

**ЗМІНИ ДЕФОРМАЦІЙНИХ І ПРОСІДАЮЧИХ ПАРАМЕТРІВ
ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ В ОСНОВАХ БУДІВЕЛЬ ПІД ВПЛИВОМ
ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ ЗАМОЧУВАННЯ**

**CHANGES IN THE DEFORMATION AND SETTLEMENT PARAMETERS
OF LOESS SOILS IN THE FOUNDATIONS OF BUILDINGS UNDER THE
INFLUENCE OF WETTING WATER TEMPERATURE**

**Демессіє М. К. к.т.н., доц., Грецький Д.В. к.т.н., доц., Пряник С.П. к.т.н.,
доц., Березань М.О. к.т.н., доц., (Черкаський державний технологічний
університет, м. Черкаси)**

**Demessie Mekuria, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-5015-4820>, Gretsnyi Denys, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3086-0939>, Pryanik
Serhii, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-4430-4287>, Berezan Mikola, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0009-0005-8203-2798>. (Cherkasy
State Technological University)**

У статті викладено результати лабораторного дослідження лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури. Лабораторні дослідження зразків лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури показали збільшення параметрів відносного просідання при підвищенні температури води. При цьому збільшення значення відносного просідання досягає майже 15%. Лабораторним дослідженням підтверджено припущення про вплив температури води зволоження на прискорення перебігу процесу просідання ґрунту основи і, як наслідок, деформації будівлі у вигляді тріщини на його стінах. На основі результатів лабораторних досліджень показано, що температура води зволоження ґрунтів істотно впливає на деформаційні характеристики лесових ґрунтів, зокрема спостерігається зниження значення коефіцієнта пористості при збільшенні температури води замочування.

The article presents the results of a laboratory investigation of loess soil under wetting with water of different temperatures. Laboratory tests on loess samples showed that the parameters of relative subsidence increase as the water temperature rises. The increase in relative subsidence reached almost 15 %. The experiments confirmed the assumption that the temperature of the wetting water accelerates the subsidence process of the foundation soil and, consequently, the appearance of structural deformations such as cracks on

building walls. Based on the obtained results, it was demonstrated that the temperature of the wetting water has a considerable influence on the deformation characteristics of loess soils. In particular, a noticeable reduction in the porosity coefficient was observed with increasing soaking-water temperature. These findings indicate that not only the moisture content but also the thermal regime of wetting must be considered when assessing the deformational behavior of loess soils in foundation engineering. Furthermore, the study emphasizes the importance of accounting for seasonal and anthropogenic factors that can alter groundwater temperature in urbanized territories. Even minor thermal variations in the infiltration water can intensify settlement processes and reduce the reliability of foundations in buildings erected on loess deposits. The obtained data provide a scientific basis for improving predictive models of soil deformation and for developing engineering measures aimed at preventing temperature-induced subsidence. The results can also be applied in designing foundations and choosing optimal construction technologies in regions where loess soils are widespread and exposed to fluctuating hydro-thermal conditions.

Ключові слова:

Лесові ґрунти, просідання, температура зволоження, деформація будівлі, коефіцієнт пористості, відносне просідання, основа фундаментів.

Loess soils, subsidence, moisture temperature, building deformation, porosity coefficient, relative subsidence, foundation base

Вступ. Проектування та зведення основ та фундаментів будівель на лесових просідаючих ґрунтах із забезпеченням їх міцності та нормальної експлуатації є актуальним питанням сучасної геотехніки.

З практики геотехніки відома ціла низка аварійних деформацій будівель на лесових ґрунтах у світі і, зокрема, в Україні [1–3]. Однією з причин деформації будівель є замочування ґрунтів основи у період їх експлуатації.

Особливість просідаючих ґрунтів полягає в їх здатності при підвищенні вологості (замочуванні) давати додаткове осідання, що називається просіданням під навантаженням від власної ваги або від ваги фундаменту. Це є головною проблемою при будівництві та подальшій експлуатації будівель.

Аналіз останніх досліджень. Великий внесок у розвиток будівництва на просідаючих ґрунтах, дослідження властивостей лесових ґрунтів та закономірності їх поведінки під навантаженням зробили сучасні науковці В.Б. Швець, І.П. Бойко, М.В. Корнієнко, Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, О.О. Петраков, Ю.С. Слюсаренко, М.С. Яковенко, Р.О. Тімченко та інші.

Багато авторів (Р.О. Тімченко, А.С. Моргунг, Р.В. Самченко, В.А. Басараб, І.П. Бойко, В.Л. Винников та інші) вважають, що ступінь просідання лесових ґрунтів знаходиться в прямій залежності від їх вологості [1, 2, 4, 5, 6, 7].

Причинами водонасичення лесової основи під фундаментом можуть бути як підйом рівня ґрунтових вод, так і систематичне та аварійне зволоження основи. Це може стати причиною деформації будівель та споруд, побудованих на лесових ґрунтах, зазначається у роботах М.В. Корнієнка, М.М. Корзаченка, Р.В. Самченка, А.С. Моргунга, М.Л. Зоценка, Ю.І. Іщенко, В.В. Жука, Г.М. Гладішева, М.О. Вабіщевича.

Постановка мети і задач досліджень. Метою цього дослідження є вивчення впливу температури води замочування на деформаційні та просідаючі характеристики лесового ґрунту основи фундаментів.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети були застосовані такі методи: архівне дослідження характеристик будівельного майданчика, лабораторні дослідження лесового ґрунту, аналіз і узагальнення результатів досліджень.

Результати досліджень. Деформації будівель можуть виникнути через різні фактори. Розуміння та своєчасне усунення цих проблем є важливими аспектами забезпечення надійності, функціональності, довговічності, безпеки та зовнішнього вигляду будівель.

В процесі моніторингу експлуатованих будівель у місті Черкаси було виявлено наскрізні тріщини у цегляних стінах будівлі музичної школи. Для з'ясування причин деформації будівлі авторами було проведено дослідження ґрунтів основи фундаментів даної території.

Ґрунти, що залягають на дослідному будівельному майданчику, ідентичні в літологогенетичному відношенні по всій її площі і на всю досліджену глибину (6 м). Дослідницькі шурфи № 1 і № 2 були розташовані на відстані 20 м від будівлі, що зазнає деформації, а шурф № 3 знаходився на відстані 3 м (безпосередньо в зоні замочування основи фундаментів).

На цьому майданчику внаслідок технічних несправностей водонесуших мереж відбулося тривале локальне замочування масиву ґрунту в місці розташування будівлі, що призвело до виникнення просідаючих явищ під фундаментом будівлі, що експлуатується.

В результаті просідаючих явищ, основа фундаментів просіла на 60 см, отримавши при цьому серйозні деформації у вигляді тріщин на стінах будівлі з шириною розкриття до 54 мм. Основою фундаменту будівлі є лесовий суглинок.

Інженерно-геологічні умови майданчика. На даному будівельному майданчику інженерно-геологічними дослідженнями встановлено, що в геоморфологічному відношенні досліджуваний майданчик розташований у межах третьої надзапальної тераси правого берега ріки Дніпро.

Характерною для даної території є наявність ґрунтів І типу за просіданням потужністю від 1 до 10 м, які представлені лесовими супісками і суглинками еолово-делювіального відкладення, розташовані під рослинним шаром, а іноді під піском.

Між шаром лесових супісків та шаром лесових суглинків залягає прошарок мілких пісків, маловологих, середньої щільності, потужністю 1,0...3,0 м. До будівництва цього району ґрунтові води встановилися на глибинах 8,0...10,0 м. На окремих ділянках безпосередньо під будівлею сформувалася верховодка внаслідок витоку води з водоносних систем.

Лабораторні дослідження зразків лесового ґрунту. Зразки ґрунту, які відібрані в зоні зволоження та поза межами зволоження майданчики на глибині 2,8м, окремо піддавалися лабораторному дослідженню.

За отриманими лабораторними даними проведено порівняння фізико-механічних властивостей лесового суглинку в зоні зволоження та поза межами зволоження. Дані про зміну властивостей лесової основи представлені у таблиці 1.

Лабораторні дослідження ґрунтів проводилися за стандартною методикою, в яку включалися визначення фізично-механічних та просідаючих параметрів ґрунту.

Порівняння фізико-механічних властивостей у зоні замочування та поза зонами замочування показує, що в параметрах лесового ґрунту відбулися наступні кількісні зміни: вологість ґрунту (w) збільшилася з 14,5% до 26,8%. Зі збільшенням вологості лесового суглинку усереднене значення кута внутрішнього тертя (ϕ) зменшилося з 24 до 19 град, а питоме зчеплення, (c) – з 0,048 до 0,021 МПа.

Лесові ґрунти цього району мають високу пористість $e = 0,87$, але під тривалою дією зволоженні під навантаження значення цього показника зменшилося і становить $e = 0,60$ (шурф №3).

Таблиця 1

Зміна фізико-механічних властивостей лесових суглинків ділянки

Ділянки дослідження	$W, \%$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_d, \text{г/см}^3$	e	$\phi, \text{град}$	$c, \text{МПа}$	$E, \text{МПа}$
Шурф №1	14,5	1,70	1,48	0,87	24	0,048	8,0
Шурф №2	14,4	1,71	1,47	0,86	23	0,046	7,5
Шурф №3 (у зоні зволоження)	26,8	1,85	1,53	0,60	19	0,021	4,1

Результат дослідження також показав, що модуль загальної деформації лесового суглинку значно зменшився з 8,0 до 4,1 МПа (майже вдвічі).

Визначення характеристик просідання було проведено у компресійних приладах за методом "двох кривих". Випробування за схемою "двох кривих" проводились на зразках, відібраних у зоні зволоження та поза межами зволоження. Лабораторні дослідження проводились згідно стандартної методики [8].

Для зволоження зразків ґрунту використовувалась вода питної якості з кімнатною температурою $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Значення відносного просідання наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Відносне просідання лесових суглинків майданчика

Ділянки дослідження	Відносне просідання ε_{sl} при p , кПа					Початковий тиск просідання P_{sl} , кПа
	50	100	150	200	300	
Поза межами зволоження	0,008	0,026	0,051	0,072	0,090	63
У зоні зволоження	0,002	0,009	0,023	0,040	0,052	100

За даними компресійних випробувань встановлено, що ці ґрунти можна охарактеризувати як суглинки середнього просідання.

У зоні зволоження величина початкового тиску просідання становить $P_{sl}=100$ кПа. За даними досліджень поза межами замочування основи фундаментів будівлі значення початкового тиску склало $P_{sl} = 63$ кПа.

Аналіз характеристик просідання лесових суглинків основи у зоні інтенсивного зволоження та поза межами зволоження показує, що зменшення значень ε_{sl} коливається від 165% при малих навантаженнях до 66% при навантаженні в 0,3 МПа. З наведених даних видно, що значення початкового тиску просідання збільшилося з 63 до 100 кПа, що складає більше 55%.

Дослідження лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури.

Одним з основних джерел замочування та зволоження просідаючих ґрунтів в основах будівель є витік води з комунікацій (водопроводу, каналізації, теплофікації).

З практики геотехніки відома ціла низка аварійних деформацій будівель та споруд на лесових просідаючих ґрунтах внаслідок замочування ґрунтів основи витоками вод з інженерних систем у Черкасах, Запоріжжі, Нікополі, Одесі, Херсоні та інших містах [1–3].

Наприклад, у Черкасах, обстеження експлуатованих будівель показало, що одним із джерел локального зволоження ґрунтів основи фундаментів став аварійний витік гарячої води з водопровідних систем.

Для з'ясування впливу гарячої води на просідаючі властивості лесового суглинку, в рамках цього дослідження, було проведено лабораторні дослідження із водонасиченням лесового ґрунту водою різних температур.

Випробування виконувались за стандартною методикою із замочуванням лесового ґрунту під максимальним навантаженням для будівлі, характерним для цього району в 0,3 МПа, водою з температурою $t = 20^{\circ}\text{C}$, 60°C та 90°C . Протягом 4-х годин з моменту зволоження підтримувалася задана температура води шляхом її безперервного нагрівання.

Одночасно з метою визначення величини та швидкості перебігу процесу просідання через кожні 30 хвилин знімалися показники індикаторів годинникового типу компресійних приладів.

Дослідження проводилися на зразках лесового суглинку, відібраних у незатоплений зоні будівлі.

Основним завданням цього етапу дослідження було з'ясування впливу гарячої води на просідаючі властивості лесових ґрунтів. Випробування проводилися на 9-и зразках для кожної температури води зволоження. Зразок ґрунту поміщався в сталеве кільце заввишки 25 мм і діаметром 87 мм, що не допускало його деформації у бічному напрямку.

При зволоженні зразків лесового ґрунту гарячою водою різної температури величина і інтенсивність просідання стала більша, ніж при зволоженні лесового ґрунту водою кімнатної температури (20°C); так, при поступовому зростанні температури води до $t=90^{\circ}\text{C}$ усереднена величина відносного просідання лесового ґрунту збільшилась з 0,0852 до 0,0994, що складає більше 15%.

Дослідження параметрів просідання лесового ґрунту в лабораторних умовах показали, що збільшення температури зволоження води призводить до зростання величини відносного просідання.

Значення коефіцієнта пористості впливає на фізико-механічні властивості ґрунту, такі як міцність, стисливість та водопроникність.

Для виявлення впливу гарячої води зволоження ґрунтів на кількісне значення коефіцієнта пористості було проведено аналіз результатів лабораторних досліджень.

Обробка лабораторних даних показує, що зменшення коефіцієнта пористості зі зростанням температури води добре простежується (рис. 1).

Порівняння кривих коефіцієнта пористості, одержаних при замочуванні зразків ґрунту водою різної температури, дозволило виявити вплив зовнішніх факторів на їх деформаційні властивості. Криві коефіцієнта пористості ґрунту відображають відносну зміну показника стисливості ґрунту від тиску p . Стисливість залежить від пористості ґрунту та початкового коефіцієнта пористості e_0 .

Таким чином, аналіз наведених на рис. 2 графіків залежності коефіцієнта пористості від тиску для лесових ґрунтів показав, що на деформаційні властивості ґрунту істотно впливає температура води зволоження, що необхідно враховувати при прогнозуванні деформаційних параметрів ґрунтової основи фундаментів.

Результатом лабораторного дослідження зазначено, що параметр відносного просідання лесового ґрунту при зростанні температури води зволоження збільшується, а коефіцієнт пористості зменшується.

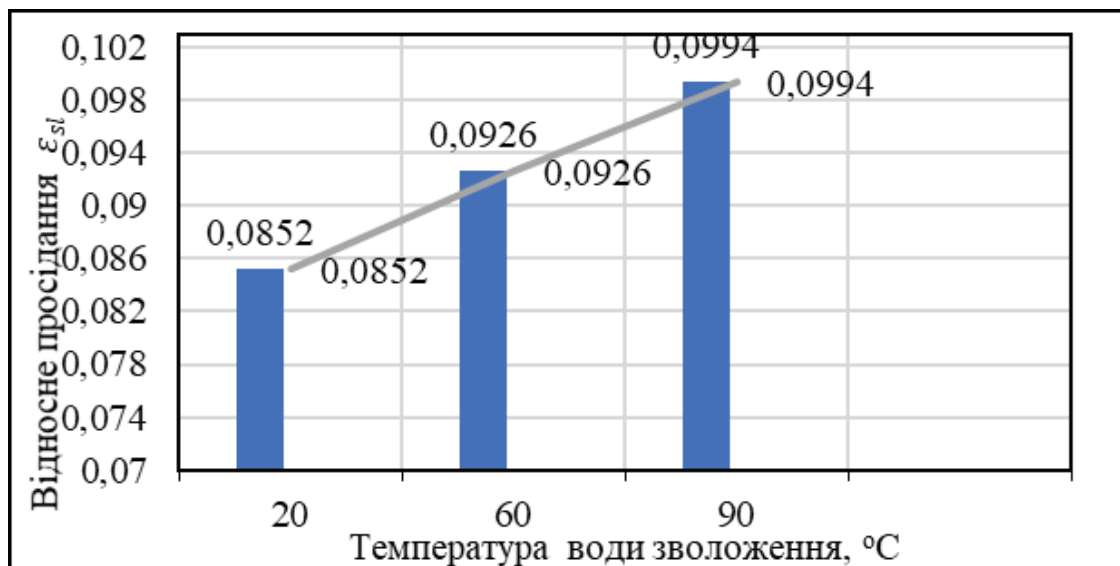


Рис. 1. Зміна величин відносного просідання лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури

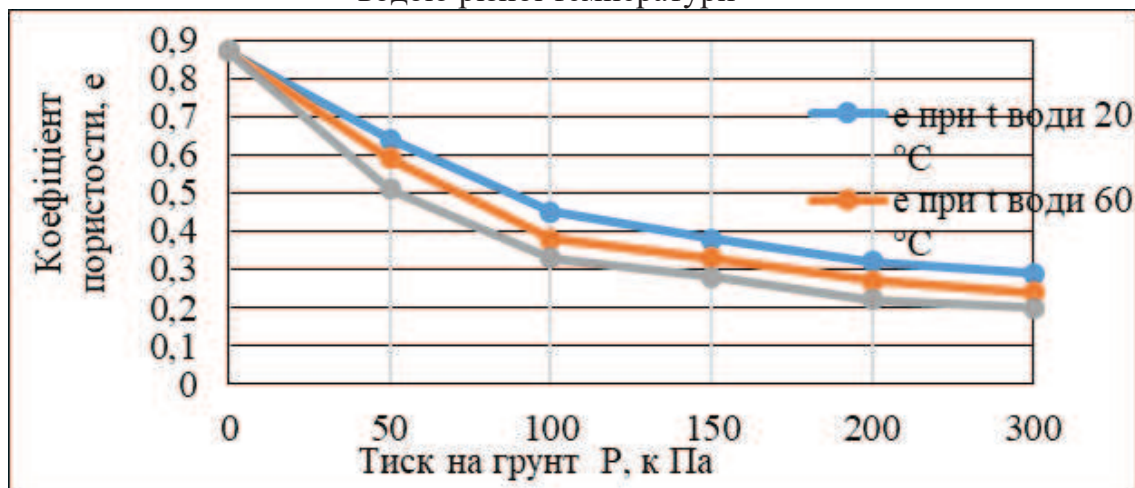


Рис. 2. Зміна величин коефіцієнта пористості лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури

Акумуляція таких даних дозволить надалі ввести в дію коригувальні коефіцієнти для оцінки зміни параметрів просідання лесових ґрунтів за період експлуатації будівель і споруд, що у свою чергу сприятиме зменшенню аварійних станів будівель, побудованих на таких ґрунтах.

Висновки та рекомендації. Лабораторними випробуваннями підтверджено, що величина відносного просідання лесового ґрунту при зростанні температури води зволоження збільшується. Приріст величини відносного просідання становить більше 15 %.

Результати лабораторного дослідження лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури показали пряму залежність між просідаючими параметрами лесових ґрунтів та температурою води зволоження. Зі збільшенням вологості лесового суглинку в зоні основи фундаменту значення кута внутрішнього тертя (ϕ) зменшилося з 24 до 19 град, а питоме зчеплення, (с) – з 0,048 до 0,021 МПа.

Коефіцієнт пористості лесового ґрунту при збільшенні температури води зволоження при тому ж навантаженні зменшується.

Перспективою подальшого дослідження лесових ґрунтів при зволоженні водою різної температури є польове дослідження на масиві ґрунтів.

Уточнення результатів лабораторних досліджень шляхом польових випробувань ґрунтів із зволоженням водою різної температури дасть можливість прогнозувати поведінку ґрунтів під час експлуатації будівель, споруджених на лесових ґрунтах.

Дослідження параметрів просідання лесових ґрунтів безпосередньо на місцевості в їхньому природному стані є більш точним для оцінки несучої здатності ґрунту та прогнозування його поведінки під навантаженням.

1. Басараб В.А. Визначення технологічних параметрів процесу ущільнення ґрунту. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин, 2020, № 45, с. 3–15. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.45.3-15>.

Basarab V.A. Vyznachennia tekhnolohichnykh parametriv protsesu ushchilnennia gruntu. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn, 2020, № 45, s. 3–15. <https://doi.org/10.32347/2707-501x.2020.45.3-15>.

2. Бойко, І., Скочко, Л., & Хоронжевський, М. (2021). Ідентифікація параметрів ґрунтів на основі результатів натурних випробувань паль. Основи та Фундаменти / Bases and Foundations, (42), 9–18. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.42.2021.9-18>.

. Boiko, I., Skochko, L., & Khoronzhevskiy, M. (2021). Identyfikatsiia parametriv hruntiv na osnovi rezul'tativ naturnykh vyprobuvan pal. Osnovy ta Fundamenti / Bases and Foundations, (42), 9–18. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.42.2021.9-18>.

3. Вабіщевич М.О. Аналіз напружено-деформованого стану фундаменту-оболонки при взаємодії із пружно-пластичним середовищем /М.О. Вабіщевич, Г.А. Затилюк //Опір матеріалів і теорія споруд: наук. – тех. збірник. Київ. КНУБА, 2021. вип. 106. с. 105–112. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.105-112>.

Vabishchevych M.O. Analiz napruzhenno-deformovanoho stanu fundamentu-obolonky pry vzaiemodii iz pruzhno-plastychnym seredovyschem /М.О. Vabishchevych, Н.А. Zatyliuk //Опір матеріалів і теорія споруд: наук. – тех. збірник. Київ. КНУБА, 2021. вип. 106. с. 105–112. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.105-112>.

4. Винников Ю.Л., Манжалій С.М. (2020). Удосконалення геотехнічного моніторингу підсилення деформованої будівлі на палевому фундаменті. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 18, 28-39. <https://doi.org/10.15802/bttrp2020/217695>.

5. Моргунг А.С., Метъ І.М. Геотехнічні питання дослідження технічного стану споруди на слабких ґрунтах за методом граничних елементів. КНУБА, основи та фундаменти. 2024. Випуск 48. с.32–38. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.48.2024.32-38>.

6. Самченко Р.В., Юхименко А.І. Ліквідація деформованого стану будівель, споруд у водонасичених умовах. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2019. вип. 75. с.151– 156. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-75-151-157>.

7. Тімченко Р.О. Влаштування основ і фундаментів на просідаючих ґрунтах /Р.О. Тімченко, Д.А. Крішко, Т.А. Барон //Гірничий вісник, 2021. вип. 109. с. 41–45.

8. ДСТУ Б В.2.1-22:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання.