}

Способи занурення забивних паль і паль-оболонки, що занурюються без виїмки ґрунту і види ґрунтів	Коефіцієнти умов роботи ґрунту	
	під нижнім кінцем γ_{cr}	на бічній поверхні γ_{cf}
Занурення суцільних і порожнистих з закритим нижнім кінцем паль механічними, пароповітряними і дизельними молотами	1,0	1,0
Занурення забиванням і вдавленням в попередньо пробурені лідерні свердловини із заглибленням кінців паль не менше 1 м нижче забою свердловини при її діаметрі:		
а) що дорівнює стороні квадратної палі;	1,0	0,5
б) на 0,05 м менше сторони квадратної палі;	1,0	0,6
в) на 0,15 м менше сторони квадратної або діаметра палі круглого перетину (для опор ліній електромереж)	1,0	1,0
Занурення з підмивом в піщані ґрунти за умови добивання паль на останньому етапі занурення без застосування підмиву на 1 м і більше	1,0	0,9
Вібровання і вібровдавлення паль в ґрунти:		
а) піщані середньої щільності:		
крупні та середньої крупності	1,2	1,0
дрібні	1,1	1,0
пилюваті	1,0	1,0
б) пілювато-глинисті з показником плинності $I_L = 0,5$:		
супіски	0,9	0,9
суглинки	0,8	0,9
глини	0,7	0,9
в) пілювато-глинисті з показником плинності $I_L \leq 0$	1,0	1,0

Способи занурення забивних паль і паль-оболонки, що занурюються без виїмки ґрунту і види ґрунтів	Коефіцієнти умов роботи ґрунту	
	під нижнім кінцем γ_{cr}	на бічній поверхні γ_{cf}
Занурення молотами порожнистих залізобетонних паль з відкритим нижнім кінцем:		
а) при діаметрі порожнини палі менше 0,4 м	1,0	1,0
б) те саме, від 0,4 до 0,8 м	0,7	1,0
Занурення будь-яким способом порожнистих паль круглого перетину з закритим нижнім кінцем на глибину 10 м і більше з подальшим влаштуванням у нижньому кінці паль камуфлетного розширення в піщаних ґрунтах середньої щільності і в пілувато-глинистих ґрунтах з показником плинності $I_L \leq 0,5$ при діаметрі розширення, що дорівнює:		
а) 1,0 м незалежно від зазначених видів ґрунту;	0,9	1,0
б) 1,5 м в пісках і супісках;	0,8	1,0
в) 1,5 м в суглинках і глинах	0,7	1,0
Занурення вдавленням паль:		
а) в піски крупні, середньої крупності і дрібні	1,1	1,0
б) в піски пілуваті	1,1	0,8
в) в пілувато-глинисті ґрунти з показником текучості $I_L < 0,5$	1,1	1,0
г) те ж, $I_L \geq 0,5$	1,0	1,0
Примітка. Коефіцієнти γ_{cr} і γ_{cf} для пілувато-глинистих ґрунтів з показником плинності $0 < I_L < 0,5$ визначаються інтерполяцією.		

Розрахункові опори на бічній поверхні забивних паль і паль-оболонок

Середня глибина розташування шару ґрунту, м	Розрахункові опори на бічній поверхні забивних паль і паль-оболонок f_i , кПа								
	пісків середньої щільності								
	крупних і середньої крупності	дрібних	пилюватих	—	—	—	—	—	—
	пилювато-глинистих ґрунтів при показнику текучості I_L , рівному								
	$\leq 0,2$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	99	66	47	34	21	12	9	8	7
≥ 35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Примітки: 1. При визначенні розрахункових опорів ґрунтів на бічній поверхні паль пласти ґрунтів слід розчленовувати на однорідні шари не більше 2 м.

2. Значення розрахункового опору щільних піщаних ґрунтів на бічній поверхні паль f_i слід збільшувати на 30% в порівнянні зі значеннями, наведеними в таблиці Б.3.

3. Розрахункові опори супісків і суглинків з коефіцієнтом пористості $e < 0,5$ і глин з коефіцієнтом $e < 0,6$ слід збільшити на 15% в порівнянні зі значеннями, наведеними в таблиці Б.3, при будь-яких значеннях показника плинності.

Розрахункові коефіцієнти $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$

Коефіцієнти	Розрахункові значення кута внутрішнього тертя ґрунту φ_I , град								
	23	25	27	29	31	33	35	37	39
α_1	9,5	12,6	17,3	24,4	34,6	48,6	71,3	108,0	163,0
α_2	18,6	24,8	32,8	45,5	64,0	87,6	127,0	185,0	260,0
α_3 при h/d , рівному:									
4,0	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,87
5,0	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
7,5	0,68	0,70	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
10,0	0,62	0,65	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81
Коефіцієнти	Розрахункові значення кута внутрішнього тертя ґрунту φ_I , град								
	23	25	27	29	31	33	35	37	39
12,5	0,58	0,61	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80
15,0	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71	0,73	0,76	0,79
17,5	0,51	0,55	0,58	0,62	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78
20,0	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,68	0,72	0,75	0,78
22,5	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,67	0,71	0,74	0,77
25,0 і більше	0,44	0,49	0,54	0,59	0,63	0,67	0,70	0,74	0,77
α_4 при d , що дорівнює, м:									
0,8 і менше	0,34	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
4,0	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
Примітка. Для проміжних значень φ_I , h/d , d , і значення коефіцієнтів α_1 , α_2 , α_3 і α_4 визначають інтерполяцією									

Розрахунковий опір під нижнім кінцем набивних і бурових паль

Глибина закладення нижнього кінця палі h , м	Розрахунковий опір R , кПа, під нижнім кінцем набивних і бурових паль з розширенням і без розширення і паль-оболонки, що занурюються з виїмкою ґрунту і заповнюваних бетоном, при глинистих ґрунтах, за винятком просадних, з показником плинності I_L , рівним						
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	850	750	650	500	400	300	250
5	1000	850	750	650	500	400	350
7	1150	1000	850	750	600	500	450
10	1350	1200	1050	950	800	700	600
12	1550	1400	1250	1100	950	800	700
15	1800	1650	1500	1300	1100	1000	800
18	2100	1900	1700	1500	1300	1150	950
20	2300	2100	1900	1650	1450	1250	1050
30	3300	3000	2600	2300	2000	—	—
40	4500	4000	3500	3000	2500	—	—

Примітка. Для пальових фундаментів опор мостів значення, наведені в таблиці, слід:

а) підвищувати (при розташуванні опор у водоймі) на величину, рівну $1,5 \gamma_w h_w$, де γ_w – питома вага води – 10 кН/м; h_w – глибина шару води у водоймі від її рівня при розрахунковому паводку до рівня дна водойми, а при можливості розмиву – до рівня дна після загального розмиву;

б) знижувати при коефіцієнті пористості ґрунту $e > 0,6$, при цьому коефіцієнт зниження m слід визначати інтерполяцією між значеннями $m = 10$ при $e = 0,6$ і $m = 0,6$ при $e = 1,1$

Коефіцієнт умов роботи палі

Палі і способи їх влаштування	Коефіцієнт умов роботи палі γ_{cf}			
	в пісках	в супісках	в суглинках	в глинах
1. Набивні при забиванні інвентарної труби з наконечником	0,8	0,8	0,8	0,7
2. Набивні віброштамповані	0,9	0,9	0,9	0,9
3. Бурові, в тому числі з розширенням, бетоновані:				
а) при відсутності води в свердловині (сухим способом), а також при використанні обсадних інвентарних труб;	0,7	0,7	0,7	0,6
б) під водою або під глинистим розчином;	0,6	0,6	0,6	0,6
в) жорсткими бетонними сумішами, що укладаються за допомогою глибинної вібрації (сухим способом)	0,8	0,8	0,8	0,7
4. Бурунабивні, порожнисті круглі, що влаштовуються при відсутності води в свердловині за допомогою вібросердечника	0,8	0,8	0,8	0,7
5. Палі-оболонки, що занурюються вібрацією з виїмкою ґрунту	1,0	0,9	0,7	0,6
6. Палі-стовпи	0,7	0,7	0,7	0,6
7. Буроін'єкційні, виготовлені під захистом обсадних труб або бетонного розчину з обпресуванням тиском	0,9	0,8	0,8	0,8

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Основи та фундаменти»

Частина 1.

*(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G19 Будівництво та цивільна інженерія)*

(Електронне видання)

Укладачі: БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович
ТАТАРЧЕНКО Галина Олегівна
БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна

Оригінал - макет Н.І. Білошицька

Підписано до друку _____

Формат 60×84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнитура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Обл.-вид.арк. _____.

Тираж ____ прим. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218
04 78, факс (064 52) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com