

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ

Шокарев Андрій Вікторович



УДК 624.131.31.34

**ІНФОРМАЦІЙНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УСУНЕННЯ КРЕНІВ
БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ**

05.13.06 — Інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

Науковий
керівник:

доктор технічних наук, професор

Калюх Юрій Іванович,

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, головний науковий співробітник.

Офіційні
опоненти:

доктор технічних наук, професор

Мокін Віталій Борисович,

Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

кандидат технічних наук, доцент

Мошенський Андрій Олександрович,

Національний університет харчових технологій, доцент
кафедри інформаційних технологій штучного інтелекту і кіберзахисту

Захист відбудеться 15 лютого 2024 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України за адресою: 03186, м. Київ, бул. Чоколівський, 13, ауд. 601.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці

Автореферат розісланий "13" січня 2024 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.255.01 д.т.н.



О.М.Терентьєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Крен будівлі (споруди) є одним із критеріїв, що визначає можливість її безпечної експлуатації. Однак у багатьох випадках крен фундаменту на різних етапах життєвого циклу будівельного об'єкта перевищує допустимі нормативні величини, а іноді – й граничні (рис. 1). Розвиток інформаційних технологій та експериментальних методів неруйнівного контролю сприяє вирішенню сучасних проблем будівельної галузі, що пов'язані з аналізом поточного технічного стану (ТС) багатоповерхових будівель (ББ) і прогнозуванням його змін у майбутньому. При цьому зростають вимоги до точності прогнозу змін технічного стану ББ, що обумовлені проблемами території, де вони розташовані: врахування деградації ґрунтів основи, підтоплення території, підвищення сейсмічної активності та глобальних змін, пов'язаних із потеплінням. Все це потребує системного аналізу багатьох факторів впливу, які раніше не бралися до уваги, нових методів, прецизійних чутливих елементів та нових інформаційних технологій, які здатні синтезувати в собі все вищезгадане. Це дозволить зменшити вплив невизначеностей різної природи, пов'язаних зі зміною фізико-механічних властивостей (ФМВ) ґрунтів основи, зміною міцності будівельних матеріалів та конструкцій (рис. 2) та, у підсумку, підтримувати прийняття більш виважених та обґрунтованих управлінських рішень.



Рис. 1. Крен п'ятиповерхового будинку в м. Кам'янське внаслідок прориву водогінних комунікацій.



Рис. 2. Замикання деформаційного шва між 9-поверховими житловими будинками в м. Запоріжжя.

У той же час необхідно відзначити й те, що невизначеність у початково-крайових умовах, що необхідні для коректної оцінки поточного ТС ББ, не лише не зменшується, а й зростає. Інформація щодо ФМВ ґрунтів основи ББ та ТС її будівельних конструкцій може швидко змінюватися внаслідок прориву комунікацій, нерівномірного осідання, крену тощо; також вона отримується з різних джерел з різною точністю (похибкою) приладів, різною кваліфікацією експертів, часто є неповною, недостовірною, застарілою або спотвореною. Всі ці фактори значно ускладнюють прийняття коректних оперативних управлінських рішень (наприклад, при вирівнюванні будівель), оцінку відповідності ТС ББ діючим будівельним нормативам та прогнозування його зміни навіть у найближчому майбутньому.

При цьому надмірне бажання за допомогою сертифікованих в Україні в галузі будівництва програмних комплексів LIRA або SCAD деталізувати структуру напружено-деформованого стану (НДС) ББ, якнайточніше виявити закономірності зміни ТС ББ при відсутності повної інформації про початково-крайові умови розрахункової задачі, характер їх еволюційної динаміки і т.д. може в окремих випадках призвести до спотворення результатів. Це обумовлено обмеженістю математичних моделей ББ, що входять до складу цих програмних комплексів, у зв'язку неврахуванням в них реальної нелінійної поведінки ББ, обмеженістю врахування ФМВ ґрунтів основи та будівельних матеріалів, закладених в їх теоретичну основу.

Тому актуальною залишається проблема розробки інформаційної технології діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі для ліквідації її крену, яка би враховувала фактичні зміни початково-крайових умов, зміни ФМВ ґрунтової основи та будівельних матеріалів, що складають ББ, їх еволюцію протягом всього процесу вирівнювання та фіксації ББ в новому горизонтальному положенні на основі експериментальної інформації з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ (*елементи Digital Twins (DT)*). Все це відбувається в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій, що можуть спричинити руйнування вирівнюваної ББ (рис. 3).



Рис. 3. Затоплення котловану з буровим обладнанням при виконанні робіт з усунення крену п'ятиповерхового великопанельного будинку внаслідок аварійного прориву водопроводу (м. Селідово).

Важливою та **актуальною науково-прикладною задачею**, що розв'язується в дисертаційній роботі, є створення нової інформаційної технології діагностування поточного стану ББ (ІТД-ББ) яка містить налаштування та верифікацію комп'ютерної моделі ББ в сукупності з уточненням початково-крайових умов (з урахуванням поточного ТС будівельних конструкцій ББ, зміни їх міцності та зміни ФМВ ґрунтів основи за часом та деградацією); підготовку, отримання та аналіз первинної та онлайн-інформації

протягом усього процесу вирівнювання за допомогою розподілених по ББ розроблених за участю здобувача прецизійних чутливих елементів вимірювання кутових деформацій (*елементи DT*); забезпечення зворотного зв'язку в системі управління процесом вирівнювання на основі експериментальної онлайн-інформації з інклінометричних датчиків та за результатами поточного математичного моделювання НДС будівельних конструкцій ББ; системний аналіз онлайн-результатів експериментальних даних та результатів поточного математичного моделювання НДС ББ з метою оцінки її поточного технічного стану для коригування управлінських рішень протягом всього процесу вирівнювання з кінцевою метою надійної фіксації будівлі в новому горизонтальному положенні при одночасному забезпе-

ченні надійного функціонування ББ без зупинки функціонування інженерних мереж ББ, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в рамках досліджень за темами: «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестационарних процесів» (2016–2020 рр., номер Державної реєстрації 0116U000793); «Розробка багатохвильових нелінійних моделей просторових протяжних систем та об'єктів в полі масових і поверхневих сил» (2022–2026 рр., номер Державної реєстрації 0122U000147) (ІТГІП НАНУ).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – розробка нової інформаційної технології діагностування поточного стану ББ для ліквідації її наднормативного крену *при одночасному забезпеченні надійного функціонування ББ протягом всього процесу вирівнювання без зупинки функціонування її інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців*, що дозволить підвищити якість прогнозу змін ТС ББ при керованому усуненні наднормативного крену та приймати відповідальні управлінські рішення в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій.

Завдання дослідження:

- систематизувати та узагальнити інформацію щодо сучасних спеціалізованих інформаційних технологій і моніторингових систем, що застосовуються в техніці, математичних моделей і чисельних методів розрахунку основ і фундаментів будівель, теоретичних і експериментальних досліджень із реєстрації нерівномірних осідань і кренів;

- розробити методичний, апаратний, математичний, алгоритмічний і програмний апарат ІТДББ, що містить додатково математичні моделі будівель і ґрунтів основи, що будуть використані в процесі вирівнювання ББ;

- удосконалити прецизійні чутливі інклінометричні елементи, провести їх тестування та відповідні метрологічні дослідження;

- розробити програму оперативної обробки в онлайн-режимі експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що будуть розподілені по ББ в процесі ліквідації її наднормативного крену та графічної інтерпретації результатів для кращого сприйняття інформації особою, що приймає рішення (ОПР);

- удосконалити систему передачі експериментальних даних з інклінометричних датчиків за допомогою хмарних технологій;

- синтезувати усе вищезгадане у вигляді нової ІТДББ.

Об'єкт дослідження – нелінійні нестационарні процеси при ліквідації наднормативних кренів ББ, що протікають в умовах невизначеності та будівельних ризиків.

Предмет дослідження – інформаційні технології онлайн-оцінки та прогнозування еволюції ТС ББ при нелінійних нестационарних процесах (*ліквідації наднормативних кренів ББ*) на основі експериментальних даних з інклінометричних датчиків, що уточнюють початково-крайові умови математичних моделей прикладних програм, синтез експериментальних та розрахункових результатів у вигляді підтримки прийняття управлінських рішень ОПР протягом всього процесу вирівнювання та деякого часу після його закінчення в умовах невизначеності зміни ФМВ

грунтів основи, будівельних матеріалів окремих конструкцій ББ і ризиків її руйнування.

Методи досліджень. Для аналізу і обробки інформації використовувались методи статистичного аналізу даних, експертного оцінювання. Для побудови, аналізу і оцінювання прогнозів використовувались методи прогнозування на основі теорії подібності процесів, регресійного аналізу з використанням результатів чисельного моделювання НДС ББ, її ґрунтових основ з залученням експериментальних даних технічної діагностики ББ. Для розроблення інформаційної технології використано методи системного аналізу. Для практичної реалізації ІТДББ – прикладне програмування, методи реалізації систем підтримки прийняття рішень (СППР) при вирівнюванні ББ.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- розроблено ІТДББ для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, ФМВ ґрунтів основи та властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноутворення) без зупинки функціонування інженерних мереж ББ, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців протягом всього часу вирівнювання, а також деякого часу після його завершення;

- розроблено спеціалізовану програму «Pendulum» для оперативної обробки в онлайн-режимі експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ (*елементи DT*), в процесі ліквідації її наднормативного крену, а також для графічної інтерпретації результатів задля кращого сприйняття інформації ІТДББ ОПР, що є елементом зворотного зв'язку при підтримці оперативних управлінських рішень в процесі ліквідації наднормативного крену ББ.

Удосконалено:

- математично-алгоритмічний апарат ІТДББ, що містить математичні моделі будівель та ґрунтів основи, що були використані в процесі вирівнювання ББ.

- прецизійні чутливі інклінометричні елементи, розроблено спеціальний стенд для їх тестування та проведення метрологічних досліджень;

- безперервний зв'язок між результатами вимірювань від прецизійних чутливих інклінометричних елементів, що розподілені по ББ, та пакетом прикладних програм ЛІРА САПР для оперативного врахування зміни початково-крайових умов при поточних розрахунках НДС ББ протягом всього процесу вирівнювання та деякого часу після його завершення.

Отримала подальший розвиток система передачі цифрових експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ, за допомогою сучасних хмарних технологій (*елементи Internet of Things (IoT)*).

Практичне значення отриманих результатів. Наукові, методичні та практичні розробки дисертаційної роботи у вигляді нової ІТДББ ББ впроваджені в будівельну практику м. Запоріжжя при ліквідації наднормативних кренів 7 ББ (*довідка про впровадження наведена в Додатку А1*). Здобувач брав участь в розробці нормативного документу вітчизняної будівельної галузі ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 (*Додаток А2*).

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно отримані теоретичні та

практичні результати, що виносяться на захист. Автором особисто виконано пошук та аналіз літературних джерел за тематикою дисертаційної праці. Особисто здобувачем розроблені наукові положення, висновки та рекомендації, що викладені в дисертації. В роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувач: у статтях [1, 2, 3, 23, 24, 25, 27] – взяв участь в експериментальних дослідженнях (візуальні обстеження, експериментальна реєстрація параметрів ґрунту та будівельних конструкцій), оформленні статей до друку; в працях [4, 5, 6, 7] – вдосконалив математичні моделі, написав програму, виконав чисельне моделювання та розрахунки, візуальні обстеження та реєстрацію параметрів ґрунту та будівельних конструкцій; в статтях [8, 9, 10, 11, 12] – написав програму, провів чисельні розрахунки, взяв участь в отриманні та аналізі результатів, взяв участь в оформленні статей; в статтях [13, 14, 15, 16, 17, 26] – виконав розрахунки, провів візуальні обстеження та експериментальну реєстрацію параметрів ґрунту та будівельних конструкцій, проаналізував результати досліджень, взяв участь в оформленні статей; в статтях [18, 19, 20, 21, 22] – взяв участь в експериментальних дослідженнях; [28, 29] – взяв участь у розробці патентів України, оформленні та підготовці їх до подання на розгляд.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися з 2008 р. по 2023 р. на: міжнародній науково-технічній конференції «Геотехника Беларуси: наука и практика» (Мінськ, Республіка Білорусь, 2008); V міжнародній науково-технічній конференції «Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов» (Волгоград, РФ, 2009); 4 Fourth International Young Geotechnical Engineers Conference (Олександрія, Єгипет, 2009); Всеросійському науково-технічному семінарі «Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции» (Новосибірськ, РФ, 2011); міжнародному науково-технічному симпозиумі «Problems of Improper Construction and Monitoring of Structures» (Осака, Японія, 2011); міжнародній практичній конференції «Строительство: проблемы и перспективы» (Махачкала, РФ, 2013); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні геотехнології в будівництві та їх науково-технічний супровід» (СПб, РФ, 2014), міжнародній конференції «Научно-технический прогресс в строительстве» (Баку, Азербайджан, 2014); 27th European Young Geotechnical Engineers Conference (Бодрум, Туреччина, 2019); VI international scientific and practical conference «Modeling, control and information technologies» (Рівне, Україна, 2023) та ін.

У повному обсязі дисертація доповідалася у серпні 2023 р. на розширеному науково-технічному семінарі ІТГП НАНУ (керівник семінару д.т.н., проф., чл.-кор. НАНУ Трофимчук О.М.).

Публікації. Загалом опубліковано двадцять дев'ять публікацій у професійних фахових виданнях, три з яких – проіндексовані в БД SCOPUS, вісім – у виданнях, що затверджені МОН України. Додатково відображені наукові результати дисертації у доповідях на міжнародних та всеукраїнських конференціях. Дві публікації – патенти України.

Структура й обсяг дисертації. В дисертаційній роботі є вступ, 4 розділи, висновків, 4 додатки та список використаних джерел. Містить 10 таблиць та 79 рисунків. Список використаних джерел налічує 185 найменування. Загальний об-

сяг - 242 сторінки. Основний текст – 126 сторінок.

Автор висловлює подяку першому науковому керівнику д.т.н., проф. Банасу В.А. та співавторам публікацій – співробітникам Запорізького відділення ДП НДІБК та ТОВ «Геоінжиніринг».

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступна частина містить інформацію та обґрунтування актуальності наукового дослідження; сформульовано його мету, завдання, об'єкт і предмет, наукову новизну, практичну цінність, апробацію результатів, наведено інформацію про внесок здобувача та його публікації.

Перший розділ присвячено огляду та аналізу відомих наукових результатів з теми дисертації. Усунення наднормативних кренів будівель зазвичай виконується на підставі одного фіксованого проєкту, який розробляється з урахуванням найбільш імовірної інтерпретації вихідних даних (геології, технічного стану об'єкта, пропонуваної технології виконання робіт та ін.) (рис. 4). Однак у процесі реалізації такого проєкту можуть виникати непередбачувані обставини технологічного, організаційного та іншого характеру, які неможливо врахувати на стадії проєктування через складність розв'язуваних завдань та геотехнічну непередбачуваність системи «основа – фундамент» (рис. 3).

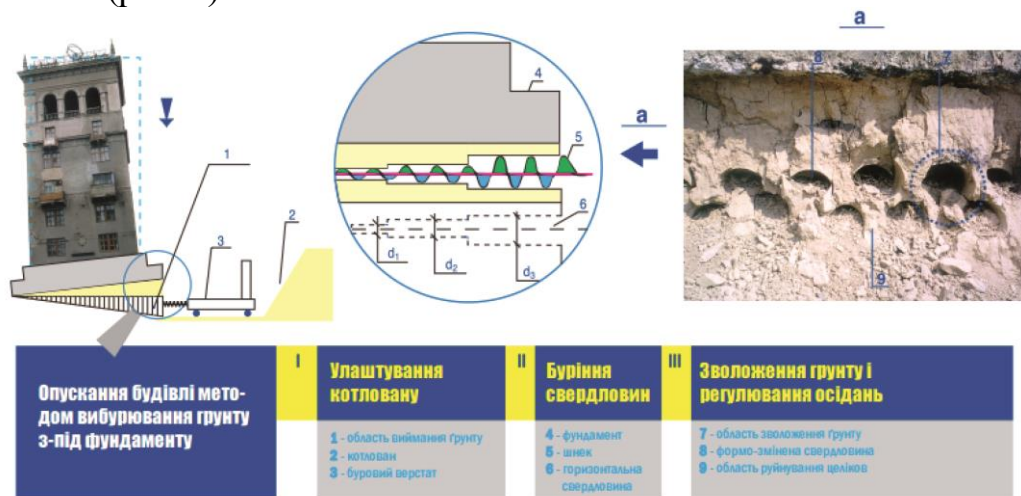


Рис. 4. Технологія горизонтального підробітку ґрунтової основи циліндричними свердловинами.

Застосування сучасних ІТДББ для ліквідації її крену дозволяє заощадити як кошти, так і час, а також розширити галузь знань у сфері будівельних конструкцій, основ та фундаментів при забезпеченні прийняттого рівня безпеки. ІТДББ базується на моніторингу та аналізі основних параметрів системи «основа – фундамент» у режимі реального часу, що дозволяє коригувати проєкт на будь-якій стадії проведення робіт.

Розвитком теоретико-методологічних основ й інструментальних засобів інформаційних технологій у різних галузях, відмовостійкістю, живучістю інформаційних технологій і систем, розвитком моделей і методів прийняття рішень за умов ризику та невизначеності при створенні автоматизованих систем різноманітного призначення активно займалися В.Ф. Губарєв, В.Б. Мокін, А.О. Мошенський, І.В. Сергієнко, О.М. Трофимчук, О.М. Хіміч та інші; П.І. Бідюк, О.М. Терентьєв (*аналіз нелінійних систем та методи прогнозування*); Ю.І. Калюх, Ю.П. Зай-

ченко (методи нечіткого аналізу і моделювання); В.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова (методи моделювання складних систем); Т. Байєс (основи ймовірнісного підходу); О.В. Копійка, О.М. Трофимчук (побудова СППР), Дж. Краскал, А.А. Гухман, М. Леонард, Дж. Слоан, Т. Лі, Б. Ельшеймер (теорія подібності процесів), Ф. Бернштейн, С. Холсапл (СППР) та ін. Розробки та програмні реалізації інструментальних інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття управлінських рішень в галузі будівництва за допомогою програмної системи ЛПРА-САПР викладені в роботах О.М. Хімича, М.Г. Мар'єнкова, В.А. Дуніна та ін.

Практика оснащення будівельних об'єктів ІТДББ в онлайн-режимі на сьогодні не є характерною для України, відомі лише окремі приклади. На розробку інформаційних систем моніторингу будівельного об'єкта впливають такі основні аспекти: технічний – визначення ФМВ, на яких базується вимірювальна система; технологічний – розробка методів та способів виробництва комплектуючих, монтажу системи та експлуатації; економічний – оптимізація цінових параметрів системи. Для оцінки НДС будівель при усуненні їх наднормативних кренів необхідно проводити контроль різноманітних фізичних величин і параметрів, що призводить до необхідності мати у складі ІТДББ велику кількість датчиків, а значить і різні за влаштуванням та принципом роботи первинні вимірювальні перетворювачі.

У **другому розділі** окреслено методологічне, інструментальне і математичне підґрунтя створення ІТДББ. Універсальна ІТДББ повинна додатково містити блок безперервного розрахунку НДС фундаменту та верхньої будови в технологічному процесі усунення крену фундаменту ББ, а також блок формування поточних управлінських команд. Прогнозування технологічних осідань і крену ББ виконується з використанням сучасних чисельних методів, а також з урахуванням особливостей улаштування котловану, буріння свердловин і т.д.

Для розробки геомеханічної та розрахункової моделей системи «підроблюваний ґрунтовий масив (основа) – фундамент з креном» досліджувалася загальна закономірність деформування підроблюваної ґрунтової основи, зокрема контуру циліндричних свердловин. Для цього були виконані численні натурні експерименти у процесі усунення наднормативних кренів будівель (табл. 1).

Таблиця 1. Досвід усунення кренів будівель з використанням технології горизонтального підробітку ґрунтової основи циліндричними свердловинами (рис. 4).

Вид об'єкта	Кількість, шт	Кількість поверхів	Відхилення від вертикалі, мм	Усунення крену, %
Панельні будівлі	30	4-14	200-560	95-106
Цегляні будівлі	8	3-14	95-540	92-100

При розробці геомеханічної моделі ґрунтового масиву і розрахункової моделі підроблюваної ґрунтової основи прийняті такі припущення: руйнування ґрунту під подошвою стрічкового фундаменту відбувається в локальних областях (ціліках) між поруч розташованими циліндричними свердловинами; механізм руйнування ґрунту пов'язаний із зсувними деформаціями, що відбуваються при навантаженнях більших за граничний опір ґрунту; фракції руйнування ґрунту в ціліках переміщуються в порожнину свердловини.

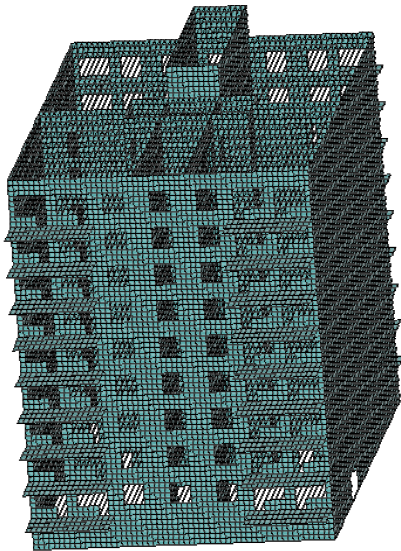


Рис. 6. Розрахункова модель багатоповерхової будівлі, яка зазнала крену.

додаткового управлінського впливу при вирівнюванні ББ, наприклад на основі корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

У **третьому розділі** розроблено експериментальний зразок ІТДББ, що містить прецизійні елементи вимірювання кутових деформацій (рис. 7); програму «Pendulum» для розрахунку і візуалізації деформацій контрольованих будівельних конструкцій (рис. 16, 17), розроблену за допомогою спеціального створеного за участю здобувача стенду (рис. 8, а); моніторингову систему з онлайн-збором вимірювальної інформації про контрольовані фізичні величини; хмарну технологію та інструментальні засоби (мобільний телефон) передачі результатів вимірювань в Інтернет; БД накопичення даних та їх опера-

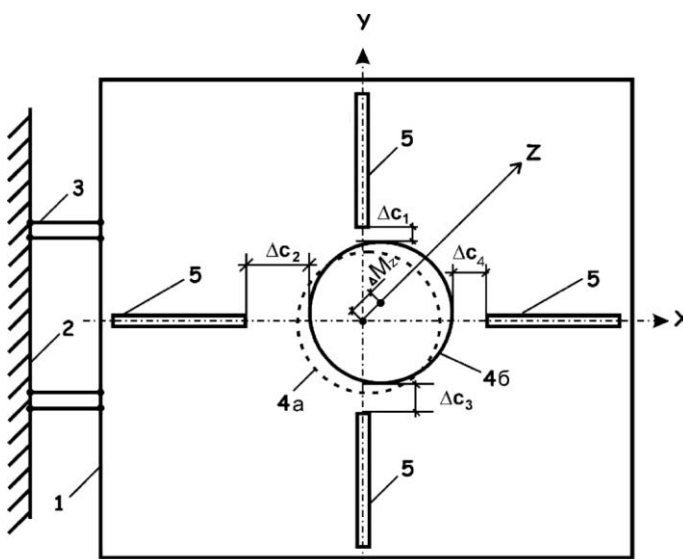


Рис. 7. Схема універсального індуктивного датчика крену: 1 – корпус датчика; 2 – контрольований об'єкт; 3 – кріплення (анкерні болти); 4 – маятник у поперечному перерізі: а) у початковому положенні; б) у зміщеному положенні; 5 – індуктивний перетворювач; $\Delta c_1 \dots \Delta c_4$ – відстані між маятником та індуктивними перетворювачами; x, y – осі координат; Z – напрямком зміщення маятника; ΔM_z – величина зміщення осі маятника.

ративної обробки і т.д. Спеціальний стенд використовувався також для метрологічної атестації датчиків. Конструктивно універсальний індуктивний датчик (УІД) складається з чо-

тирьох індуктивних перетворювачів, розташованих симетрично по колу перпендикулярно до маятника (рис. 7).

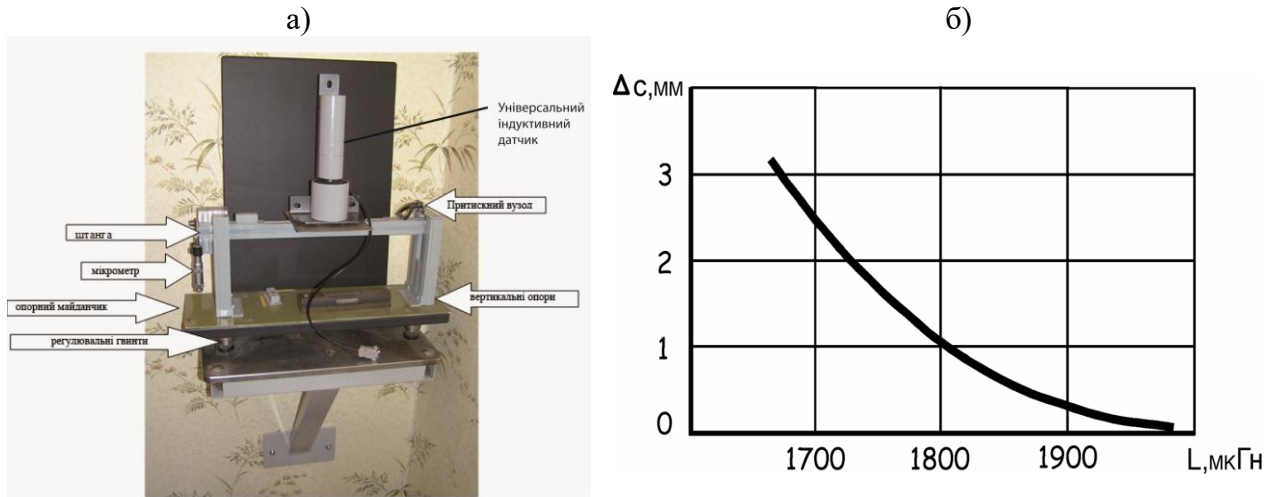


Рис. 8. Спеціальний стенд для розробки програми «Pendulum» та метрологічної атестації датчиків (а) і графік залежності індуктивності (L) перетворювача від відстані до маятника (Δc) (б).

В основу розрахункової програми покладено модель поля індуктивності, а саме функція $L(x, y)$, значенням якої є індуктивність котушки при заданому положенні маятника. Вихідними для програми є результати вимірювань, знятих з датчика УІД (рис. 8, б). Для побудови моделі було представлено понад 1300 вимірних значень індуктивності котушок датчика за різних положень маятника. Результат одного виміру – величини чотирьох індуктивностей. Для визначення положення маятника розроблено спеціальний чисельний метод, який шукає таке положення маятника всередині квадрата, для якого значення індуктивностей котушок, отримані за моделлю поля індуктивностей, якомога краще відповідають всім чотирьом результатам даного вимірювання. Вихідні дані для програми готуються в MS Excel і передаються до програми через буфер обміну (clipboard). На лист можливо виводити довільну кількість датчиків, встановлених на об'єкті.

При практичній реалізації ІТДББ для оцінки основних параметрів НДС ББ до її інформаційних каналів включені такі вимірювальні перетворювачі та датчики (елементи ДТ ББ): індуктивний датчик дистанційного розкриття тріщин ББ; індуктивний датчик для дистанційного контролю змін величини та напрямку (діапазон 360°) нахилу будівельної конструкції. ІДТББ дозволяє визначати в точці установки датчиків напрямок і горизонтальне переміщення будівельних конструкцій, а також величину розкриття (закриття) тріщин в діапазоні 0...6 мм з точністю 0,001 мм. За отриманими даними розраховуються крен і відносні осідання будівельного об'єкта. Конструктивно датчик розкриття тріщин складається з одного індуктивного перетворювача, розташованого перпендикулярно до маятника. Індуктивний перетворювач встановлюється в початковому положенні від маятника в залежності від передбачуваного розкриття або закриття тріщини.

Вибір індуктивного вимірювача обумовлений тим, що магнітні властивості матеріалів, що лежать в основі роботи приладу, практично не залежать від вологості і забруднень, працюють в широкому інтервалі температур, стійкі до механічних впливів. Це дозволило розробити вимірювач, що володіє високою надійністю. Принцип його роботи заснований на зміні індуктивності котушки при переміщенні феромагнітного сердечника уздовж осі котушки.

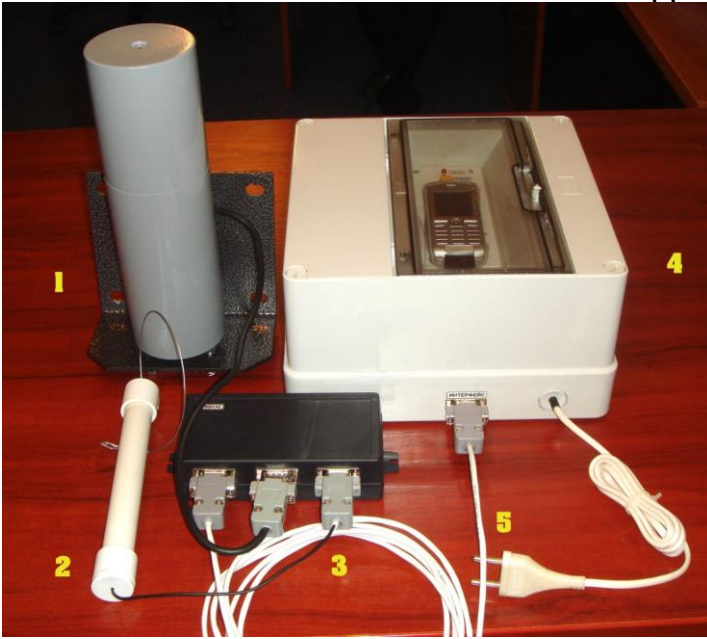


Рис. 9. Технічні засоби, що входять до ІТДББ системи. 1 – універсальний індуктивний датчик; 2 – датчик розкриття тріщин; 3 – вимірювач індуктивності; 4 – блок збору та передачі інформації; 5 – лінії зв'язку.

Датчики і стенд для налаштування та випробувань датчиків проходять регулярну атестацію.

Для підвищення точності вимірювань у приладі реалізовані такі підходи: проводиться прогрів перед початком вимірювання (близько 75% від часу вимірювання); здійснюється усереднення результатів 9-ти вимірів; проводиться нормування результатів вимірювань за виміряною індуктивністю зразкової котушки (L5). Застосування нормування обумовлено тим, що індуктивність котушок з феромагнітними сердечниками значною мірою залежить від величини струму через котушку через нелінійність кривої намагнічування феромагнетиків. Застосування зразкової котушки також покликане компенсувати температурну залежність як властивостей котушок, так і властивостей елементів схеми. Вимірювач передає блоку збору інформації як нормовані, так і ненормовані результати вимірювання, що дозволяє проконтролювати правильність нормування. Для моделі оптимізована середня розбіжність по всіх точках всередині квадрата – 1.053. Середня розбіжність по всіх точках всередині кола – 1.009. Для моделі оптимізована по всіх точках всередині кола середня розбіжність по всіх точках всередині квадрата – 1.363. Середня розбіжність по всіх точках всередині кола – 0.960. Для моделі без корекції середня розбіжність по всіх точках всередині квадрата – 2.22. Середня розбіжність по всіх точках всередині кола – 1.18.

Інформація передається мережами мобільного зв'язку у вигляді SMS-повідомлень, через Інтернет на поштову скриньку електронної пошти або на будь-який мобільний телефон з подальшою обробкою на ЕОМ. Система працює в автоматичному режимі з можливістю програмування періоду включення. Робота здійснюється від мережі ~ 220 В, система оснащена безперебійним блоком живлення (1000 год – черговий режим, 48 год – режим вимірювання).

У процесі роботи над системою розроблено оригінальний вимірювач індуктив-

Реалізовано моніторингову систему (елемент ДТ ББ) з безперервним збором вимірювальної інформації контрольованих фізичних величин з подальшою їх передачею за допомогою хмарних технологій (елемент IoT), оперативною обробкою та зберіганням у відповідних БД. Вона виконана на основі індуктивних перетворювачів і підтримує дистанційне знімання, обробку та передачу інформації з чутливих елементів.

Технічні засоби, що входять до ІТДББ, представлені на рис. 9: універсальний датчик вимірювань кутових деформацій (УІД); датчик розкриття тріщин; вимірювач індуктивності; блок збору та переда-

ності, який встановлений у датчиках. Чутливість вимірювача – до 0,5 мкГн при похибці вимірювань у всьому використовуваному діапазоні в 0,2%. При цьому точність вимірювань зміщення становить 0,001 мм, а розрахункова похибка визначення крену становить 0,05%.

Блок збору інформації забезпечує такі функції: забезпечує живлення системи (або від мережі ~ 220В, або від вбудованого акумулятора); забезпечує заряд акумулятора безперебійного блоку живлення; забезпечує живлення датчиків лінії зв'язку; збирає інформацію від датчиків; забезпечує заряд акумулятора мобільного телефону; керує роботою мобільного телефону при передачі даних; запам'ятовує всі налаштування в енергонезалежній пам'яті; у паузах між циклами роботи переходить у режим енергозбереження; блок збирання інформації підключається до мережі 220В; блок збирання інформації підключається до лінії зв'язку через роз'єм DB9.

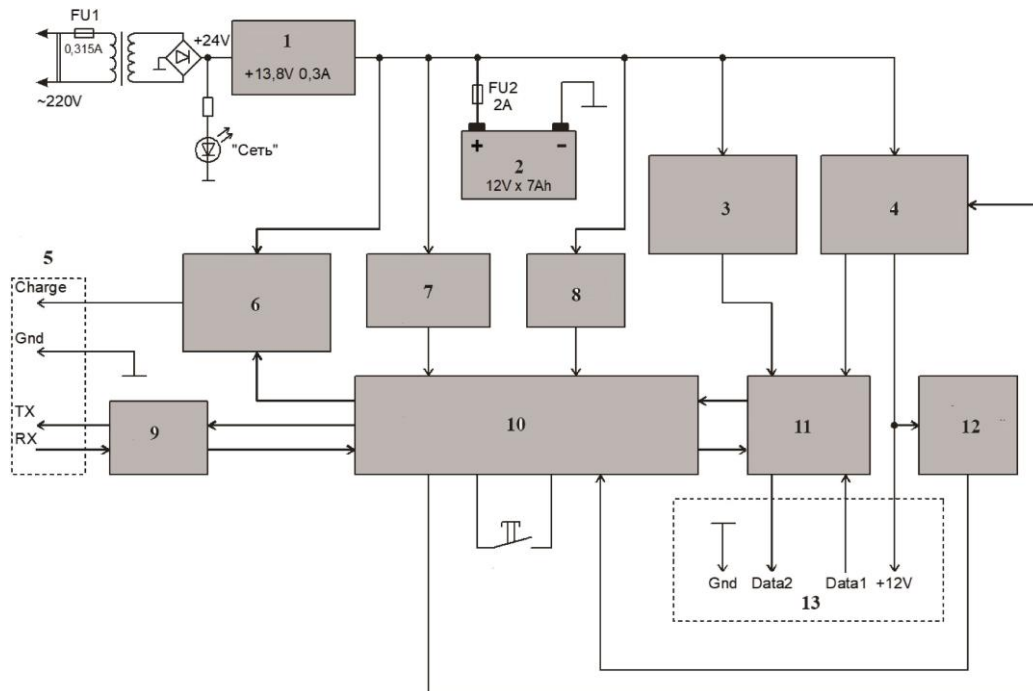


Рис. 10. Структурна схема апаратної частини ІТДББ. 1 – імпульсний стабілізатор +13,8 V 0,3 А; 2 – акумулятор 12 Vx7Ah; 3 – імпульсний перетворювач для інтерфейсу; 4 – комутатор живлення інтерфейсу із захистом струму; 6 – імпульсний перетворювач зарядного струму мобільного телефону; 7 – датчик напруги на акумуляторі; 8 – блок живлення процесора; 9 – перетворювач рівнів; 10 – мікроконтролер; 11 – формувач сигналів інтерфейсу; 12 – датчик напруги на інтерфейсі; 13 – інтерфейс.

Структурна схема ІДТББ зображена на рис. 10. Для запропонованої розрахункової моделі системи ББ «грунтова основа – стрічковий фундамент з креном» основними контрольованими параметрами є характер зміни технологічних осідань та крену фундаменту. Для безперервного контролю вищезазначених параметрів ІДТББ містить блок періодичного автоматичного розрахунку НДС будівлі в технологічному процесі усунення нахилу фундаменту на основі програмного комплексу ЛІРА-САПР з автоматичною корекцією початково-крайових умов розрахунку (додаток до програмного комплексу ЛІРА-САПР). Корекція початково-крайових умов розрахунку відбувається на основі поточної експериментальної інформації з інклінометричних датчиків, розподілених по ББ (елементи ДТ ББ), та з урахуванням фактичного ТС ББ на час розрахунку. Завдяки цим заходам підви-

щується надійність СППР поточних управлінських команд ОПР і з'являється можливість визначати локальні зони ґрунту, що вимагають управлінського впливу. Наприклад, корекція технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

Моніторинг НДС будівлі при усуненні її крену містить виконання базового алгоритму у вигляді послідовного вирішення комплексу завдань, об'єднаних у вигляді таких блоків: науково-дослідний, вимірювально-інформаційний, допусково-контрольний, розрахунково-аналітичний, проектно-технологічний.

Послідовність виконання робіт така: складається розподіл у межах об'єму контрольованого об'єкта конструкцій з вираженим проявом деформаційних процесів у вигляді тріщин, руйнувань, кренів, осідань, деформацій з їх координатною прив'язкою до об'єкта (1); відповідно до нормативної документації експертною оцінкою вибираються та призначаються допускові значення контрольованих параметрів (2); складається система з множин однотипних контрольованих параметрів, значення яких наближається до допускових значень (3); відповідно до числа вхідних однотипних параметрів, визначається тип датчиків та їх число (4); з урахуванням складеної схеми розподілу контрольованих параметрів та їх координатної прив'язки, вибираються місця монтажу датчиків, координати яких відповідають координатам контрольованих параметрів, що утворюють систему множин (5); проводиться розробка алгоритму контролю обраної множини контрольованих параметрів НДС, який містить послідовність контролю множин однотипних параметрів (6).

Для побудови алгоритму контролю конкретного об'єкта проводиться розрахунковим або експертним методом оцінка вагового значення множин однотипних параметрів у формуванні напружено-деформованого стану об'єкта. За результатами контролю параметрів за вибраним алгоритмом проводиться оцінка ролі параметрів у формуванні НДС об'єкта і коригується алгоритм контролю.

Часто виникають відмінності між фактичними і прогнозованими величинами, наприклад, технологічного осідання, крену будівельного об'єкта та ін., при усуненні наднормативних кренів. Тому в проектах необхідно передбачати додаткові інженерні заходи: моніторинг в режимі реального часу, технологічні прийоми регулювання осідань за розрахунковою епюрою та ін. Це дозволить на всіх етапах виконання робіт з усунення нахилу будівлі забезпечувати рівність прогнозованих і фактичних деформацій системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном». Структурна схема автоматичної ідентифікації НДС будівлі при усуненні її крену наведена на рис. 11. Універсальна структурна схема містить блок безперервного розрахунку НДС будівлі в технологічному процесі усунення крену фундаменту, а також блок формування поточних управлінських команд. Це дозволяє визначати локальні зони ґрунту, що вимагають управлінського впливу, наприклад на основі корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту.

Наведемо приклад оцінки НДС 9-поверхового великопанельного будинку в м. Запоріжжя з розмірами в осях 23,30x11,62 м при усуненні його крену. У процесі експлуатації будинок піддавався впливу просадних деформацій. При розрахунку аналізувалися головні напруги в елементах будівлі, за якими можна судити про міцність матеріалу конструкцій.

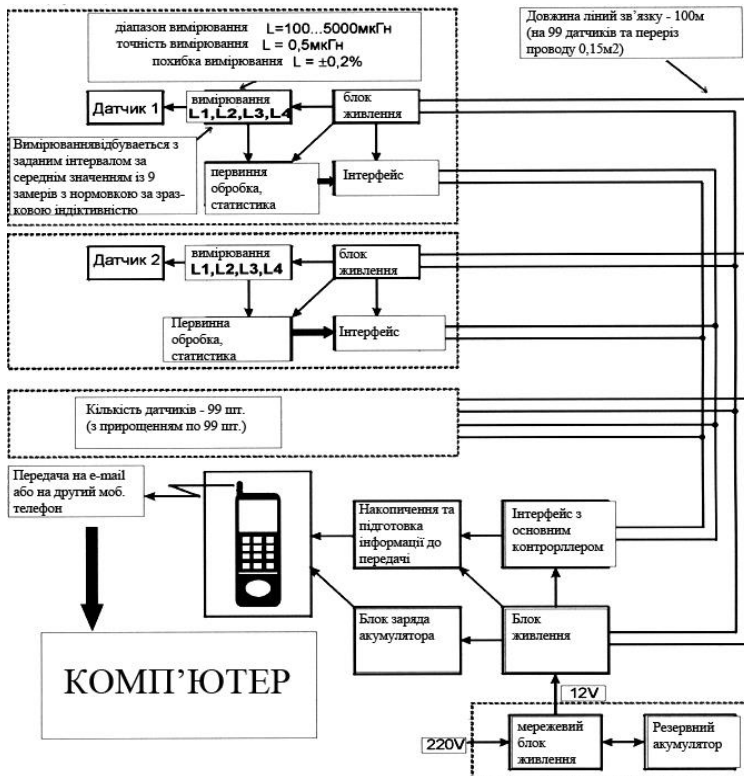


Рис. 11. Структурна схема автоматичної ідентифікації НДС будівлі при усуненні її крену.

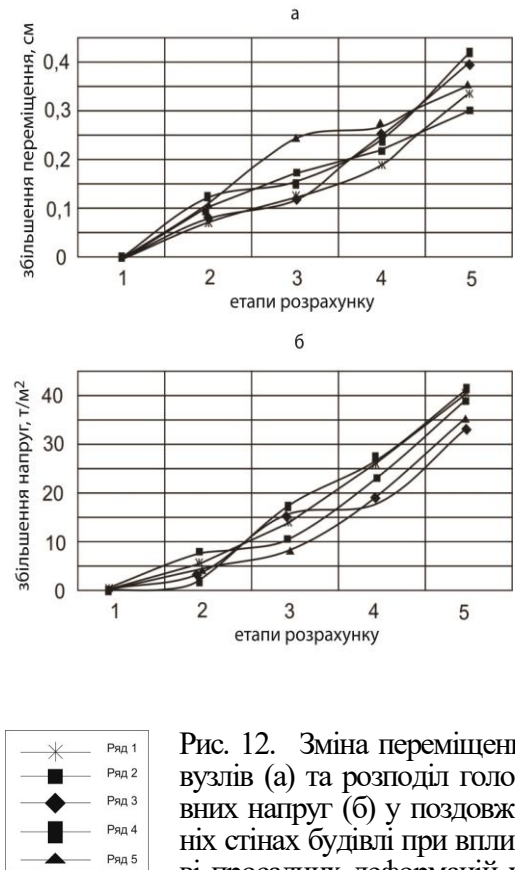


Рис. 12. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головних напруг (б) у поздовжніх стінах будівлі при впливі просадних деформацій у процесі її експлуатації.

На рис. 12 представлені зміни переміщень вузлів і розподілу головних напруг в елементах будівлі при впливі деформацій просадки в процесі експлуатації будівлі. В елементах будівлі виникли напруги, які перевищували розрахункові опори матеріалів конструкцій, що призвело до утворення тріщин та інших дефектів, які були виявлені при обстеженні будівлі. Головні стискаючі напруги досягали $2720,1 \text{ т/м}^2$ при гранично допустимих $1850,0 \text{ т/м}^2$; основні розтягуючі напруги – $717,8 \text{ т/м}^2$ при гранично допустимих $160,0 \text{ т/м}^2$. Так як будівля не відповідала умовам нормальної експлуатації через наднормативні крени, було прийнято рішення про необхідність усунення її крену.

На основі створеної просторової моделі будівлі з урахуванням нелінійної роботи матеріалів конструкцій, податливості стиків, одностороннього характеру зв'язків конструкцій фундаментів з основою, а також додаткових впливів на будівлю (крен), був виконаний монтаж датчиків УІД на об'єкті. З урахуванням результатів обстеження будівельних конструкцій, на будівлі було встановлено 23 датчики, у т.ч. 12 – у підвалі, 4 – на другому поверсі, 7 – на технічному поверсі.

Усунення нахилу будівлі здійснювалося шляхом вибурювання розрахункової кількості ґрунту з-під подошви фундаменту. Отримання вхідної інформації у вигляді інформаційних сигналів проводилося не рідше 1 разу на добу. При цьому здійснювалася реалізація технічного, програмного, метрологічного, організаційного та інформаційного забезпечення. Отримувана вихідна інформація у вигляді фізичних величин і параметрів зіставлялася з допусками (прогин, вигин, крен,

осідання, напруга). Час умовної стабілізації нахилу фундаменту будівлі визначається за формулою

$$T = \frac{tg\rho}{V_{yc}}, \quad (1)$$

де V_{yc} – величина умовної стабілізації крену; $tg\rho$ – коефіцієнт пропорційності:

$$tg\rho = \frac{i - i_n}{\frac{\ln t}{t_n}}. \quad (2)$$

Приймаючи i_n та t_n – крен фундаменту та час у процесі буріння горизонтальних свердловин – визначаємо коефіцієнт пропорційності та час настання умовної стабілізації; проводиться регулювання крену фундаменту будівлі шляхом зволоження стінок свердловин. Зволоження стінок свердловин дозволило прискорити процес розвитку технологічних осідань до необхідної величини.

У процесі усунення крену будівлі деформаційні та силові характеристики стабілізувалися, напруги в системі досягли безпечних значень. На рис. 13 представлені зміни переміщень вузлів та розподілу головних напруг у будівлі при її вирівнюванні. Розроблена ІТДББ дозволяє проводити коригування розрахункових моделей в онлайн-режимі, контролювати та коригувати параметри НДС будівель на підставі зворотного зв'язку – результатів моніторингу еволюції їх ТС.

У четвертому розділі описано впровадження результатів роботи ІТДББ при науково-технічному супроводі (НТС) під час та після вирівнювання ББ по пр. Інженера Преображенського, 23 (блок-секція №№2,3) та 25 (блок-секція №1) у м. Запоріжжі. Будівлі житлових будинків по пр. Інженера Преображенського №№23,25 зведені на майданчику, складеному лесовими ґрунтами значної потужності, які при замочуванні мають просадні властивості. За час експлуатації (~ 45 років) всі блок-секції (під'їзди) вищевказаних житлових будинків зазнали нерівномірних осідань і досягли наднормативних величин осідань та відхилень.

У 2014 р. було виконано обстеження будівельних конструкцій ББ з оцінкою їх ТС. За результатами обстеження було встановлено, що технічний стан будівельних конструкцій та блок-секцій в цілому оцінювався як непридатний для нормальної експлуатації. Деформаційний шов між блок-секцією №3 та блок-секцією №1 замкнувся (рис. 18). Основною причиною цього стали значні нерівномірні осідання основи та фундаментів блок-секцій та наднормативні крени їх кутів.

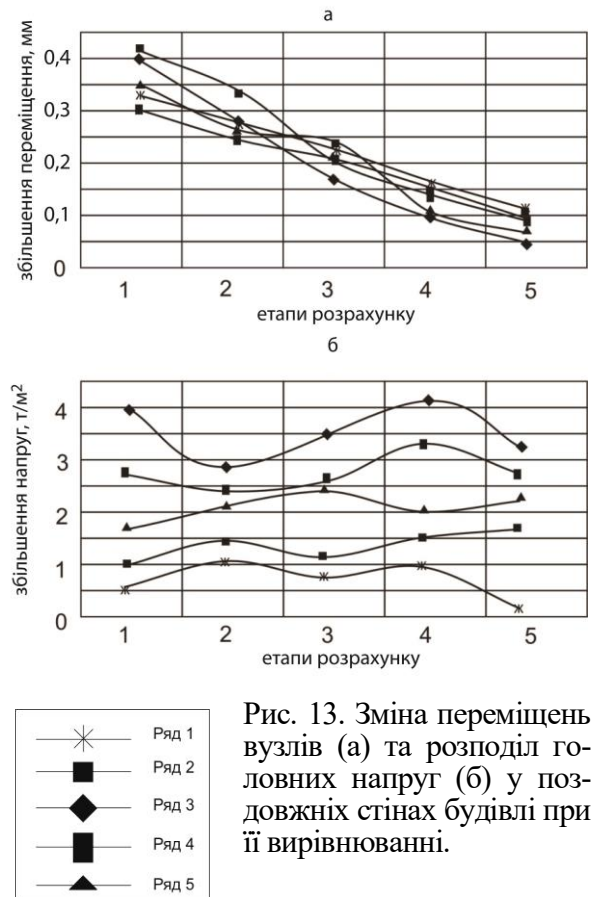


Рис. 13. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головних напруг (б) у поздовжніх стінах будівлі при її вирівнюванні.

В межах НТС вирівнювання блок-секцій були виконані такі роботи: інженерно-геологічні дослідження вологісного режиму ґрунтів основи, якості підготовки основи, контроль якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану; геодезичний моніторинг деформацій будівлі в процесі вирівнювання; уточнення фактичних кренів блок-секції в різні періоди вирівнювання; НТС підготовчих робіт та процесу вирівнювання; контроль за станом конструкцій блок-секції при вирівнюванні з використанням ІТДББ та їх обстеження після виконання робіт з усунення наднормативного крену об'єкта методом вибурювання ґрунту основи горизонтальними свердловинами за розрахунковими параметрами під фундаментами ББ, які менше осіли. Технічні засоби ІТДББ, що використовувалась для контролю деформацій на блок-секції, що вирівнювалась, містили: універсальні індуктивні датчики крену, засіб збирання та передачі інформації – блок із мобільним телефоном, комп'ютерну програму «Pendulum» для розрахунку та візуалізації деформацій контрольованого об'єкта та ін.



Рис. 14. Зовнішній вигляд датчика УІД, встановленого на стіні в підвалі об'єкта.



Рис. 15. Зовнішній вигляд блоків збору та передачі інформації.

Для контролю деформацій блок-секцій, що вирівнювались, у підвалі будівель на його стінах у верхній частині стінових панелей були встановлені 16 універсальних індуктивних датчиків крену (УІД) в кожній блок-секції, блоки збору та передачі інформації. Зовнішній вигляд датчика УІД, встановленого на стіні в підвалі блок-секції №3, наведено на рис. 14, зовнішній вигляд блоків збору та передачі інформації наведено на рис. 15. ІТДББ працювала безперервно, а період знімання інформаційного сигналу ІТДББ складав один раз на добу. Схема розташування датчиків УІД наведена на рис. 16, усі вектори побудовані в масштабі. ІТДББ дозволяє визначати у точці встановлення УІД напрямок та горизонтальне переміщення будівельних конструкцій з точністю 0,001 мм. За отриманими даними розраховуються крен та відносні осідання об'єкта спостережень в онлайн-режимі.

На графіках (рис. 17) наведена залежність швидкості зміщення маятника і зміни крену від часу по датчику УІД №2 (у якості прикладу) за весь час спостережень. За час спостережень зафіксовано п'ять фаз змін крену блок-секції. Перша фаза – незначні осідання під час виконання першого етапу бурових робіт. Друга фаза – активні прогресуючі деформації під час виконання другого етапу робіт і відразу після їх завершення. Третя фаза – стабілізація осідань після завер-

На графіках (рис. 17) наведена залежність швидкості зміщення маятника і зміни крену від часу по датчику УІД №2 (у якості прикладу) за весь час спостережень. За час спостережень зафіксовано п'ять фаз змін крену блок-секції. Перша фаза – незначні осідання під час виконання першого етапу бурових робіт. Друга фаза – активні прогресуючі деформації під час виконання другого етапу робіт і відразу після їх завершення. Третя фаза – стабілізація осідань після завер-

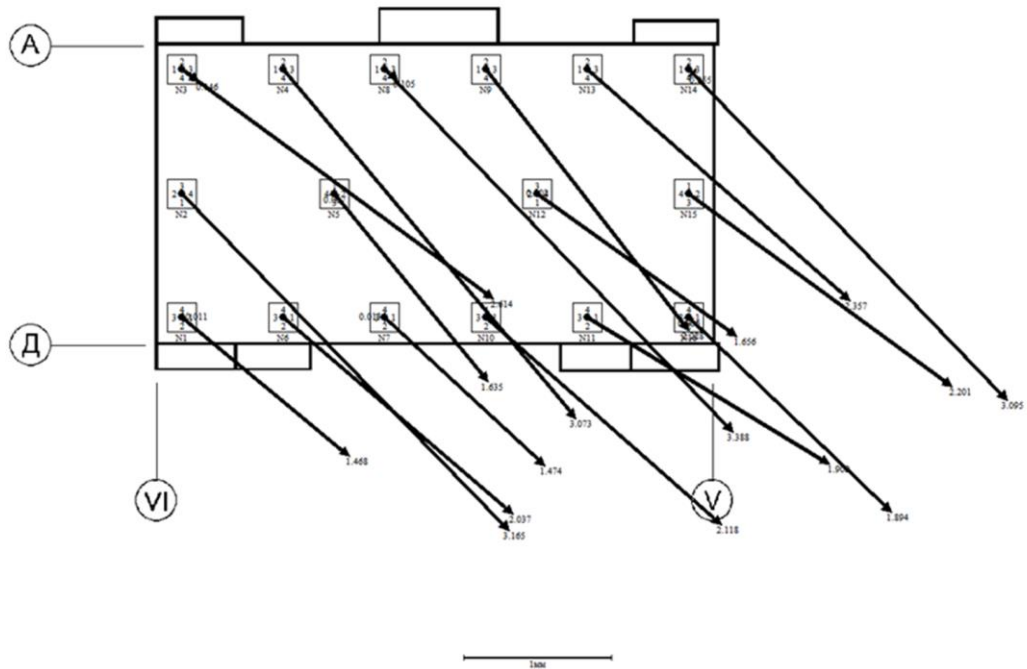


Рис. 16. Схема розташування датчиків (УІД) ІТДББ в підвалі блок-секції №3 та напрямок переміщення всіх контрольованих ділянок будівлі за весь час спостережень за деформаціями блок-секції під час вирівнювання.

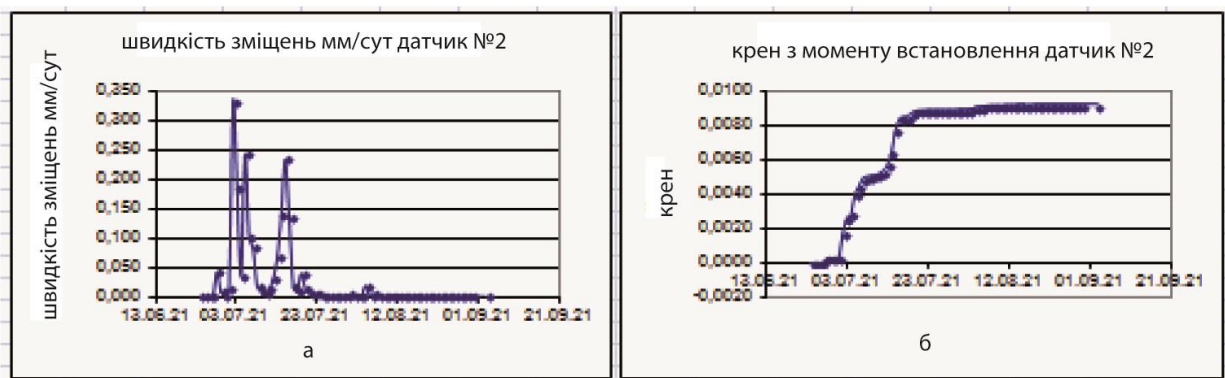


Рис. 17. Графіки залежності швидкості зміщення маятника (мм/добу) (а) і зміни крену від часу (б) по датчику УІД №2 за весь час спостережень.

шення бурових робіт. Четверта фаза – активні прогресуючі деформації під час регулювання технологічних осідань фундаментів шляхом зволоження ґрунту навколо свердловин. П'ята фаза – стабілізація деформаційних процесів.

Застосування даного способу усунення кренів з використанням ІТДББ дозволило виконати весь комплекс робіт з ліквідації наднормативного крену усіх блок-секцій без зупинки функціонування інженерних мереж ББ, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

Відновлення деформаційного шва між блок-секціями №3 житлового будинку №23 та №1 житлового будинку №25 дозволило ліквідувати надпроектні напруження, які діяли в будівельних конструкціях блок-секцій, що спирались одна на одну. Величина розкриття деформаційного шва між блок-секціями становила 440 мм (рис. 18).

Планово-висотне положення усіх блок-секцій після їх вирівнювання задовольняє вимогам проекту та діючим будівельним нормам України.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Здобувачем вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки методологічної, апаратної, математичної та програмної реалізації ІТДББ для СППР



а) б)

Рис. 18. Загальний вигляд деформаційного шва між блок-секціями №3 та №1: до вирівнювання (а); після вирівнювання (б) в м. Запоріжжі по вул. Інженера Преображенського 23, 25.

в процесі ліквідації наднормативних кренів ББ. Розроблено нову ІТДББ, яка містить налаштування та верифікацію комп'ютерної моделі ББ в сукупності з уточненням початково-крайових умов (з урахуванням поточного технічного стану будівельних конструкцій ББ, зміни їх міцності та зміни ФМВ ґрунтів основи за часом та деградацією); підготовку, отримання та аналіз первинної та онлайн-інформації протягом усього процесу вирівнювання за допомогою розподілених по ББ розроблених за участю здобувача прецизійних чутливих елементів вимірювання кутових деформацій; забезпечення зворотного зв'язку в системі управління процесом вирівнювання на основі експериментальної онлайн-інформації з інклінометричних датчиків та за результатами поточного математичного моделювання НДС будівельних конструкцій ББ; системний аналіз онлайн-результатів експериментальних даних та результатів поточного математичного моделювання НДС ББ з метою оцінки її поточного технічного стану для коригування управлінських рішень протягом всього процесу вирівнювання з кінцевою метою надійної фіксації будівлі в новому горизонтальному положенні при одночасному забезпеченні надійного функціонування ББ протягом всього процесу вирівнювання без зупинки функціонування інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

1. Уперше розроблено ІТДББ для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, ФМВ ґрунтів основи та властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноутворення) протягом всього часу вирівнювання, а також деякого часу після його завершення без зупинки функціонування ББ та відселення її мешканців.

2. Уперше розроблено спеціалізовану програму «Pendulum» для оперативної обробки в онлайн-режимі експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ, в процесі ліквідації її наднормативного крену та для графічної інтерпретації результатів для кращого сприйняття

в процесі ліквідації наднормативних кренів ББ. Розроблено нову ІТДББ, яка містить налаштування та верифікацію комп'ютерної моделі ББ в сукупності з уточненням початково-крайових умов (з урахуванням поточного технічного стану будівельних конструкцій ББ, зміни їх міцності та зміни ФМВ ґрунтів основи за часом та деградацією); підготовку, отримання та аналіз первинної та онлайн-інформації протягом усього процесу вирівнювання за допомогою розподілених по ББ розроблених за участю здобувача прецизійних чутливих елементів вимірювання кутових деформацій; забезпечення зворотного зв'язку в системі управління процесом вирівнювання на основі експериментальної он-

інформації ІТДББ ОПР, що є елементом зворотного зв'язку при підтримці оперативних управлінських рішень в процесі ліквідації наднормативного крену ББ (фактично створено ***Digital Twin для ББ***, що функціонує в онлайн-режимі).

3. *Удосконалено* математично-алгоритмічний апарат ІТДББ, що містить математичні моделі будівель та ґрунтів основи, що були використані в процесі вирівнювання ББ.

4. *Удосконалено* прецизійні чутливі інклінометричні елементи, розроблено спеціальний стенд для їх тестування та проведення метрологічних досліджень.

5. *Удосконалено* безперервний зв'язок між результатами вимірювань прецизійних чутливих інклінометричних елементів, що розподілені по ББ, та пакетом прикладних програм ЛІРА-САПР для оперативного врахування зміни початково-крайових умов при поточних розрахунках НДС ББ протягом всього процесу вирівнювання та деякого часу після його завершення.

6. *Отримала подальший розвиток* система передачі цифрових експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ, за допомогою сучасних хмарних технологій (***Internet of Things***).

Список опублікованих праць за темою дисертації

Доповіді на конференціях, що проіндексовані у наукометричній БД SCOPUS (Q4):

1. Kaliukh I., Syvko I., Chorna K., Shokarev V., Shokarev I., Shokarev A. Assessment of Residual Service Life for the Residential Buildings under Systematical Industrial Explosions. 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2020, p. 1-4, doi: 10.1109/SAIC51296.2020.9239172. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9239172> ISBN Information: Electronic ISBN:978-1-7281-9083-9 CD:978-1-7281-9082-2 Print on Demand(PoD) ISBN:978-1-7281-9084-6.
2. Krivosheev, P., Shokarev, V., Marienkov, M., Shokarev A., Shapoval, V., Gabibov, F. Improvement of loessial soil properties by presoaking and explosive energy of subsurface charges. 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019 – Reykjavik, Iceland, Proceedings Volume 2019-September 2019, p. 1-6, <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85111914126&origin=resultslist&sort=plf-f>
3. Shokarev V., Syvko I., Shokarev E., Shokarev A., Yakovenko M. Railway retaining walls under dynamic loading in the Carpathians foothill. European Association of Geoscientists & Engineers. *Geoinformatics*, May 2021, Volume 2021, p.1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521004>

Статті, що входять до наукових періодичних фахових видань, затверджених МОН України:

4. Акустическая диагностика свай / Шокарев А.С., Хилько С.В., Пограничный А.В., Шокарев А.В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції». – Вип. №71: В 2-х кн.: Книга.1. – Київ, ДП НДІБК, 2008, С.515-521. Ре-

жим доступу: http://www.ukrbook.net/litopys/jurnal/2009/LJ_01_09.pdf

5. Методика корективирування розрахункових моделей будівель в процесі усунення їх свєрхнормативних кренів / Шокарев А.В. // Науково-технічний журнал «Світ геотехніки», №1, 2010, С.25-29. Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/svitgeoteh_2010_1_7.pdf

6. Ликвідація аварійного стану 9-етажного крупнопанельного будівлі в Запоріжжє / Самченко Р.В., Степура С.И., Волков Д.А., Шокарев А.В. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип.3(28) - 2010. – ПолтНТУ, С.226-230.

7. Інноваційні технології з усунення понаднормативного крену житлового будинку в м. Одеса / Клименко Є.В., Шокарев В.С., Шокарев О.С., Шокарев Є.О., Шокарев А.В. // Вісник ОДБА. – Вип. 69, 2017. – С.45 – 50. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3nAcy2QAAAAAJ&citation_for_view=3nAcy2QAAAAAJ:YsMSGLbcyi4C

8. К вопросу адекватного использования расчетных характеристик грунтовых оснований при определении устойчивости откосов и склонов / Шаповал А.В., Шокарев Е.А., Слободянка Н.С., Нестерова Е.В., Кабрель В.И., Шаповал В.Г., Тятякова Е.С., Причина Е.С., Легенченко В.А., Шокарев А.В. // Науковий вісник будівництва. – Вип. 71 – Харків: ХНУБА, 2013, С.487-493.

9. Особенности устранения кренов крупнопанельных блок-секций при замыкании деформационного шва / Шокарев В.С., Шокарев А.В., Павлов И.Д., Самченко Р.В., Юхименко А.И. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції» . – Вип. 79, ДП НДІБК, 2013, С.298-306. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UnuycsoAAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAAJ:IjCSPb-OGe4C

10. О геотехнологиях восстановления деформированных зданий и обеспечения их дальнейшей нормальной эксплуатации / Самченко Р.В., Павлов И.Д., Юхименко А.И., Шокарев В.С., Степура И.В., Шокарев А.В. // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 148; В 2-х кн.: Книга 2 – Харків, 2014, С.70-75. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UnuycsoAAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAAJ:FxGoFyZp5QC

11. Reinforcement of the foundation base of the building with horizontal elements of increased rigidity / Zotsenko Mykola, Vynnykov Yuriy, Shokarev Yevheniy, Shokarev Andriy. // ACADEMIC JOURNAL Series: INDUSTRIAL MACHINE BUILDING, CIVIL ENGINEERING Issue 2 (51), 2018, P. 156-160. Режим доступу: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/5257/1/25.pdf>

Статті у наукових виданнях та матеріалах конференцій:

12. Экспериментальное обоснование выбора основного расчетного параметра при подработке грунтов под подошвой ленточного фундамента / Шокарев В.С., Чаплыгин В.И., Шокарев А.В. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип.3(28) - 2010. – ПолтНТУ, С.317-321.

13. Диагностирование деформированного состояния здания с использованием автоматизированных систем / Сивко И.Р., Шокарев А.В. // Міжвідомчий науково-

- технічний збірник «Будівельні конструкції». Вип. 83:В 2-х кн.: Книга.1. – Київ, ДП НДІБК, 2016, С.266 – 271. Режим доступу: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/buko_2016_83\(2\)__33.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/buko_2016_83(2)__33.pdf)
14. О методике контроля качества армирования грунтов буросмесительной технологией / Юхименко А.І., Самченко Р.В., Шокарев А.В., Степура С.И. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції». Вип. 83: В 2-х кн.: Книга.2. – Київ, ДП НДІБК, 2016, С.520 – 527. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UnuycsoAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAJ:Se3iqnhoufwC
15. Мониторинг напряженно-деформированного состояния зданий при устранении их сверхнормативных кренов / Шокарев В.С., Шаповал В.Г., Волков Д.А., Банах В.А., Шокарев А.В // Сборник научных статей международной научно-технической конференции «Геотехника Беларуси: наука и практика», Минск, Республика Беларусь 2008, С.399-409. Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/svitgeoteh_2010_1_7.pdf
16. Геомеханическая расчетная модель системы «грунтовая основа - ленточный фундамент» при устранении строительных объектов подработкой грунтового основания / Шокарев В.С., Чаплыгин В.И., Волков Д.А., Шокарев А.В. // Труды V международной научно-технической конференции «Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов», Волгоград, РФ, 2009, С.269-275.
17. Method of building calculations models correction in the process of abnormal building tilts elimination / Shokarev A.V. // The fourth international young geotechnical engineers conference, Alexandria, Egypt, 2009, P.313-316.
18. Устранение кренов высотных сооружений / Шокарев В.С., Самченко Р.В., Шокарев А.В. // Всероссийский научно-технический семинар «Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции», Новосибирск, РФ, 2011, С.160-165.
19. Remote methods researches of system «base – foundation – above ground building» / Shokarev Viktor., Rodnay Valentina, Zhussupbekov Askar., Shokarev Andrey. // Proceedings of the International Scientific and Technical Symposium "Problems of Improper Construction and Monitoring of Structures", Osaka, Japan, 2011, p.116-121. Режим доступу: <http://hdl.handle.net/2433/173839>
20. К вопросу определения приведенных характеристик грунтовых оснований, армированных жесткими вертикальными элементами / Шаповал В.Г., Шаповал А.В., Шокарев Е.А., Шокарев А.В. // Науково-технічний журнал «Світ геотехніки», №2, 2012, С.28-30. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=3nAcy2QAAAAJ&citation_for_view=3nAcy2QAAAAJ:2osOgNQ5qMEC
21. Особенности проявления средних осадок большегабаритных фундаментов / Шаповал А.В., Шокарев Е.А., Слободянка Н.С., Нестерова Е.В., Кабрель В.И., Шаповал В.Г., Титякова Е.С., Причина Е.С., Легенченко В.А., Андреев В.С., Шокарев А.В. // Строительство: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам Международной практической конференции. «Строительство: пробле-

мы и перспективы» – Махачкала, РФ, 2013, С.251-253. Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/36306/1/%D0%9C%D0%B0%D1%85%D0%B0%D1%87%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%20%D0%96%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf>

22. Методика расчета и контроля параметров модели грунта при выравнивании зданий / Шокарев В.С., Степура И.В., Шокарев А.В., Самченко Р.В., Павлов И.Д., Юхименко А.И. // Материалы международной научно-технической конференции «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение» ч.І. –СПбГАСУ - СПб, РФ, 2014, С.498-505. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2630315/page:50/>

23. Крен зданий и сооружений, причины, технологии выравнивания и мониторинга, практика / Шокарев В.С., Болотов Ю.К., Шокарев А.В. // Материалы международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в строительстве». - Баку, Азербайджан, 2014, С.139-144.

24. Технологічне регулювання рівня підземних вод на території житлової забудови / Шокарев В.С., Шокарев А.В., Самченко Р.В., Юхименко А.І., Степура І.В., Павлов А.В. // Науково-технічний журнал «Світ геотехніки», №1, 2018, С.17-22.

25. Впровадження технологій усунення наднормативних кренів в практику будівництва / Шокарев А.В. // Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». В 2-х кн.: Книга 2, Чернігів, Україна, 2019, С. 119-121.

26. Calculation of the reinforced foundation of the sunflower seed oil warehouse in Mariupol Commercial Seaport / Shokarev A.V., Shokarev E.A. // Proceedings of the 27th European Young Geotechnical Engineers Conference 26-27 Eylül 2019, Bodrum, Turkey, P.293-300. https://www.issmge.org/filemanager/article/76/Shokarev_EYGEC_-_Turkey_2019_1.pdf

27. Повышение прочностных и деформационных характеристик грунтов в основании фундаментов здания в п.г.т. Варва Черниговской области методом армирования грунтов горизонтальными элементами повышенной жесткости / Зоценко Н.Л., Винников Ю.Л., Шокарев Е.А., Шокарев А.В. // Науково-технічний журнал «Світ геотехніки», №№ 2-3, 2019, С.19-24.

Патенти

28. Патент на корисну модель №39176 «Спосіб будівництва будинків, споруд» / Шокарев В.С., Степура І.В., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В., Шокарев А.В. // №u200810813; заявл. 01.09.2008; опуб. 10.02.2009, Бюл.№3. Режим доступа: <https://uapatents.com/4-39176-sposib-budivnictva-budinkiv-sporud.html>

29. Патент на корисну модель №85831 «Механізований пристрій для підсилення ґрунтів основ фундаментів існуючих будівель» / Менейлюк О.І., Галушко В.О., Підойма А.С., Болюк С.В., Галушко О.М., Юхименко А.І., Шокарев А.В. // №a201013284; заявл. 08.11.2010; опуб. 10.12.2013, Бюл.№23. Режим доступа: <https://uapatents.com/14-85831-mekhanizovaniij-pristriij-dlya-pidsilennya-runtiv-osnov-fundamentiv-isnuyuchikh-budivel.html>

АНОТАЦІЯ

Шокарев А.В. Інформаційно-апаратне забезпечення усунення кренів багатопверхових будівель - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Київ, 2024.

Метою дисертаційної роботи є створення нової інформаційної технології діагностування поточного стану багатопверхової будівлі (ІТДББ) для ліквідації її наднормативного крену *при одночасному забезпеченні надійного її функціонування протягом всього процесу вирівнювання без зупинки її інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців*, що дозволить підвищити якість оцінок прогнозу змін технічного стану багатопверхових будівель (ББ) при керованому усуненні наднормативного крену та приймати відповідальні управлінські рішення в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій.

Уперше розроблено ІТДББ для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, фізико-механічних властивостей ґрунтів основи та матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноутворення) протягом вирівнювання, а також деякого часу після його завершення без зупинки функціонування інженерних мереж ББ, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців; спеціалізовану програму «Pendulum» для оперативної обробки в онлайн-режимі експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ (*елементи Digital Twins*), в процесі ліквідації її наднормативного крену та для графічної інтерпретації результатів задля кращого сприйняття інформації ІТДББ особою, яка приймає рішення, що є елементом зворотного зв'язку при підтримці оперативних управлінських рішень в процесі ліквідації наднормативного крену ББ. Удосконалено математично-алгоритмічний апарат ІТДББ, що містить математичні моделі будівель та ґрунтів основи, що були використані в процесі вирівнювання ББ, прецизійні чутливі інклінометричні елементи, розроблено спеціальний стенд для їх тестування та проведення метрологічних досліджень, удосконалено безперервний зв'язок між результатами вимірювань прецизійних чутливих інклінометричних елементів, що розподілені по ББ, та пакетом прикладних програм ЛПРА-САПР для оперативного врахування зміни початково-крайових умов при поточних розрахунках напружено-деформованого стану ББ протягом всього процесу вирівнювання та деякого часу після його завершення. Отримала подальший розвиток система передачі цифрових експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по ББ, за допомогою сучасних хмарних технологій (*елементи Internet of Things*).

Ключові слова: інформаційні технології, технічний стан багатопверхової будівлі, крен, інклінометричні датчики, напружено-деформований стан, ідентифікація розрахункових моделей, ризик будівельних аварій, неруйнівні методи, обробка та передача експериментальних даних за допомогою сучасних хмарних технологій в онлайн-режимі.

ANNOTATION

Shokarev A.V. Information and Hardware Provision for Rectifying Tilts of Multi-Story Buildings - Manuscript.

Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences in the field of 05.13.06 "Information Technologies". – Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2024.

The aim of the dissertation is to create a new information technology for diagnosing the current state of multi-story buildings (ITDMB) to eliminate its excessive tilting *while simultaneously ensuring reliable operation throughout the alignment process without interrupting its engineering networks, technological equipment (elevators, etc.), and residents' relocation.* This will enhance the quality of forecasts for changes in the technical condition of multi-story buildings during controlled elimination of excessive tilting and enable the responsible decision-making in conditions of uncertainty and the risk of construction accidents.

For the first time, ITDMB has been developed for tilting elimination under conditions of constant change in the building's vertical position, physical-mechanical properties of foundation soils, and materials of individual building structures (crack formation) throughout the alignment process and for some time after its completion without interrupting the functioning of the building's engineering networks, technological equipment, and residents' relocation. The specialized program "Pendulum" for real-time processing of experimental data from precision inclinometric sensors distributed throughout the building (Digital Twins elements) during the elimination of its excessive tilting is developed. The results are graphically interpreted for better information perception by the decision-maker and serve as a feedback element in supporting operational decisions during the elimination of excessive building tilting. The mathematical-algorithmic apparatus of ITDMB, containing mathematical models of buildings and foundation soils used in the building alignment process, and precision-sensitive inclinometric elements are improved, and a special stand for their testing and metrological research is designed. Continuous communication is improved between the results of measurements of precision-sensitive inclinometric elements distributed throughout the building and the package of application programs LIRA-CAD for real-time consideration of changes in initial and boundary conditions during current calculations of the stress-strain state of the building throughout the alignment process and some time after its completion. The system for transmitting digital experimental data from precision inclinometric sensors distributed throughout the building using modern cloud technologies (Internet of Things elements) has been further developed.

Keywords: information technologies, technical condition of multi-story buildings, tilt, inclinometric sensors, stress-strain state, identification of computational models, risk of construction accidents, non-destructive methods, processing and transmission of experimental data using modern cloud technologies in real-time.