

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.1:624.07

DOI 10.31649/2311-1429-2025-2-44-58

М. К. Демессіє
Д. В. Грецький
С. П. Пряник

ДЕФОРМАЦІЇ МАЛОПОВЕРХОВИХ КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ, СПРИЧИНЕНІ НЕРІВНОМІРНИМИ ОСІДАННЯМИ ҐРУНТІВ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ

Черкаський державний технологічний університет

У статті викладено результати дослідження причин прогресуючих нерівномірних деформацій будівель на реальних прикладах за умов зволоження водою ґрунтів основи.

Встановлено, що просідання ґрунтів основи в зоні під подошвою фундаментів призвело до появи деформацій у вигляді тріщини у цегляних стінах будівлі шириною розкриття до 24 мм.

Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що причиною нерівномірних деформацій є погіршення деформаційних параметрів просідання лесових ґрунтів основ внаслідок затоплення витокками від аварійних ушкоджень водопровідних систем.

Лабораторним дослідженням лесових ґрунтів основи було встановлено суттєву зміну в їх фізико-механічних та просідаючих властивостях. Вологість ґрунтів основи збільшилася з 14,3% до 26,1%, що становить 82%.

Результати лабораторних досліджень показали, що за період експлуатації будівлі в несучому шарі відбулися наступні кількісні зміни: модуль деформації лесових основ зменшився на 100%; зі збільшенням вологості лесового ґрунту основи усереднене значення кута внутрішнього тертя зменшилося на 20%, а питоме зчеплення зменшилося на 114%, коефіцієнт пористості зменшився майже на 38%.

Аналіз параметрів просідання лесових суглинків основи в межах будівлі поза межами зволоження та у зоні зволоження показує, що зменшення кількісних значень відносного просідання коливається від 165% при малих навантаженнях до 66% при навантаженні в 0,3 МПа.

У період експлуатації будівлі відбулося ущільнення несучого шару лесового ґрунту. При цьому значення початкового тиску просідання p_{sl} в порівнянні з проєктним значенням збільшилося. Зростання кількісного значення початкового тиску просідання p_{sl} досягає до 55%.

Лабораторні дослідження зразків лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури показали збільшення параметрів відносного просідання \mathcal{E}_{sl} при підвищенні температури води. При цьому збільшення значення відносного просідання досягає майже 25%. 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.

Ключові слова: нерівномірні деформації, тріщини в стінах, експлуатація будівлі, надземні конструкції, деформація будівлі, основа фундаментів, лесовий ґрунт, відносне просідання, зволоження просідаючих ґрунтів, напружено-деформований стан.

Вступ

Довговічність та безпека експлуатації будівлі багато в чому визначаються станом основ та фундаментів. Система «ґрунт основа – фундамент – надземні конструкції» є найбільш складною у моделюванні та прогнозуванні її функціонування в процесі зведення та особливо в період експлуатації будівель.

Ця система в процесі експлуатації постійно зазнає важко прогнозованого впливу багатьох факторів, з яких найбільш значними є зміни властивостей ґрунтів основи, природні явища та впливи, пов'язані з діяльністю людини.

Погіршення умов стійкості однієї з цих систем: «ґрунт основа – фундамент – надземні конструкції», внаслідок зміни напружено-деформованого стану призведе до виникнення деформації будівлі та порушення її експлуатаційної придатності.

Несучі цегляні стіни будівлі найбільш чутливі до змін напружено-деформованого стану в період експлуатації. В експлуатованих цегляних будинках при зміні розрахункового напружено-деформованого стану часто виникають дефекти та пошкодження, що знижують довговічність та експлуатаційні якості. Причиною цього є вплив численних несприятливих факторів та помилок, допущених на всіх етапах будівельного процесу та в період експлуатації.

У більшості випадків деформація будівлі і, як наслідок, аварії відбуваються через неповний облік інженерно- та гідрогеологічних умов будівельного майданчика та порушення нормальної роботи основ та фундаментів в період експлуатації.

Порушення нормальної роботи основ та фундаментів зустрічаються досить часто, і хоча зазвичай не відбувається повного руйнування будівель, але спостерігаються різного роду деформації, перекося, тріщини, які без усунення причин їхньої появи та невиконання у термін ремонтних робіт можуть призвести до найсерйозніших наслідків, аж до аварій.

Однією з поширених форм прояву неприпустимих деформацій є виникнення тріщини на несучих стінах будівлі.

Наявність тріщин у несучих стінах знижує конструктивну надійність будівлі, її експлуатаційні якості, а значні деформації у вигляді тріщин в несучих стінах створюють загрозу втрати несучої здатності конструкцій. Тому спостереження за тріщинами, виявлення причин їх виникнення та динаміки розвитку є відповідальним етапом під час обстеження кам'яних конструкцій.

Тріщини можуть утворюватися в різних зонах стіни та мати візуальну схожість між собою, проте механізми їх утворення мають свої особливості та, як правило, значно відрізняються.

Вивчення морфології тріщин на стінах будівлі та характеру їх розвитку у часі дозволяє встановити причини деформацій, призначити ефективні та економічні методи ремонту та посилення конструкцій.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням проектування, будівництва та забезпечення надійного експлуатаційного стану будівель за різних інженерно-геологічних умов в Україні та за кордоном приділяється значна увага.

Більшість публікацій присвячено дослідженню нерівномірних деформацій існуючих будівель за узагальненими принципами та концепціями без індивідуального підходу та без урахування особливості та специфіки регіональних геологічних умов. Хоча загальні рекомендації та принципи реалізуються під час проектування, будівництва та технічної експлуатації, облік специфіки роботи кожної будівлі та геологічних умов окремо взятого будівельного майданчика є важливим аспектом для надійної експлуатації збудованого об'єкта. Особливо це актуально в районах де є і використовуються структурно нестійкі ґрунти як основи фундаментів будівель. До найпоширеніших структурно нестійких ґрунтів відносяться просідаючі лесові ґрунти.

Будівництво та експлуатація будівель на просідаючих лесових ґрунтах ускладнені внаслідок можливого прояву значного просідання в період експлуатації, яке може призвести до аварійних ситуацій або втрати експлуатаційної придатності будівлі.

Просадні ґрунти характеризуються, зокрема, невисокою несучою здатністю, підвищеною стисливістю та погіршенням механічних властивостей при зволоженні.

Напружено-деформований стан фундаментів будівлі при можливому зволоженні лесових ґрунтів основ залежить від цілого ряду чинників, таких як: жорсткість надземної частини і фундаментних конструкцій, параметри ґрунтового середовища, розташування зон зволоження ґрунтової основи, а також габарити і форма зон зволоження лесового ґрунту.

Врахування особливостей поведінки ґрунтової основи під час просідання лесового ґрунту внаслідок підвищення вологості за час експлуатації будівель є важливим етапом проектування фундаментних конструкцій будівель, які зводяться в умовах можливого нерівномірного деформування ґрунтів.

Просідаючі властивості лесових ґрунтів широко вивчені, але урахування їх локальних особливостей дуже важливе, оскільки, залежно від умов формування та стану, ґрунти, близькі за складом, можуть суттєво відрізнятися своїми фізико-механічними та просідаючими властивостями.

Число робіт, присвячених вивченню лесових ґрунтів та можливостям будівництва будівель та споруд на них дуже велике. Однак праці про зміну властивостей лесових просідаючих основ за час експлуатації будівель та споруд з урахуванням регіональних особливостей порівняно нечисленні.

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 [1÷24].

М.В. Корнієнко [16] у своїх дослідженнях показує, що при зволоженні під навантаженням фізико-механічні властивості лесових ґрунтів значною мірою змінюються. Так, наприклад, величина модуля деформації лесових ґрунтів, як і коефіцієнт стиснення, що характеризують деформаційні властивості – зменшуються.

Однією з властивостей лесових ґрунтів є різке зниження опору зрушення, кута внутрішнього тертя та величини зчеплення при зволоженні. Нашим дослідженням також підтверджується зниження кількісного значення цих властивостей лесових ґрунтів при зволоженні.

Багато авторів (Р.О. Тімченко, А.С. Моргун, 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, 18, 19, 20]. За даними М.В. Корнієнко, особливість та закономірність розвитку просадок ґрунтів від навантаження фундаментів у тому, що вони відбуваються лише в межах деформованої зони та на ділянках зволоження чи підвищення вологості ґрунтів. При цьому на кількісне значення відносного просідання

$\varepsilon_{sl,i}$ впливає тривалість і метод випробувань, кількість і величина ступенів завантаження та інші фактори, які впливають і на оцінку ґрунтів.

Дані В.Б. Швеця показують, що деформації лесових ґрунтів під спорудою при зволоженні тривають від кількох місяців до кількох років і досягають 0,7...1,0 м. Ступінь ущільнення залежить від складу, будови та потужності ґрунту, а також від розмірів споруди [21].

Узагальнені дані І.П. Бойко показують, що при зволоженні та додатку навантаження скорочуються в обсязі великі міжчасткові пори, макропори з пухкими стінками та порожнечі. Частина загальної пористості, яка зменшується під тиском при зволоженні ґрунту, називається активною пористістю, а пасивна пористість повільно деформується протягом тривалого періоду [11, 12, 15, 16, 23].

Фізично початковий тиск просідання відповідає структурному просіданню ґрунту у водонасиченому стані. Це означає, що при водонасиченні міцність лесової основи значно знижується і проявляються деформації просідання. 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. Корнієнко, М.М. Корзаченка, Р.В. Самченка, А.С. Моргун, М.Л. Зоценка, Ю.І. Іщенко, В.В. Жук, Г.М. Гладишева, М.О. Вабишевича [3, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 18, 19,].

Метою дослідження було:

- оцінка наявних деформацій будівлі;
- з'ясування причин деформації будівлі;
- виявлення змін фізико-механічних властивостей лесового ґрунту за період експлуатації будівель;
- виявлення змін параметрів просідання лесового ґрунту за період експлуатації будівель;
- з'ясування впливу гарячої води на параметри лесового ґрунту.

Об'єкт дослідження: безкаркасна цегляна будівля, що експлуатується на лесових суглинках.

Методика дослідження. Для досягнення поставленої мети були застосовані такі методи: візуальне обстеження будівлі, інструментальне спостереження за розвитком розкриття тріщин на стінах будівлі, архівне дослідження характеристик будівельного майданчика, лабораторні дослідження лесового ґрунту на зразках, відібраних у шурфах і свердловинах в межах п'ятна будівлі, інструментальний геодезичний моніторинг, аналіз і узагальнення результатів досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі моніторингу першого корпусу Черкаської дитячої музичної школи №1 у місті Черкаси було виявлено наскрізні тріщини у цегляних стінах. Протягом року спостережень за будівлею динаміка у розвитку наявних ушкоджень була повільною, появи нових тріщин не зафіксовано.

Деформації будівель можуть виникнути через різні фактори, включаючи природні процеси старіння, експлуатаційні умови, аномалії у будівельному процесі або вплив зовнішніх агентів. Розуміння та своєчасне усунення цих проблем є важливими аспектами забезпечення надійності, функціональності, довговічності, безпеки та зовнішнього вигляду будівель.

Прояви деформації будівель можуть бути різноманітними, наприклад, у вигляді тріщин.

Вертикальні лінійні розриви у стінах та фундаменті показують явну ознаку деформації будівлі.

У переважній більшості випадків поява вертикальних тріщин у цегляних будинках виникає внаслідок неприпустимих відносних різниць осідання фундаменту, викликаних просіданням, зволоженням ґрунтів основи.

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ БУДІВЛІ

Будівля школи, що обстежується, – двоповерхова, складної форми в плані з технічним підпіллям (рис. 1). Висота 1-го та 2-го поверхів до низу плит перекриття 3,0 м, технічного підпілля – 2,4 м.

Конструктивна схема будівлі – безкаркасна. Фундаменти будівлі мілкового закладення стрічкові під зовнішніми та внутрішніми стінами. Зовнішні та внутрішні стіни будівлі цегляні з глиняної цегли.

Зовнішні стіни двошарові. Товщина несучих цегляних стін складає 380 мм. Товщина облицювального шару цегляної стіни – 120 мм. Перекриття та покриття виконані зі збірних та монолітних залізобетонних плит. Поверхні цегляних стін усередині будівлі оштукатурені цементно-піщаним розчином з подальшим фарбуванням. Товщина штукатурних шарів варіюється в межах 15...30 мм.

У приміщеннях із мокрим режимом роботи (санвузли) поверхні цегляних стін додатково облицьовані керамічною плиткою. У коридорах будівлі на стінах виконана декоративна мозаїчна штукатурка.

Просторова стійкість будівлі забезпечується спільною роботою зовнішніх та внутрішніх цегляних стін, та жорстких дисків перекриттів, покриття.

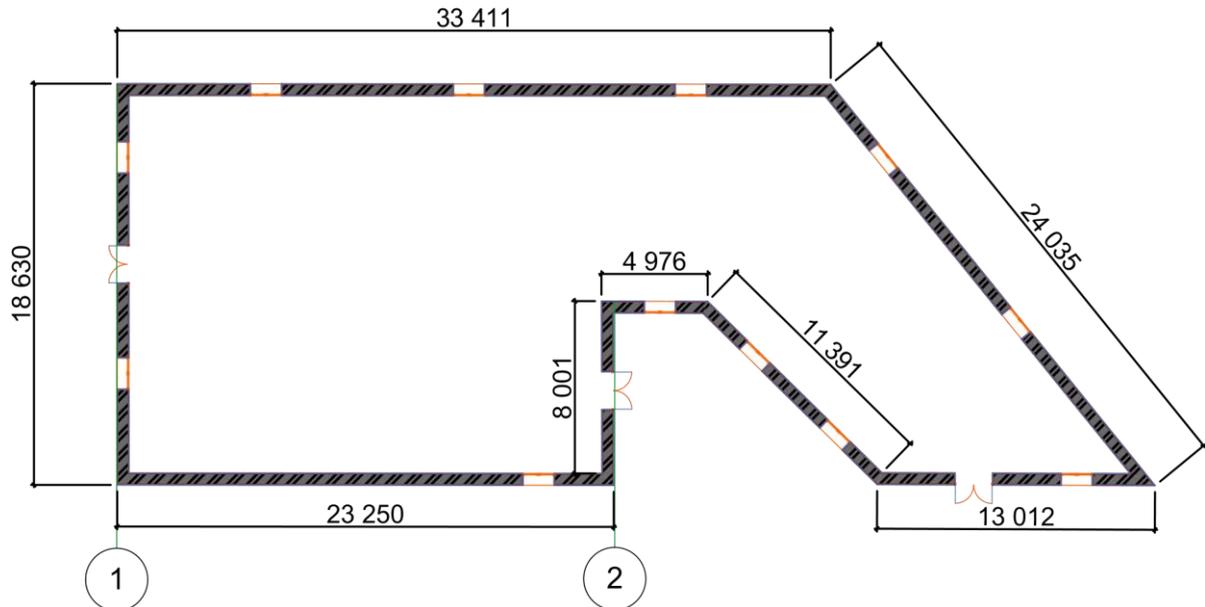


Рисунок 1 - План-схема будівлі

Внаслідок пошкоджень водопровідних систем відбувався прихований витік води в ґрунт основи під підлогами. Риття шурфів показало, що на невеликій глибині у ґрунтах основи утворилася водяна лінза та збільшувалася у розмірах у сезон дощів. Це призводило до збільшення просідання ґрунту в зоні зволоження.

МЕТОДИКА ТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ

Обстеження будівлі загалом проводилося у три етапи. Етап попереднього обстеження включав суцільне візуальне обстеження поверхні зовнішніх і внутрішніх стін, конструкцій перекриттів і покриттів. Виконання обмірів основних несучих конструкцій. Виконання фотофіксації характерних конструктивних елементів будівлі, у тому числі тих, що мають пошкодження. Складання відомості дефектів та пошкоджень основних несучих конструкцій. Вимірювання ширини розкриття тріщин у несучих стінах. Встановлення маяків для подальшого спостереження за динамікою розвитку розкриття тріщини. За даними попереднього обстеження, найбільш пошкодженими несучими конструкціями є зовнішні стіни, перекриття підвалу.

Другий етап обстеження полягав у визначенні стану основи та фундаментів. Для дослідження конструкцій фундаментів було відкрито шурф Ш-1 (рис. 2). Глибина закладання стрічкових фундаментів складає 3,5 м від рівня підлоги першого поверху, ширина підшви становить 1,2 м. Також для детального вивчення та виявлення поточних змін стану ґрунтів основи влаштовані свердловини по зовнішній частині будівлі у чотирьох місцях до глибини 6,0 м (св-1...св-4) (рис. 2). Було здійснено відбір зразків ґрунту згідно з загальноприйнятою методикою для проведення подальших лабораторних досліджень.

На третьому етапі дослідження проводилися лабораторні вивчення фізико-механічних та просідаючих властивостей ґрунтів основи.

МОРФОЛОГІЯ УТВОРЕННЯ ТРІЩИН

За період експлуатації будівлі музичної школи в несучих стінках в осях 1 – 2 виявлено значні деформації у вигляді вертикальних наскрізних тріщин із розкриттям зверху, а також стін підвалу (Рис. 2.). Точний час виникнення тріщин невідомий.

За розповідями працівників школи, спочатку у внутрішньому шарі зовнішніх стін 1-го та 2-го поверхів були виявлені тріщини шириною розкриття до 2 мм. При цьому в стінах технічного підпілля та в облицювальному шарі зовнішніх стін тріщини були відсутні. З часом утворилася і по зовнішній частині несучої стіни наскрізна вертикальна тріщина. Найбільша ширина розкриття вказаних тріщин становить від 20 до 24 мм. У нижніх зонах стіни вертикальні тріщини звужуються та становлять 15 – 20 мм. Орієнтація тріщин здебільшого вертикальна (рис. 3).

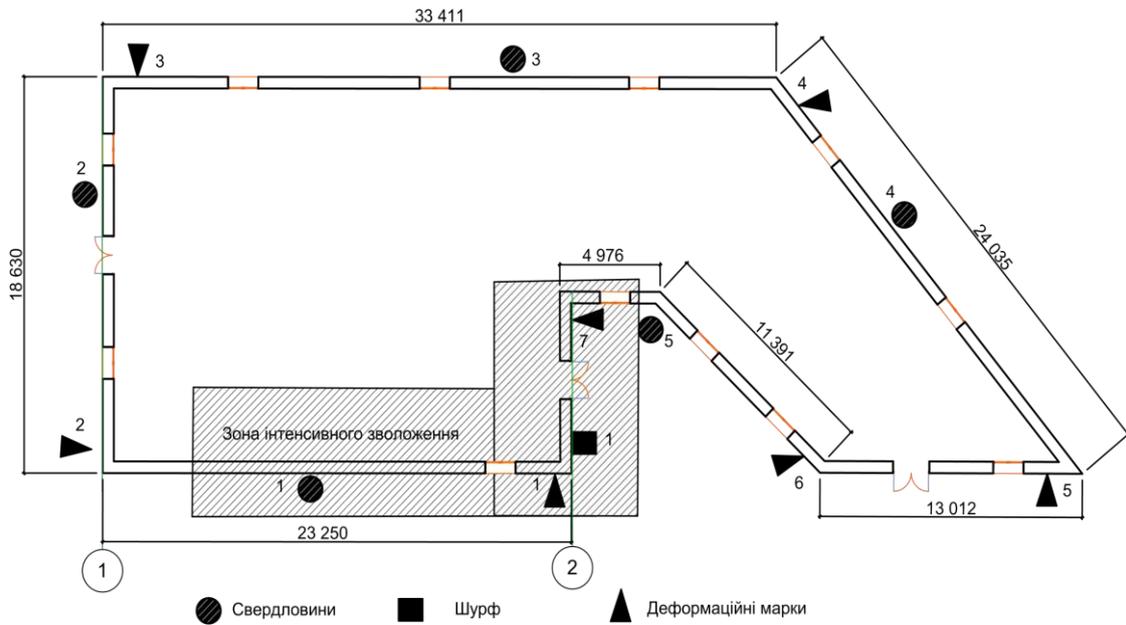


Рисунок 2 - Схеми спостережних локацій



Рисунок 3 - Фотофіксація загального вигляду тріщиноутворення на несучій стіні

Моніторинг тріщин, який здійснювався протягом дослідницького періоду, показав, що деформація повністю не стабілізувалася, динаміка розкриття тріщин трохи, але повільно прогресує залежно від пори року.

Характер і місцезнаходження тріщин свідчить про те, що причиною їх утворення є нерівномірні просідання основ фундаментів будівлі на цих ділянках, спричинені прихованим витокм гарячої води із систем водопостачання.

На момент проведення обстеження, деформацій, що свідчать про зниження до неприпустимого рівня конструктивної надійності фундаментів, не виявлено, загрози втрати просторової стійкості несучих конструкцій будівлі немає. Для подальшої безаварійної експлуатації будівлі необхідно усунути повторні витoki води із систем водопостачання та виконати розшивку тріщин та посилення несучих конструкцій.

ДИНАМІКА РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙ

У процесі обстеження дуже важливо знати динаміку розкриття тріщин у часі. Для цього на тріщини було встановлено гіпсові маяки – М1, М2, М3 і М4 (рис. 4).

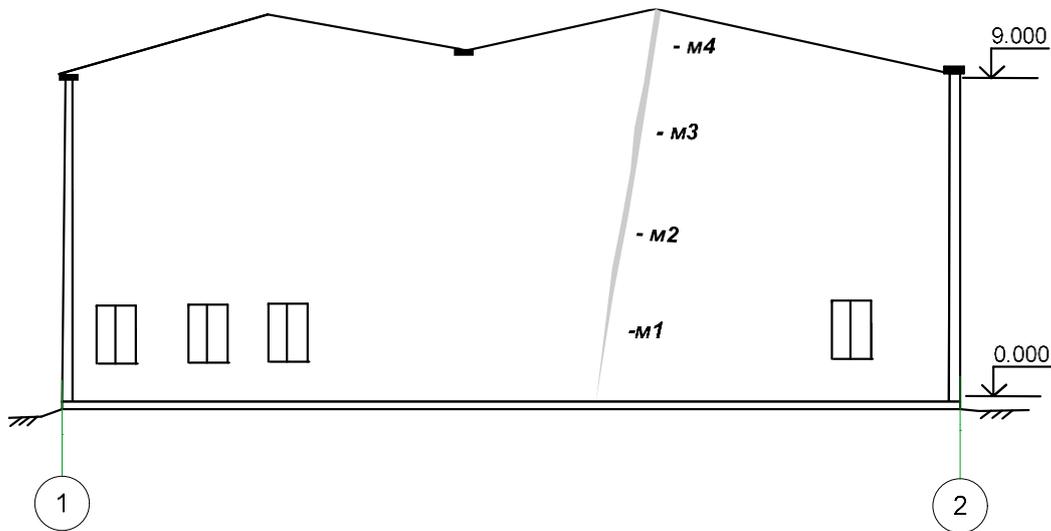


Рисунок 4 - Схема характерної тріщини у зовнішній несучій стіні, де М1, М2, М3, М4 - розташування маяків спостереження за розвитком тріщини

Динаміка розвитку деформацій у вигляді тріщиноутворення реєструвалися в журналі спостережень. Глибина тріщин визначалася за допомогою щупів та голок, а ширина розкриття – за допомогою лінійки.

На початку дослідження проводилася фіксація розмірів розкриття тріщин на стінах будівлі. Замір показав такі розміри за маяками: М1 = 8 мм, М2 = 10 мм, М3 = 12 мм і М4 = 15 мм. Фіксація проводилася після весняних паводків у квітні 2023 року.

Наступна фіксація ширини розкриття тріщин проводилася після осінніх паводків у вересні 2023 року. Ширина тріщини становила: М1 = 11 мм, М2 = 13 мм, М3 = 15 мм і М4 = 17 мм.

У квітні 2024 року ширина розкриття тріщин у місцях розташування наглядових марок склала: 15 мм (М1), 17 мм (М2), 19 мм (М3), 21 мм (М4).

Наступний замір розкриття тріщин у вересні 2024 показав такі результати: М1 = 17 мм, М2 = 19 мм, М3 = 21 мм і М4 = 23 мм. Додатковим контрольним вимірюванням ширини тріщини за спостережними маяками у квітні 2025 року отримано: М1 = 18 мм, М2 = 20 мм, М3 = 22 мм та М4 = 24 мм (рис. 5).

Аналіз результатів спостереження показує, що будівля зазнає прогресуючих нерівномірних деформацій. Деформація будівлі у вигляді тріщин з кожним роком зростає (рис. 5). При цьому прогресуючі нерівномірні деформації будівлі відбуваються при постійному напруженому стані в період експлуатації, тобто додаткового завантаження будівлі, не передбаченої проєктом в період експлуатації не було.

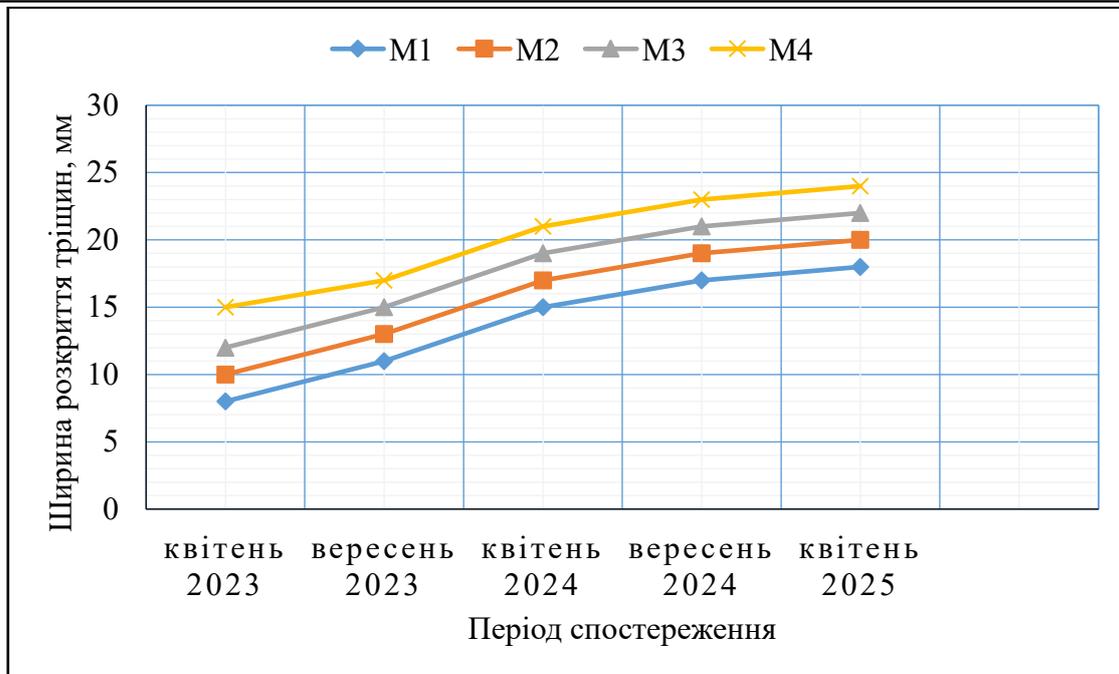


Рисунок 5 - Динаміка розкриття тріщини на стінах будівлі за спостережними маяками M1, M2, M3 і M4 в часі, мм

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Геодезичні спостереження за деформаціями будівлі проводились у наступній послідовності:

- встановлення вихідних геодезичних знаків (для вимірювання вертикальних деформацій прийняті глибинні репери);
- встановлення деформаційних марок на будинках;
- інструментальні вимірювання величин вертикальних переміщень;
- узагальнення та аналіз результатів спостережень.

Розміщення деформаційних марок у будинках виконано по периметру будівель, Схема розташування деформаційних марок показана на рисунок 3. Для зручності вимірювань деформаційні марки для вимірювань вертикальних переміщень конструктивних елементів встановлювалися вище за рівень землі на 0,5 м. Основним методом для вимірювань вертикальних переміщень прийнято метод геометричного нівелювання, клас точності вимірювань - II.

Осідання за період між циклами спостережень визначається:

$$S = H_i - H_0;$$

де, H_i ; H_0 висота точки у різних циклах спостережень.

Результат геодезичного моніторингу наведено на рисунок 6.

В ході дослідницького періоду геодезичний моніторинг за осіданням будівлі, спрямований на виявлення величини вертикального зміщення будівлі.

Спостереження за осіданням будівлі здійснювалося із застосуванням геодезичного приладу (нівеліру) та деформаційних знаків (марок, реперів, візирних цілей), встановлених на конструкціях будівлі.

За результатами виконаного геодезичного моніторингу встановлено, що найбільше абсолютне значення вертикального переміщення деформаційних марок склало 58 см, що перевищує допустиме значення.

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ МАЙДАНЧИКА

Кожен майданчик будівництва має суто індивідуальне напластування ґрунтів. На даному будівельному майданчику інженерно-геологічними дослідженнями встановлено, що в геоморфологічному відношенні досліджуваний майданчик розташований у межах третьої

надзаплавної тераси правого берега ріки Дніпро. Вона є забудованою територією, з відносним плоским рельєфом. На майданчику розкрито відкладення четвертинного віку.

Характерною для даної території є наявність ґрунтів I 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 будівлі школи ґрунтові води встановилися на глибинах 8,0...10,0 м.

Нині на окремих ділянках безпосередньо під фундаментами сформувалася верховодка. Горизонт води явно техногенний, він сформувався внаслідок тривалих витоків води з водонесучих комунікацій та замочування атмосферними водами.

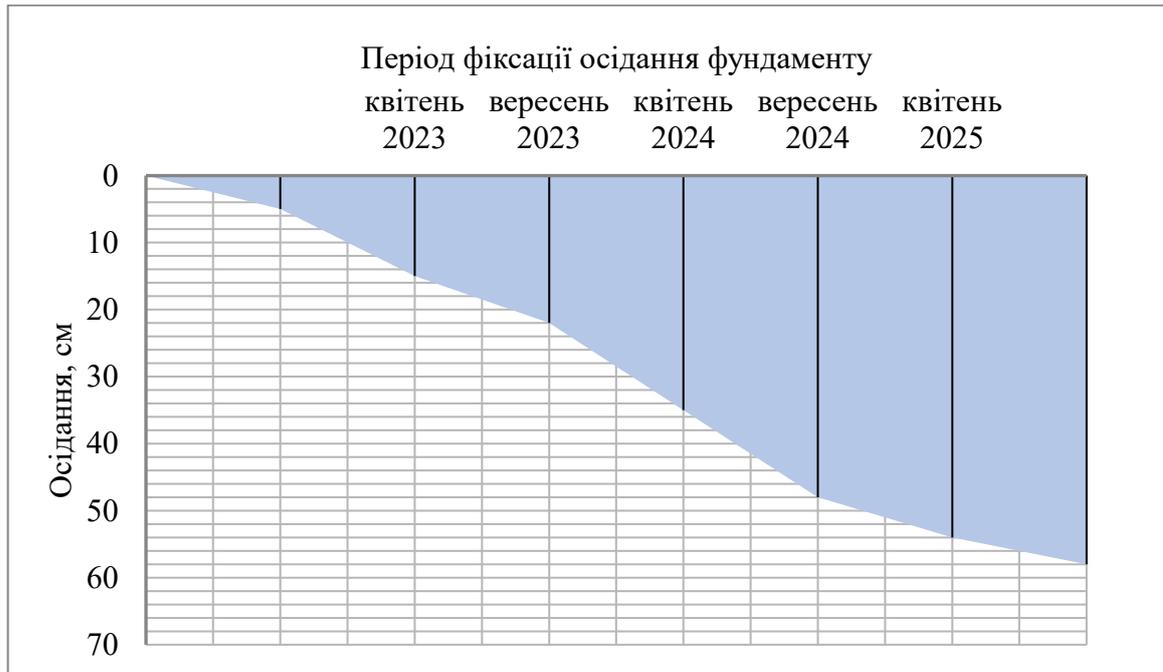


Рисунок 6 - Графік зміни максимального осідання за спостережною маркою №1 на торці будівлі за період спостереження

Обстеження показало, що на ділянці вздовж фасаду по осях 1 – 2 стався аварійний прорив водопроводу та тривалий період ґрунтовий масив, на якому розташована будівля школи, піддавався значному зволоженню з водонесучих комунікацій.

Необхідно відзначити, що будівлі школи збудовані таким чином, що утворили замкнутий контур, порушивши природний стік поверхневих вод (дошової та талої) з дворової території. Все це і спричинило замочування ґрунтів основи фундаментів, що призвело до утворення «просадної вирви» під фундаментами. Розвиток просідання став основною причиною безперервних нерівномірних деформацій будівель.

Фундаменти будівлі зазнали нерівномірного осідання. У рівні цоколя утворилися тріщини із розкриттям 1...3 мм.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЕСОВОГО ҐРУНТУ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТУ

У 2023 – 2025 роках для детального вивчення та виявлення поточних змін стану ґрунтів основ проведено підкоп під підшву фундаменту (на плані - III) по зовнішній частині будівлі та влаштовано свердловини (4 штуки) по периметру будівлі до глибини 4,0 м від рівня фундаменту (рис. 2). Був проведений відбір зразків ґрунту згідно загальноприйнятої методики для проведення лабораторних досліджень. Зразки ґрунту, які відібрані в зоні зволоження та поза межами зволоження фундаменту, окремо піддавалися лабораторному дослідженню.

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

Зміна фізико-механічних властивостей лесових суглинків ділянки в межах будинку

Ділянки дослідження	$W, \%$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho_d, \text{г/см}^3$	e	$\varphi, \text{град}$	$c, \text{МПа}$	$E, \text{МПа}$
Поза межами зволоження	14,3	1,69	1,47	0,84	24	0,047	8
У зоні зволоження	26,1	1,85	1,53	0,61	20	0,022	4

За період експлуатації будівлі в несучому шарі відбулися наступні кількісні зміни в фізико-механічних властивостях ґрунту. Вологість ґрунту (w) збільшилася з 14,3% до 26,1%. Зі збільшенням вологості лесового суглинку основи усереднене значення кута внутрішнього тертя (φ) зменшилося з 24^0 до 20^0 , а питоме зчеплення, (c) – з 0,047 до 0,022 МПа.

Збільшення вологості пояснюється постійним затопленням ґрунту основи витокami від водопровідних систем та атмосферних опадів.

На основі викладеного вище, можна зробити висновок, що міцнісні та просідаючі характеристики ґрунтів повинні визначатися з урахуванням можливого підвищення ступеня їх вологості в період експлуатації будівель.

Результат дослідження також показав, що Модуль загальної деформації лесового суглинку значно зменшився з 8,0 до 4,0 МПа (вдвічі). Це означає, що при замочуванні ґрунту під подошвою фундаменту завжди знижується модуль деформації, що потрібно враховувати під час проектування будівлі на слабких ґрунтах.

Щільність ґрунту (ρ) змінилася з 1,69 до 1,85 г/см³. Цей результат є очікуваним, оскільки ґрунт під дією тривалого навантаження від будівлі ущільнюється. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) збільшилася з 1,47 до 1,53 г/см³.

Лесові ґрунти цього району мають високу пористість $e = 0,84$, але під тривалою дією навантаження при зволоженні значення цього показника зменшилося і становить $e = 0,61$.

Ці дані свідчать про значну зміну фізико-механічних показників ґрунтів у результаті обводнення ґрунту основи.

Лесові ґрунти ділянки в межах будівлі залежно від можливого прояву просідання від власної ваги при зволоженні відносяться до I типу [5,6,7].

Визначення характеристик просідання було проведено у компресійних приладах за методом "двох кривих". Випробування за схемою "двох кривих" проводились на зразках, відібраних у зоні зволоження з-під фундаменту та поза межами зволоження. Лабораторні дослідження проводились згідно стандартної методики [9].

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 $p, \text{кПа}$					Початковий тиск просідання $p_{sl}, \text{кПа}$
	50	100	150	200	300	
Поза межами зволоження	0,008	0,019	0,054	0,075	0,090	65
У зоні зволоження	0,003	0,008	0,026	0,043	0,054	101

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

У зоні зволоження величина початкового тиску просідання становить $p_{sl} = 101$ кПа. За даними досліджень поза межами замочування основи фундаментів будівлі значення початкового тиску склало $p_{sl} = 65$ кПа.

За обчисленими значеннями визначалася залежність відносного просідання від тиску ($\varepsilon_{sl} = f(p)$) (рис. 7)

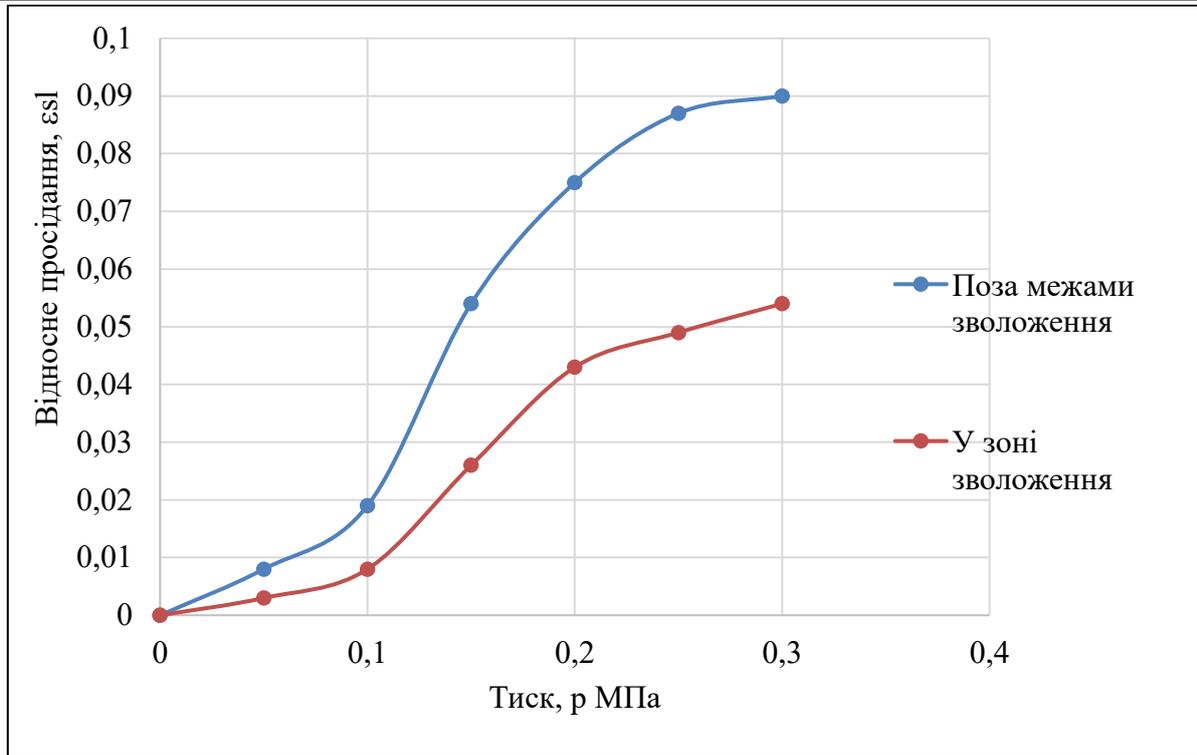


Рисунок 7- Графік залежності відносного просідання від тиску $\varepsilon_{sl} = f(p)$ для лесового суглинку у зоні інтенсивного зволоження та поза межами зволоження

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 65 до 101 кПа, що складає 55%.

ДОСЛІДЖЕННЯ ҐРУНТУ ПРИ ЗВОЛОЖЕННІ ВОДОЮ РІЗНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Візуальне обстеження будівлі 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 дослідження, додатково, було проведено лабораторні дослідження із водонасиченням ґрунту водою кімнатної температури та гарячою 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 $t = 15^\circ\text{C}$, 25°C , 50°C , 70°C та 90°C . Протягом 3-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 25 хвилин знімалися показники індикаторів годинникового типу компресійних приладів.

Дослідження проводилися на зразках лесового суглинку, відібраних у незатопленій зоні фундаменту обстежуваної будівлі.

Основним завданням цього етапу дослідження було з'ясування впливу гарячої води на просідаючі властивості лесових ґрунтів. Випробування проводилися на 11-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.

Результати компресійних випробувань зразків ґрунту з зволоженням їх гарячою водою наведено у таблиці 3.

Результат проведеного дослідження показує, що є залежність між просідаючими параметрами лесового ґрунту та температурою води зволоження.

При зволоженні зразків лесового ґрунту гарячою водою різної температури величина і інтенсивність просідання стала більша, ніж при зволоженні лесового ґрунту водою кімнатної температури ($20 \div$

25°C); так, при зволоженні холодною водою (нижче кімнатної температури) $t=15^{\circ}\text{C}$ і при поступовому зростанні температури води до $t=90^{\circ}\text{C}$ усереднена величина відносного просідання лесового ґрунту збільшилась з 0,0722 до 0,0892, що складає майже 25%.

Таблиця 3

Величина відносного просідання ґрунту при зволоженні водою різної температури

Результати компресійних випробувань		Температура води зволоження ґрунту, °C				
		15	25	50	70	90
Відносне просідання ε_{sl} при $p=0,3\text{МПа}$	зразок 1	0,0774	0,0842	0,0946	0,0957	0,0979
	зразок 2	0,0683	0,0749	0,0835	0,0956	0,0997
	зразок 3	0,0775	0,0834	0,0928	0,0969	0,0979
	зразок 4	0,0668	0,0681	0,0697	0,0751	0,0767
	зразок 5	0,0823	0,0844	0,0889	0,0946	0,0958
	зразок 6	0,0588	0,0640	0,0677	0,0699	0,0721
	зразок 7	0,0671	0,0685	0,0732	0,0768	0,0778
	зразок 8	0,0722	0,0745	0,0788	0,0845	0,0859
	зразок 9	0,0685	0,0741	0,0776	0,0797	0,0823
	зразок 10	0,0672	0,0733	0,0829	0,0869	0,0877
	Зразок 11	0,0880	0,0943	0,10945	0,1050	0,1077
	$\sum \bar{\varepsilon}_{sl}$	0,7941	0,8437	0,9192	0,9607	0,9815
Усереднена величина відносного просідання $\bar{\varepsilon}_{sl}$ при $p=0,3\text{МПа}$ для досліджуваної ділянки	$\bar{\varepsilon}_{sl} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	0,0722	0,0767	0,0836	0,0873	0,0892

Результат проведеного дослідження показує, що є залежність між просідаючими параметрами лесового ґрунту та температурою води зволоження.

При зволоженні зразків лесового ґрунту гарячою водою різної температури величина і інтенсивність просідання стала більша, ніж при зволоженні лесового ґрунту водою кімнатної температури ($20 \div 25^{\circ}\text{C}$); так, при зволоженні холодною водою (нижче кімнатної температури) $t=15^{\circ}\text{C}$ і при поступовому зростанні температури води до $t=90^{\circ}\text{C}$ усереднена величина відносного просідання лесового ґрунту збільшилась з 0,0722 до 0,0892, що складає майже 25%.

Дослідження параметрів просідання лесового ґрунту в лабораторних умовах показали, що збільшення температури зволоження води призводить до зростання величини відносного просідання (рис. 8).

Дослідження показало, що температура води зволоження вплинула на прискорення перебігу процесу просідання ґрунту основи фундаментів і, як наслідок, деформації будівлі у вигляді тріщини на його стінах. Результатом лабораторного дослідження зазначено, що параметр відносного просідання лесового ґрунту при зростанні температури води зволоження збільшується.

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.

ПЕРСПЕКТИВА ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

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

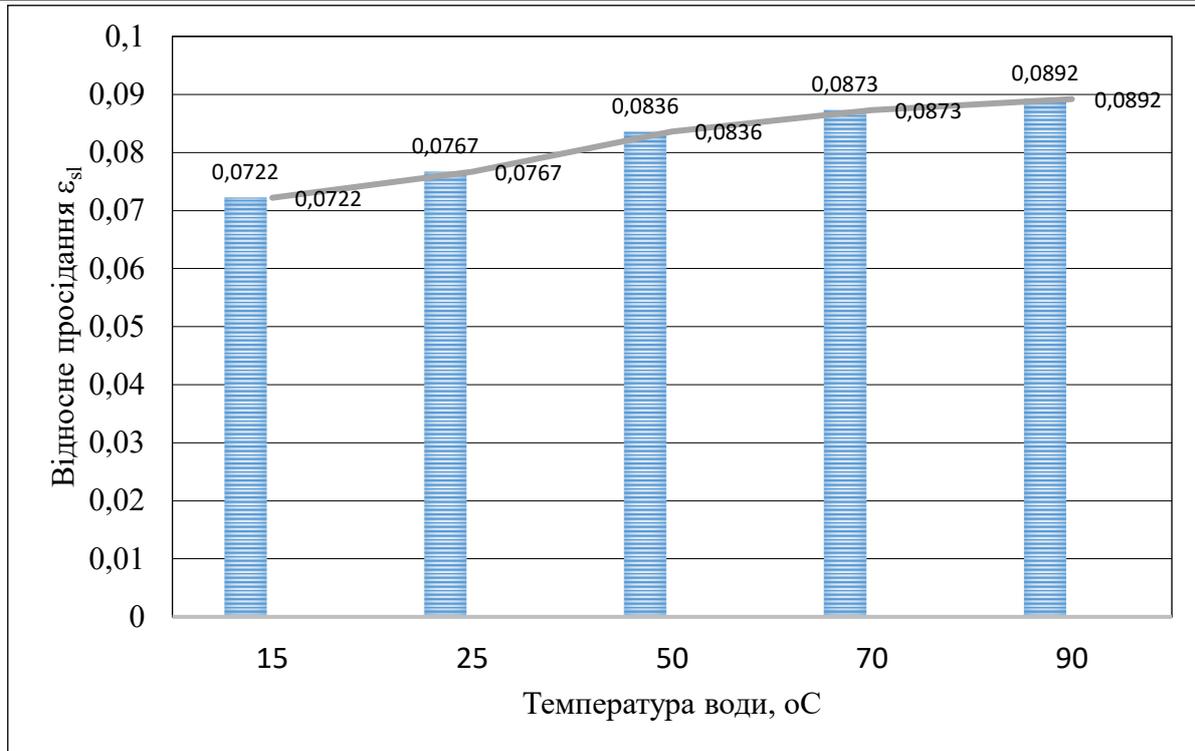


Рисунок 8 - Зміна величин відносного просідання лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ЗА РОЗВИТКОМ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ

В даний час спостерігається активний розвиток технологій моніторингу деформацій будівель та споруд. Особлива увага приділяється розробці та впровадженню автоматизованих систем моніторингу, які дозволяють проводити безперервний контроль за станом конструкцій у режимі реального часу. Ці системи включають датчики, які вимірюють деформації, напруги, температуру, вологість та інші параметри, а також програмне забезпечення, яке обробляє дані і видає попередження про можливі проблеми. Одним із перспективних напрямів є використання штучного інтелекту (ШІ) для аналізу даних моніторингу. Алгоритми ШІ можуть виявляти приховані закономірності та передбачати виникнення деформацій, що дозволяє вживати превентивних заходів.

На закінчення слід зазначити, що деформації будівель та споруд є складною та багатогранною проблемою, яка потребує комплексного підходу до її вирішення. Вивчення причин виникнення деформацій, розробка ефективних методів їх виявлення та моніторингу, а також впровадження нових технологій дозволяють забезпечувати безпеку та довговічність об'єктів інфраструктури.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

За результатами проведеного дослідження для підвищення експлуатаційної надійності будівель було рекомендовано такі інженерні заходи:

- організувати вертикальне планування території для відведення атмосферних опадів;
- замінити зношені та пошкоджені водопровідні труби системи розподілу води;
- розробити проект посилення пошкоджених несучих конструкцій;
- дотримуватись вимог норм щодо експлуатації будівель, зведених на просідаючих ґрунтах;
- продовжити моніторинг за деформаціями будівлі та зоною вологого середовища.

Висновки

- Технічний стан фундаментів будівлі працездатний, зовнішніх та внутрішніх стін – обмежено працездатний. Дефектів та пошкоджень, що свідчать про вичерпання несучої здатності та можливості обвалення конструкцій, не виявлено.
- Основним пошкодженням зовнішніх та внутрішніх стін є вертикальні тріщини, причинами утворення яких є зволоження ґрунтів основи фундаментів будівлі.

- Результати лабораторного дослідження лесового ґрунту при зволоженні водою різної температури показали пряму залежність між просідаючими параметрами лесових ґрунтів та температурою води зволоження.
 - При збільшенні температури води зволоження величина відносного просідання збільшилася майже на 25%, що є суттєвим зростанням кількісних параметр ґрунту.
 - Аналіз характеристик просідання лесових суглинків основи в межах будівлі до будівництва та на період дослідження показує, що зменшення значень ε_{sl} коливається від 160% при малих навантаженнях до 65% при навантаженні 0,3 МПа.
 - Значення початкового тиску просідання p_{sl} в порівнянні з значенням до будівництва будівлі збільшилося на 55%.
 - За період експлуатації будівлі модуль деформації лесових основ зменшився на 100% (з 8,0 до 4,0 МПа).
 - В результаті збільшення вологості лесового ґрунту основи усереднене значення кута внутрішнього тертя зменшилося на 20%, а питоме зчеплення зменшилося на 114%.
 - В результаті підтоплення вологість ґрунту (w) збільшилася з 14,3% до 26,1%.
 - Зі збільшенням вологості лесового суглинка основи фундаменту усереднене значення кута внутрішнього тертя (φ) зменшилося з 240 до 200, питоме зчеплення, (c) – з 0,047 до 0,022 МПа.
 - Щільність ґрунту (ρ) змінилася з 1,69 до 1,85 г/см³. Цей результат є очікуваним, оскільки ґрунт під дією тривалого навантаження від будівлі ущільнюється;
 - Щільність сухого ґрунту (ρ_d) збільшилася з 1,47 до 1,53 г/см³.
- Акумулявання даних на основі проведених геотехнічних обґрунтувань та геодезичного моніторингу за деформаціями будівель дозволяє вводити коригувальні коефіцієнти зміни параметрів просідання лесових ґрунтів за період експлуатації будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Басараб В. А. Визначення технологічних параметрів процесу ущільнення ґрунту//Міжвідомчий науково-технічний збірник "Основи і фундаменти". Київ. КНУБА. 2020. № 45. с. 3 – 15.
- [2] Бойко, І., Скочко, Л., & Хоронжевський, М. (2021). Ідентифікація параметрів ґрунтів на основі результатів натурних випробувань палів. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (42), 9–18. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.42.2021.9-18>
- [3] Вабішевич М. О. Аналіз напружено-деформованого стану фундаменту-оболонки при взаємодії із пружно-пластичним середовищем /М. О. Вабішевич, Г. А. Загилук //Опір матеріалів і теорія споруд: наук. – тех. збірник. Київ. КНУБА, 2021. вип. 106. с. 105–112. doi: 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] Гладішев Д. Г., Гладішев Г. М. Визначення характеру деформацій будівель і споруд за напрямками та шириною тріщино утворення //Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2024. Вип. 46. С. 171-184. <http://doi.org/10.31713/budres.v0i46.20>.
- [6] Гладішев, Г. М., & Гладішев, Д. Г. (2025). Підходи до оцінки деформацій існуючих будівель ущільненої забудови за результатами обстежень їх фасадів. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (16), 171–182. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.16.2025.171-182>.
- [7] ДСТУ Б В.2.1-4-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості.
- [8] ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 35 с.
- [9] ДСТУ Б В.2.1-22:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання
- [10] ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ, 2017. 45 с.
- [11] Zhiqian Wang, Liangliang Xin, Shuaihua Ye, Jian Wu, Weina Ye & Jingbang Li. (2025). Study on negative friction of pile foundation in homogeneous layered soil in collapsible loess area/ *Scientific Reports* | (2025) 15:6540. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86942-8>
- [12] Francesco Castelli, Salvatore Grasso, Valentina Lentini, & Maria Stella Vanessa Sammito. (2021). Effects of Soil-Foundation-Interaction on the Seismic Response of a Cooling Tower by 3D-FEM Analysis/ *Geosciences*, Italy, 2021, 11(5), 200; <https://doi.org/10.3390/geosciences11050200>
- [13] Жук В. В. Вплив можливого водонасичення лесового ґрунту на напружено-деформований стан фундаментів багатопверхового будинку /Вероніка Жук, Ірина Павленко//Основи і фундаменти. – К.: КНУБА. – 2022. – Вип.44. – С. 27-43. DOI: <https://doi.org/10.32347/0475-1132.44.2022.27-43>
- [14] Зоценко М. Л., Винников Ю. Л. Особливості деформування основ при влаштуванні глибоких котлованів// *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – 2(55) 2020, pp 76-81. <https://doi.org/10.26906/znп.2020.55.2346>
- [15] Іщенко Ю. І., Мелашенко Ю. Б., Бень І. В., Слюсаренко Ю. С., Яковенко М. С. Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови // *Наука та будівництво*. Київ, 2020. № 25(3). С. 13-25. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>.

- [16] Корнієнко М. В., Корзаченко М. М. Деформації малоповерхових будівель та споруд. Міжвідомчий науково-технічний збірник "Основи та фундаменти" ISSN: 0475-1132 №38, 2019. с. 44 – 52. DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.44-52
- [17] Korff M. Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils. Delft Cluster, 2009, 143p. URL: https://publications.deltares.nl/1001307_004.pdf.
- [18] Моргун А. С., Мет І. М. Геотехнічні питання дослідження технічного стану споруди на слабких ґрунтах за методом граничних елементів. КНУБА, основи та фундаменти. 2024. Випуск 48. DOI: 10.32347/0475-1132.48.2024.32-38
- [19] 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. doi: 10.31650/2415-377X-2019-75-151-157
- [20] 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.
- [21] Швець В. Б., Бойко І. П., Винников Ю. Л., Зоценко М. Л., Петраков О. О., та Біда С. В, Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Дніпропетровськ: Пороги, 2014.
- [22] Ukleja J. Renovation of the historic building after damage connected with foundations subsidence – case study. MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 174, 03006, pp. 1– 11. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817403006>.
- [23] Яковенко, М., Мелашенко, Ю., Зорін, Є., & Бень, І. (2023). Багаторічний моніторинг деформацій будівель і споруд геодезичними методами. Наука та будівництво, 37(3). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>
- [24] Yi Liu. (2024). Research on foundation engineering design and construction technology in soft soil area/ Journal of Civil Engineering and Urban Planning (2024) Clausius Scientific Press, Canada. ISSN 2616-3969 Vol. 6 Num. 1. DOI: 10.23977/jceup.2024.060123

REFERENCES

- [1] Basarab V.A. Determination of technological parameters of the soil compaction process//Interdepartmental scientific and technical collection "Fundamentals and foundations". Kyiv. KNUBA. 2020. No. 45. pp. 3 – 15.
- [2] Boyko, I., Skochko, L., & Khoronzhevsky, M. (2021). Identification of soil parameters based on the results of field pile tests. Bases and Foundations / Основы та Фундаменты, (42), 9–18. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.42.2021.9-18>
- [3] Vabishchevich M.O. Analysis of the stress-strain state of the foundation-shell when interacting with an elastic-plastic medium /M.O. Vabishchevich, G.A. Zatylyuk //Resistance of materials and theory of structures: scientific - technical collection. Kyiv. KNUBA, 2021. issue. 106. pp. 105–112. doi: 10.32347/2410-2547.2021.106.105-112.
- [4] Vynnikov Y.L., Manzhaliy S.M. (2020). Improving geotechnical monitoring of reinforcement of deformed buildings on pile foundations. Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice, 18, 28-39. <https://doi.org/10.15802/btrp2020/217695>
- [5] Gladyshev D.G., Gladyshev G.M. Determination of the nature of deformations of buildings and structures by the directions and width of crack formation //Resource-saving materials, structures, buildings and structures. Rivne, 2024. Issue 46. P. 171-184. <http://doi.org/10.31713/budres.v0i46.20>.
- [6] Gladyshev, G.M., & Gladyshev, D.G. (2025). Approaches to the assessment of deformations of existing buildings of compacted development based on the results of surveys of their facades. Building structures. Theory and practice, (16), 171–182. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.16.2025.171-182>
- [7] DSTU B V.2.1-4-96 Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Methods for laboratory determination of strength and deformability characteristics.
- [8] DBN V.2.1-10:2018 Foundations and foundations of buildings and structures. Basic provisions. – Effective from 2019–01–01. – Kyiv: Minregion of Ukraine, 2018. – 35 p.
- [9] DSTU B V.2.1-22:2009 Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Method for laboratory determination of settlement properties
- [10] DSTU-N B V.1.2-18:2016. Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Kyiv, 2017. 45 p.
- [11] Zhiquan Wang, Liangliang Xin, Shuaihua Ye, Jian Wu, Weina Ye & Jingbang Li. (2025). Study on negative friction of pile foundation in homogeneous layered soil in collapsible loess area/ Scientific Reports | (2025) 15:6540. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86942-8>
- [12] Francesco Castelli, Salvatore Grasso, Valentina Lentini, & Maria Stella Vanessa Sammito. (2021). Effects of Soil-Foundation-Interaction on the Seismic Response of a Cooling Tower by 3D-FEM Analysis/ Geosciences, Italy, 2021, 11(5), 200; <https://doi.org/10.3390/geosciences11050200>
- [13] Zhuk V.V. The influence of possible water saturation of loess soil on the stress-strain state of the foundations of a multi-storey building /Veronika Zhuk, Iryna Pavlenko//Foundations and foundations. – K.: KNUBA. – 2022. – Issue 44. – P. 27-43. DOI: <https://doi.org/10.32347/0475-1132.44.2022.27-43>
- [14] Zotsenko M.L., Vynnikov Y.L. Peculiarities of deformation of foundations during the construction of deep excavations// Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2(55) 2020, pp. 76-81. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.55.2346>
- [15] Ishchenko Y.I., Melashenko Y.B., Ben I.V., Slyusarenko Y.S., Yakovenko M.S. Geotechnical monitoring in conditions of dense urban development // Science and Construction. Kyiv, 2020. No. 25(3). P. 13-25. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v25i3.2>.
- [16] Kormienko M.V., Korzachenko M.M. Deformations of low-rise buildings and structures. Interdepartmental scientific and technical collection "Fundamentals and foundations" ISSN: 0475-1132 No. 38, 2019. pp. 44 – 52. DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.44-52
- [17] Korff M. Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils. Delft Cluster, 2009, 143p. URL: https://publications.deltares.nl/1001307_004.pdf.
- [18] Morgung A.S., Met I.M. Geotechnical issues of studying the technical condition of a structure on weak soils using the boundary element method. KNUBA, bases and foundations. 2024. Issue 48. DOI: 10.32347/0475-1132.48.2024.32-38
- [19] Samchenko R.V., Yukhymenko A.I. Elimination of the deformed state of buildings and structures in water-saturated conditions. Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2019. issue. 75. p.151– 156. doi: 10.31650/2415-377X-2019-75-151-157
- [20] Timchenko R.O. Arrangement of bases and foundations on subsiding soils /R.O. Timchenko, D.A. Krishko, T.A. Baron //Mining

Bulletin, 2021. issue. 109. pp. 41–45.

- [21] Shvets V. B., Boyko I. P., Vynnikov Y. L., Zotsenko M. L., Petrakov O. O., and Bida S. V., Soil Mechanics. Foundations and Foundations. Dnipropetrovsk: Porogy, 2014.
- [22] Ukleja J. Renovation of the historic building after damage connected with foundations subsidence – case study. MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 174, 03006, pp. 1– 11. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817403006>.
- [23] Yakovenko, M., Melashenko, Yu., Zorin, E., & Ben, I. (2023). Long-term monitoring of deformations of buildings and structures using geodetic methods. Science and Construction, 37(3). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>
- [24] Yi Liu. (2024). Research on foundation engineering design and construction technology in soft soil area/ Journal of Civil Engineering and Urban Planning (2024) Clausius Scientific Press, Canada. ISSN 2616-3969 Vol. 6 Num. 1. DOI: 10.23977/jceup.2024.060123

Демессіє Мекурія Келкай — к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Черкаського державного технологічного університету, м. Черкаси, Україна, demessiemk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5015-4820>

Грецький Денис Володимирович — к.т.н., доцент, Декан факультету технологій, будівництва та раціонального природокористування Черкаського державного технологічного університету, м. Черкаси, Україна, d.hretskyi@chdtu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3086-0939>

Пряник Сергій Петрович — к.т.н., доцент, Завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва Черкаського державного технологічного університету, м. Черкаси, Україна, s.prianyk@chdtu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4430-4287>

M. Demessie
D. Gretskeyi
S. Pryanik

DEFORMATIONS OF LOW-RISE BRICK BUILDINGS CAUSED BY UNEQUAL SETTLEMENTS OF FOUNDATION BASES

Cherkasy State Technological University

The article presents the results of a study of the causes of progressive uneven deformations of buildings using real examples under conditions of wetting of the foundation soils with water.

It was found that the subsidence of the base soils in the area under the sole of the foundations led to the appearance of deformations in the form of cracks in the brick walls of the building with an opening width of up to 24 mm.

Analysis of the obtained data allowed us to establish that the cause of uneven deformations is the deterioration of the deformation parameters of subsidence of loess soils of the foundations due to flooding by leaks from emergency damage to water supply systems.

Laboratory studies of loess soils of the base revealed a significant change in their physical, mechanical and subsidence properties. The moisture content of the base soils increased from 14.3% to 26.1%, which is 82%.

The results of laboratory studies showed that during the period of operation of the building, the following quantitative changes occurred in the bearing layer: the modulus of deformation of the loess base decreased by 100%; with an increase in the moisture content of the loess base soil, the average value of the angle of internal friction decreased by 20%, and the specific adhesion decreased by 114%, the porosity coefficient decreased by almost 38%.

Analysis of the parameters of subsidence of loess loams of the base within the building outside the humidification zone and in the humidification zone shows that the reduction in the quantitative values of relative subsidence ranges from 165% at low loads to 66% at a load of 0.3 MPa.

During the period of exploitation of the building, the bearing layer of loess soil was compacted. At the same time, the value of the initial subsidence pressure increased compared to the design value. The increase in the quantitative value of the initial subsidence pressure reaches 55%.

Laboratory studies of loess soil samples when moistened with water of different temperatures showed an increase in the parameters of relative subsidence with increasing water temperature.

At the same time, the increase in the value of relative subsidence reaches almost 25%. Laboratory studies confirmed the assumption about the influence of the temperature of the moistening water on the acceleration of the process of subsidence of the base soil and, as a result, deformation of the building in the form of cracks on its walls.

Keywords: uneven deformations, cracks in walls, building exploitation, above-ground structures, building deformation, foundation base, loamy soil, relative subsidence, moistening of subsiding soils, stress-strain state.

Mekuria Demessie — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Industrial and Civil Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine. demessiemk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5015-4820>.

Denys Gretskeyi — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Technology, Construction and Rational Nature Management, Cherkasy State Technological University. d.hretskyi@chdtu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-3086-0939>.

Sergey Pryanik — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial and Civil Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine. s.prianyk@chdtu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-4430-4287>.