

Тема 2. ОСНОВИ І ФУНДАМЕНТИ НА ТЕРИТОРІЯХ З ПРОСАДКОВИМИ ГРУНТАМИ

Мета вивчення теми. Засвоїти засади механіки просадкових ґрунтів та особливості проектування основ і фундаментів на територіях з цими ґрунтами.

Питання для вивчення

- 2.1. Загальне уявлення про просадкові ґрунти.*
- 2.2. Методи визначення просадкових властивостей ґрунтів.*
- 2.3. Джерела додаткового зволоження ґрунтів, їх розрахункова вологість.*
- 2.4. Типи ґрунтових умов за величиною просідання.*
- 2.5. Особливості розрахунків основ фундаментів на просадкових ґрунтах.*
- 2.6. Принципи будівництва на просадкових ґрунтах.*

2.1. На території України схильними до просідання є так звані лесові ґрунти. Товщі лесових ґрунтів утворилися в умовах сухого холодного клімату внаслідок відкладення і накопичення пилуватих і глинистих частинок, перенесених вітром з пустель та інших подібних регіонів з недостатньою рослинністю, розвіювання та перевідкладення продуктів звітрення. У процесі накопичення матеріалу в ґрунтових товщах відбулася слабка цементация мінеральних пилуватих частинок переважно вуглекислим кальцієм та деякими іншими водорозчинними солями. У той же час відмираючі рослини зумовили наявність в лесових ґрунтах досить великих пор – так званих макропор. Унаслідок цього лес – високопориста порода. Колір лесу – палевий та палевоподібний. Лес має своєрідну властивість: при підвищенні вологості під впливом дії навантаження він зменшується в об'ємі і просідає внаслідок руйнування структури і зменшення пористості. Це ускладнює роботу зведених на товщах лесу будівель. На території України леси залягають майже повсюди, за винятком Полісся, Карпат і Закарпаття, північно-західної частини Львівської області. Разом з тим варто зазначити, що не всюди леси схильні до просідання. А якщо дослідження підтвердять, що леей можуть просідати, то існує чимало перевірених практикою методів, за допомогою яких уникають негативних наслідків будівництва на територіях з просадковими ґрунтами.

У першому наближенні лесові ґрунти на території України відносять до лесових просадкових за такими типовими ознаками:

- густина сухого ґрунту $\rho_d < 1.5 \text{ т/м}^3$;
- ступінь вологості $S_r < 0.6$;
- вологість на межі плинності $W_L < 0.30$;
- вміст фракцій пилу **70 %** і більше;
- тривалість розмокання менша 3 хвилин.

Якщо зазначені умови задовільняються, то додатково обчислюють ще показник I_{ss} за формулою:

$$I_{ss} = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (2.1)$$

де e – коефіцієнт пористості ґрунту в природному стані;

e_L – коефіцієнт пористості ґрунту при вологості на межі плинності, який визначається за виразом:

$$e_L = \frac{W_L \rho_s}{\rho_w}, \quad (2.2)$$

тут ρ_s , і ρ_w – густина твердої частини ґрунту і води відповідно;

W_L – вологість ґрунту на межі плинності.

Якщо визначене значення показника не перевищує **0,10** (для ґрунтів з числом пластичності в межах **0,01 < I_p < 0,10**), **0,17** (**0,10 < I_p < 0,14**), **0,24** (**0,14 < I_p < 0,22**), і, разом з цим, ступінь вологості $S_r < 0,80$, то ґрунти відносять до схильних до просідання, їх в такому разі треба дослідити ретельніше експериментальним випробуванням.

2.2. Експериментальні дослідження лесових просадкових ґрунтів виконують в лабораторних умовах і в певних випадках у польових умовах. Основними завданнями цих досліджень є визначення наступних характеристик просадковості ґрунтів:

- відносна просадковість ξ_{sl} ;
- початковий тиск просідання p_{sl} ;
- початкова вологість просідання W_{sl} ;

Відносна просадковість визначається за даними випробування лесових ґрунтів у лабораторних умовах на компресійних приладах при повному водонасиченні проби.

$$\xi_{sl} = \frac{h_{np} - h_{sat,p}}{h_{ng}}, \quad (2.3)$$

тут σ_{zp} , – нормальне вертикальне напруження, що розвиватиметься в де h_{np} – висота проби ґрунту природної вологості при дії на неї вертикального тиску, що дорівнює:

$$p = \sigma_{zp} + \sigma_{zg}, \quad (2.4)$$

ґрунтовій товщі після спорудження будівлі на глибині, з якої взято пробу;

σ_{zg} – нормальне вертикальне напруження від власної ваги ґрунту на глибині, з якої взято пробу;

$h_{sat,p}$ – висота тої ж проби ґрунту після водонасичення при тиску p ;

h_{ng} – висота тої ж проби ґрунту природної вологості при дії на неї тиску $p = \sigma_{zg}$.

Ґрунт вважається просадковим, якщо $\xi_{sl} \geq 0,01$.

Початковий тиск просідання p_{sl} є найменшим тиском, при якому починає просідати ґрунт при повному його водонасиченні. За даними лабораторних досліджень ґрунту початковий тиск просідання відповідає тому тискові, при якому відносна просадковість $\xi_{sl} = 0,01$. За даними польових досліджень шляхом випробування водонасичених ґрунтів штампами p_{sl} дорівнює тому тискові, при якому ще можна вважати, що графік $S=f(p)$ є прямопропорціональний. У польових умовах початковий тиск просідання має визначатися шляхом дослідного замочування котловану з замірюванням вертикальних переміщень глибинних марок. Такий дослід дозволяє визначити глибину, з якої спостерігатиметься просідання під впливом власної ваги водонасиченого ґрунту. Визначивши тиск від власної ваги, будемо мати початковий тиск просідання.

Початкова вологість просідання w_{sl} є найменшою вологістю, при якій починає просідати ґрунт при передачі на нього вертикального тиску p .

Початкову вологість визначають, проводячи дослідження в лабораторних умовах на компресійних приладах.

2.3. Просадковість досить сухих лесових ґрунтів може проявитися лише при збільшенні їх вологості. Зважаючи на це, розглянемо питання про можливі джерела надходження води в ґрунтові масиви та про розрахункову вологість ґрунтів при проектуванні основ.

Причинами надходження води і підвищення вологості масивів лесових ґрунтів можуть бути:

- місцеве зволоження, що має випадковий характер і виникає, наприклад, при порушенні вимощення навколо будівлі, протікання водонесучих комунікацій (каналізації, водогону, тепломереж тощо). При місцевому зволоженні ширина джерела зволоження суттєво менша за глибину залягання просадкових ґрунтів, тобто $B_w < H_{sl}$, при цьому в ґрунті утворюється зволожена зона, що має в поперечному перерізі форму зрізаного зверху еліпса. У цій зоні ступінь вологості ґрунту біля джерела зволоження близька до одиниці, а ближче до меж зони зменшується і безпосередньо на межі наближається до ступеню природної вологості ґрунту;

- інтенсивне зволоження ґрунту зверху з водонасиченням цієї просадкової товщі (при $B_w > H_{sl}$). Зволожена зона в даному випадку обширна і має в поперечному перерізі форму трапеції з шириною основи $B_w + 2H_{sl} \operatorname{tg}\beta$,

де H_{sl} – глибина водонасичених лесових ґрунтів;

β – кут нахилу до вертикалі бічних площин зони зволоження, для лесових ґрунтів і лесоподібних супісків $\beta = 30^\circ$, для лесоподібних суглинків $\beta = 50^\circ$;

- підняття рівня ґрунтових вод на значній площі внаслідок просочування на суміжних спорудах технологічних і стічних вод, фільтрації води від розташованих поблизу водосховищ, зрошення на прилеглих територіях та впливу інших чинників. При цьому відбувається підняття зони капілярного підвищення вологості, у межах якої ступінь вологості змінюється від природної до повного водонасичення;

- поступове підвищення вологості ґрунтів на забудованих і

заасфальтованих територіях, а також при влаштуванні насипів на ділянках, складених досить сухими ґрунтами зі ступенем вологості $S_r < 0,5$. У такому разі вологість ґрунту поступово підвищується до W_p , тобто до вологості на межі пластичності.

- можливе також поєднання зазначених вище причин.

При розрахунках основ, складених лесовими просадковими ґрунтами приймають вологість цих ґрунтів такою:

- при неможливості надходження води в ґрунти основи і при вологості ґрунтів $W < W_p$ вважають $W = W_p$, якщо $W \geq W_p$ то припускають, що вологість не зміниться;

- при можливості повного замокання вологість ґрунтів досягає $W_{sat} = \frac{e\rho_s}{s\rho_w}$,

де e – коефіцієнт пористості ґрунту;

S_r – ступінь вологості водонасиченого ґрунту, що дорівнює 0.8-1,0;

ρ_s і ρ_w – густина твердої частини ґрунту і води відповідно.

2.4. При зволоженні лесових високопористих ґрунтів вище початкової вологості просідання при дії тиску, що перевищує початковий тиск просідання, руйнується структура внаслідок ламання зв'язків між мінеральними частинами. Звернемо увагу на те, що вертикальний тиск може розвинутися внаслідок як ваги будівлі, так і вищерозташованої товщі ґрунтів.

Отже, розвиток просідання ґрунтів по глибині характеризується в загальному випадку наявністю трьох зон:

- перша, яка формується під подошвою фундаментів унаслідок просідання від тиску, що виникає від ваги будівлі і ваги ґрунту;

- друга, яку можна назвати нейтральною, бо в ній ґрунт не буде просідати;

- третя, сама нижня, в якій просідання відбувається від ваги вищерозташованої товщі ґрунтів.

Ґрунтові умови ділянок, складених лесовими просадковими ґрунтами, залежно від можливості прояву просідання ґрунтів у третій зоні розподіляють на два типи, а саме:

перший тип - ґрунтові умови, в яких можливе в основному просідання ґрунтів від ваги будівлі, а просідання від ваги вищерозташованої товщі або не проявляється, або, якщо воно є, то не перевищує 5 см;

другий тип - ґрунтові умови, в яких, крім просідання від ваги будівлі розвивається просідання від ваги ґрунту, при чому воно перевищує 5 см.

На території України переважають ділянки з ґрунтовими умовами першого типу. Вони зустрічаються у Львівській, Волинській, Рівненській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Закарпатській, Хмельницькій областях. У межах Київської, Кіровоградської, Кримської, Черкаської областей наявні ділянки як з першим, так і другим типом ґрунтових умов, при чому просідання від власної ваги ґрунтів у останніх сягає 20-25 см. У Дніпропетровській, Запорізькій, Херсонській, Миколаївській та Одеській областях домінують ділянки з другим типом ґрунтових умов, у яких просідання від власної ваги ґрунтів може складати до 1 м.

2.5. У першому наближенні проектування основ і фундаментів ведуть таким же чином, як у звичайних ґрунтах з урахуванням певних особливостей у такій послідовності.

1. Призначають глибину закладення фундаментів у ґрунт.
2. Визначають потрібні розміри підшви фундаментів з тим, щоб задовільнилися відомі умови:

$$p \leq R, \quad (2.5)$$

$$p_{\max} \leq 1,2R, \quad (2.6)$$

де p і p_{\max} – середнє і максимальнє значення вертикального тиску відповідно;

R – розрахунковий опір лесового ґрунту при розрахунковій вологості.

3. Обчислюють абсолютне або середнє осідання основи та його нерівномірність.
4. Обчислюють абсолютне або середнє просідання основи та його нерівномірність.
5. Знаходять сумарні величини деформацій основи (осідання й просідання).
6. Визначають гранично допустимі деформації основи для будівлі, що проектується.
7. Якщо сумарні величини деформацій не перевищують допустимих для даної будівлі, проектують звичні фундаменти на природній основі.
8. Якщо сумарні величини деформацій основи перевищують гранично допустимі значення, передбачають заходи щодо зменшення можливого просідання, або будівлю розраховують на можливі нерівномірні деформації основи.

При визначенні просідання ґрунтів основи при інтенсивному зволоженні площі зверху або при піднятті рівня підземних вод користуються формулою:

$$S_{sl} = \sum_{i=1}^n \xi_{sl,i} h_i K_{sl,i}, \quad (2.7)$$

де $\xi_{sl,i}$ – відносна просадковість i -го шару ґрунту;

h_i – грубизна i -го шару;

n – кількість шарів;

$K_{sl,i}$ – коефіцієнт, значення якого приймають рівним одиниці при ширині подошви $b > 12$ м, при $b < 3$ м обчислюють за формулою:

$$K_{sl,i} = 0,5 + \frac{1,5(p - p_{sl,i})}{p_0}, \quad (2.8)$$

тут p – середнє значення вертикального тиску під подошвою фундаментів;

p_{s1} – початковий тиск просідання ґрунту i -го шару;

p_0 – тиск, що дорівнює 100 кПа.

Якщо $3m < b < 12m$, то $k_{s1,i}$ визначають за лінійною екстраполяцією між значеннями, отриманими для $b = 3m$ і $b = 12m$.

Як було зазначено, в кінцевому рахунку необхідно перевірити виконання умови:

$$S + S_{s1} \leq S_u, \quad (2.9)$$

де S – деформації осідання основи;

S_{s1} – деформації просідання основи;

S_u – гранично допустимі деформації основи будівлі, що проектується.

Якщо зазначена умова (2.9) не виконується, то треба виконати заходи, які унеможливають просідання основи або хоча б зменшать її до допустимих меж.

2.6. Для того, щоб уникнути негативних наслідків просідання ґрунтів при можливості їх водонасичення, треба скористатися одним з трьох принципів:

— усунення просадкових властивостей ґрунтів у межах усїєї просадкової товщі, або хоча б у межах верхньої частини цієї товщі;

— прорізання просадкової товщі глибокими фундаментами, зокрема пальовими і масивами з закріпленого ґрунту;

— застосування комплексу заходів, який охоплює часткове усунення просадкових властивостей ґрунтів, водозахисні та конструктивні міроприємства.

У ґрунтових умовах II типу окрім усунення просадкових властивостей ґрунтів чи прорізання просадкової товщі глибокими фундаментами треба додатково застосовувати водозахисні заходи, а також відповідну компоновку генерального плану.

Усунення просадкових властивостей ґрунтів досягається:

– в межах першої (верхньої) зони просідання або її частини шляхом ущільнення важкими трамбівками, влаштування ґрунтових подушок,

втрамбування котлованів, у тому числі з улаштуванням ядра з жорстких матеріалів, хімічного або термічного закріплення ґрунтів;

– у межах усієї просадкової товщі шляхом глибинного ущільнення ґрунтовими палями, попереднього водонасичення ґрунтів основи, в тому числі з застосуванням глибинних вибухів, хімічного і термічного закріплення.

При проектуванні глибоких фундаментів, зокрема палювих, треба враховувати:

- у ґрунтових умовах першого типу опір ґрунту розрахункової вологості на бічній поверхні фундаменту;

- у ґрунтових умовах другого типу негативне тертя ґрунту на бічній поверхні, що виникає при просіданні від власної ваги ґрунтової товщі. Розрахункова вологість ґрунту при визначенні опору ґрунту при неможливості його водонасичення приймається природною (якщо $w > w_p$), або рівною w_p (якщо $w \leq w_p$). Якщо водонасичення ґрунтів можливе, то значення опору приймають таким, який відповідає показникові плинності

$$I_L = \frac{0,9e\gamma_w - W_p}{\gamma_s (W_L - W_p)}, \quad (2.10)$$

де e – коефіцієнт пористості ґрунту природної вологості;

γ_w і γ_s - питома вага води і твердих частинок ґрунту відповідно;

w_p і w_L вологість ґрунту на межі пластичності та плинності відповідно.

Якщо за формулою (2.10) $I_L > 0,4$, то треба прийняти $I_L = 0,4$. Негативну силу тертя ґрунту у водонасиченому стані можна визначити за формулою:

$$p_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i h_i, \quad (2.11)$$

де u – периметр поперечного перерізу палі;

h_{sl} – розрахункова глибина, до якої враховують дію сил негативного тертя, умовно приймають на рівні, де значення просідання від власної ваги ґрунту дорівнює 5 см;

h_i – грубизна i -го шару просадкового ґрунту в межах h_{sl} ;

τ_i – розрахунковий опір, який до глибини 6 м визначається за формулою

$$\tau_i = \xi \sigma_{zg} \operatorname{tg} \varphi_1 + c_1, \quad (2.12)$$

тут ξ – коефіцієнт бічного тиску, який приймають рівним 0,7;

σ_{zg} – нормальне вертикальне напруження, спричинене вагою вищерозташованої товщі ґрунту;

φ , c – розрахункові значення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту.

На глибинах 6 м $< h < H_{sl}$ значення τ_i – приймаються постійними, які дорівнюють τ_i на глибині 6 м.

Комплекс заходів, що охоплює ущільнення ґрунтів у межах деформованої зони, водозахисні та конструктивні заходи, застосовують на ділянках з ґрунтовими умовами другого типу за величиною просідання. На ділянках з ґрунтовими умовами першого типу водозахисні та конструктивні заходи виконують лише у тих випадках, коли не можна усунути просадкові властивості ґрунтів у межах деформованої зони або застосувати глибокі фундаменти.

Контрольні запитання

- 1. Які ґрунти на території України схильні до просідання.*
- 2. Опишіть генезис утворення лесових ґрунтів.*
- 3. Назвіть місця залягання лесових ґрунтів на території України.*
- 4. Які фізичні характеристики лесових ґрунтів свідчать про схильність до просідання.*
- 5. Назвіть додаткові характеристики просадкових ґрунтів.*
- 6. Як визначають відносну просадковість ґрунтів.*
- 7. Як визначають початковий тиск просідання.*
- 8. Як визначають початкову вологість просідання.*
- 9. У яких випадках зволоження просадкових ґрунтів називається місцевим.*
- 10. У яких випадках зволоження просадкових ґрунтів називається інтенсивним.*

11. Що уявляє собою поступове підвищення вологості просадкових ґрунтів.

12. Як призначають розрахункову вологість просадкових ґрунтів при неможливості їх водонасичення.

13. Як призначають розрахункову вологість просадкових ґрунтів при можливості їх водонасичення.

14. Назвіть умови, що спричиняють просідання лесових ґрунтів.

15. Назвіть можливі характерні зони, що формуються по глибині основи, складеної просадковими ґрунтами.

16. Унаслідок дії яких чинників відбувається просідання лесового ґрунту в першій зоні.

17. Чому не відбувається просідання лесових ґрунтів при їх водонасиченні у другій зоні.

18. Унаслідок дії яких чинників відбувається просідання лесового ґрунту в третій зоні.

19. Як визначити просідання лесових ґрунтів основи при їх інтенсивному зволоженні.

20. Назвіть, у чому полягає перший принцип будівництва на просадкових ґрунтах.

21. Назвіть, у чому полягає другий принцип будівництва на просадкових ґрунтах.

22. Назвіть, у чому полягає третій принцип будівництва на просадкових ґрунтах.

23. Якими заходами можна усунути просадкові властивості лесових ґрунтів у межах першої зони.

24. Якими заходами можна усунути просадкові властивості ґрунтів у межах усієї лесової товщі.

25. Як визначити опір просадкових ґрунтів на бічній поверхні висячих паль на ділянках з першим типом ґрунтових умов.

26. Унаслідок чого виникає негативне тертя на бічній поверхні паль у

просадкових ґрунтах.

27. У яких випадках застосовують комплекс водозахисних і конструктивних заходів при будівництві на лесових ґрунтах.