

Діагностування поточного стану багатоповерхових будівель при усуненні їх наднормативних кренів: розробка та впровадження інформаційної технології

Віктор ШОКАРЕВ¹, Андрій ШОКАРЕВ², Юрій КАЛЮХ³, Богдан ЧОРНИЙ⁴

^{1,2}Запорізьке відділення Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»; 69076 м. Запоріжжя, вул. Новобудов, 4;

³Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору; 03186, м. Київ, бул. Чоколівський, 13;

⁴Запорізький будівельний фаховий коледж; 69000, м. Запоріжжя, вул. Незалежної України, 43

¹viktor.shokarev1956@gmail.com, ORCID 0000-0002-6851-4425

²unary.and@gmail.com, ORCID 0000-0003-1713-530X

³kalyukh2002@gmail.com, ORCID 0000-0001-7240-4934

⁴bodyacherniyy@gmail.com, ORCID 0009-0000-7452-3179

DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.323-335

Анотація. Уперше розроблено інформаційну технологію діагностування багатоповерхових будівель для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, фізико – механічних властивостей ґрунтів основи та властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноутворення) протягом всього часу вирівнювання, а також деякого часу після його завершення без зупинки функціонування інженерних мереж багатоповерхової будівлі, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців; спеціалізовану програму «Pendulum» оперативної обробки в онлайн-режимі експериментальних даних з прецизійних інклінометричних датчиків, що розподілені по багатоповерховій будівлі (елементи Digital Twins), в процесі ліквідації її наднормативного крену та графічної інтерпретації результатів для кращого сприйняття інформації інформаційної технології діагностування багатоповерхових будівель, що є елементом зворотного зв'язку при підтримці оперативних управлінських рішень в процесі ліквідації наднормативного крену багатоповерхової будівлі. Удосконалено математично-алгоритмічний апарат інформаційної технології діагностування багатоповерхових будівель, що містить математичні моделі будівель та ґрунтів основи, що були використані в процесі вирівнювання багатоповерхової будівлі; прецизійні чутливі інклінометричні елементи, розроблено спеціальний стенд для їх тестування та про-



Віктор ШОКАРЕВ

вчений секретар –
керівник проєктів
к.т.н., с.н.с.



Андрій ШОКАРЕВ

керівник групи
к.т.н.



Юрій КАЛЮХ

старший науковий співробітник
д.т.н., проф.



Богдан ЧОРНИЙ

студент

ведення метрологічних досліджень; безперервний зв'язок між результатами вимірювань прецизійних чутливих інклінометричних елементів, що розподілені по багатоповерховій будівлі, та пакетом прикладних програм ЛПРА для оперативного врахування зміни початково-крайових умов при поточних розрахунках напружено-деформованого стану багатоповерхової будівлі

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 багатоповерховій будівлі, за допомогою сучасних хмарних технологій (елементи Internet of Things).

Ключові слова. Інформаційні технології, технічний стан багатоповерхової будівлі, крен, інклінометричні датчики.

ВСТУП

Крен будівлі 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 (Самченко, 2004).

Розвиток інформаційних технологій та експериментальних методів неруйнівного контролю сприяє вирішенню сучасних проблем будівельної галузі, в т. ч. що пов'язані з аналізом поточного технічного стану (ТС) багатоповерхових будівель (ББ) і прогнозуванням його змін в процесі усунення їх наднормативних кренів. Однак, це потребує системного аналізу багатьох факторів впливу, які раніше не бралися до уваги, нових методів, прецизійних чутливих елементів та нових інформаційних технологій, що дозволить зменшити вплив невизначеностей різної природи, пов'язаних зі зміною фізико-механічних властивостей (ФМВ) ґрунтів основи, зміною міцності будівельних матеріалів та конструкцій та підтримувати прийняття більш виважених та обґрунтованих управлінських рішень.

У той же час необхідно відзначити й те, що невизначеність у початково-крайових умовах, що необхідні для коректної оцінки поточного ТС ББ при їх вирівнюванні не лише зменшується, а і зростає. Інформація щодо ФМВ ґрунтів основи ББ та ТС її будівельних конструкцій може швидко змінюватися внаслідок осідання, в т. ч. нерівномірного, також вона отримується з різних джерел з різною точністю (похибкою) приладів,

різною кваліфікацією експертів, часто є неповною, недостовірною або застарілою. Всі ці фактори значно ускладнюють прийняття коректних оперативних управлінських рішень при вирівнюванні будівель, оцінку відповідності ТС ББ діючим будівельним нормативам та прогнозування його зміни (Barbera, 2007; Garter, 2008).

При цьому надмірне бажання за допомогою сертифікованих в Україні в галузі будівництва програмних комплексів LIRA або SCAD деталізувати структуру напружено-деформованого стану (НДС) ББ при усуненні їх наднормативних кренів, як найточніше 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 обліку властивості ФМВ ґрунтів основи та будівельних матеріалів, закладених в їх теоретичну основу та швидкоплинністю процесів при вирівнюванні будинків.

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.

МЕТА ТА МЕТОДИ РОБОТИ

Мета роботи – розробка інформаційної технології діагностування поточного стану

ББ (ІТДББ) 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 керуваному усуненні наднормативного крену та приймати відповідальні управлінські рішення в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій.

При цьому вирішувались наступні завдання дослідження:

- розробити методичний, апаратний, математичний, алгоритмічний і програмний апарат ІТДББ;
- розробити 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;
- наукові, методичні та практичні результати розробки впровадити в будівельну практику при ліквідації наднормативних кренів багатоповерхових будівель.

Для аналізу і обробки інформації використовувались методи статистичного аналізу даних, експертного оцінювання, а 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 розро-

блення інформаційної технології використано методи системного аналізу, а для практичної реалізації ІТДББ – прикладне програмування, методи реалізації систем підтримки прийняття рішень (СППР) при вирівнюванні ББ.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В Запорізькому відділенні ДП НДІБК розроблена технологія вирівнювання будівель та споруд (Степура та ін., 2009), яка полягає в послабленні перфорацією обмеженого по товщині шару основи під фундаментами горизонтальними свердловинами змінних параметрів, яка забезпечує ліквідацію кренів багатоповерхових будівель по лінійній епюрі: а) у поперечному напрямку; б) у поздовжньому напрямку; в) у складному напрямку (табл. 1).

Розроблено та впроваджено спеціалізоване обладнання та оснастка.

Встановленні закономірності зміни положення у просторі будівлі під дією технологічних чинників влаштування горизонтальних свердловин: буріння свердловин зі змінними діаметрами, кроками, довжиною, кількістю рядів, а також ФМВ ґрунтів, тиск на перфорований шар основи (Самченко, 2009).

Розроблені технології керування просторовим положенням будівель у процесі їх вирівнювання, а саме: збільшення інтенсивності осідань регульованим зволоженням ґрунту навколо свердловин із різною температурою води та частковим руйнуванням ціликів ґрунту між свердловинами без виносу ґрунту на поверхню, а зменшення інтенсивності осідань – частковим тампонуванням горизонтальних свердловин або закріплення ґрунтів цементним розчином.

Усунення наднормативних кренів будівель зазвичай виконується на підставі одного фіксованого проекту, який розробляється з урахуванням найбільш імовірної інтерпретації вихідних даних (геології, технічного стану об'єкта, пропонованої технології виконання робіт та ін.).

Табл. 1. Досвід усунення кренів будівель з використанням технології перфорації ґрунтової основи горизонтальними свердловинами.

Table 1. The reduction of rolls was achieved using advanced technology of perforation of the soil base with horizontal drills.

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

Однак у процесі реалізації такого проекту можуть виникати непередбачувані обставини технологічного, організаційного та іншого характеру, які неможливо врахувати на стадії проектування через складність розв'язуваних завдань та геотехнічну непередбачуваність системи «основа – фундамент».

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 прийнятного рівня безпеки. ІТДББ базується на моніторингу та аналізі основних параметрів системи «основа – фундамент» у режимі реального часу, що дозволяє коригувати проект на будь-якій стадії проведення робіт.

Практика оснащення будівельних об'єктів ІТДББ в онлайн-режимі на сьогодні не є характерною для України, відомі лише окремі приклади (Яловець, 2024). 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 (MacLeod, 1995; Iwasaki, 2011).

Протягом останнього часу в Україні було розроблено нормативно – методичне забезпечення створення та застосування моніторингових систем у будівництві. Нормативний документ України ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково – технічного моніторингу будівель та споруд» увібрав у себе всі основні теоретико – методичні

вказівки та розробки з науково – методологічного обґрунтування, проектування та експериментального відпрацювання моніторингових систем для будівництва. Згідно з цією настановою інформаційна технологія діагностування поточного стану багатопверхових будівель (ІТДББ) потребує створення адаптованого під конкретні умови її функціонування автоматизованої системи збору та передачі інформації. ІТДББ потрібно укомплектувати відповідним інструментальним, математичним, програмним і апаратним забезпеченням.

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО - АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УСУНЕННЯ КРЕНІВ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

Для інформаційно – апаратного забезпечення усунення кренів багатопверхових будівель були розроблені прецизійні елементи кутових деформацій (індуктивні датчики); за допомогою спеціального розробленого стенду, програму «Pendulum» для розрахунку і візуалізації деформацій контрольованих будівельних конструкцій; моніторингову систему з онлайн-збором вимірювальної інформації про контрольовані фізичні величини; хмарну технологію та інструментальні засоби передачі результатів вимірювань в Інтернет; БД накопичення даних та їх оперативної обробки і т. д. (Шокарев, 2006).

Конструктивно прецизійний елемент (датчик) складається з чотирьох індуктивних перетворювачів, розташованих симетрично по колу перпендикулярно до маятника показано на Рис. 1). Усі індуктивні перетворю-

вачі встановлюються у вихідному положенні на однаковій відстані від маятника. Нитка маятника кріпиться до корпусу датчика, який у свою чергу жорстко закріплюється на об'єкті, що контролюється. Діапазон вимірювання величини горизонтального

зміщення і напрямку в точці установки на будівельній конструкції 360°. Маятник поміщається в гліцерин дистильований для стабілізації (Шокарев, 2007).

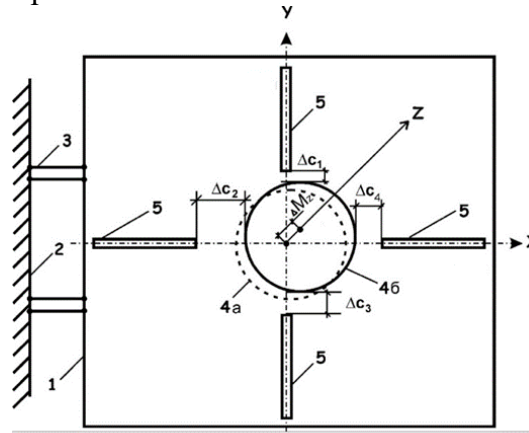


Рис. 1. Схема універсального індуктивного датчика крену: 1 – корпус датчика; 2 – контрольований об'єкт; 3 – кріплення (анкерні болти); 4 – маятник у поперечному перерізі: а) у початковому положенні; б) у зміщеному положенні; 5 – індуктивний перетворювач; $\Delta c_1 \dots \Delta c_4$ – відстані між маятником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

Fig. 1. Scheme of a universal inductive roll sensor: 1 – sensor body; 2 – controlled object; 3 – fastening (anchor bolts); 4 – pendulum in cross section: a) in the initial position; b) in the shifted position; 5 – inductive transducer; $\Delta c_1 \dots \Delta c_4$ – distances between the pendulum and inductive transducers; x, y – coordinate axes; Z – direction of pendulum displacement; ΔM_z – magnitude of pendulum axis displacement.

Розроблено стенд для випробування та тарування датчиків наведено на Рис.2а. Конструктивно стенд складається з двох вертикальних опор, жорстко закріплених на опорному майданчику, штанзі (переміщається тільки у вертикальній площині), закрі-

плених на горизонтальній осі обертання правої опори, майданчика для об'єкта вимірювання, мікрометра, закріпленого на лівій опорі, притискного вузла, закріпленого на правій опорі та регулювальних гвинтів, закріплених на опорному майданчику.

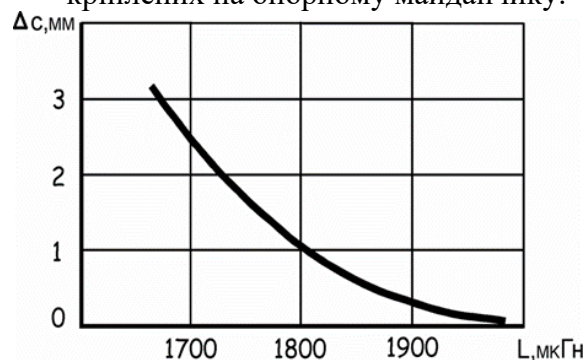
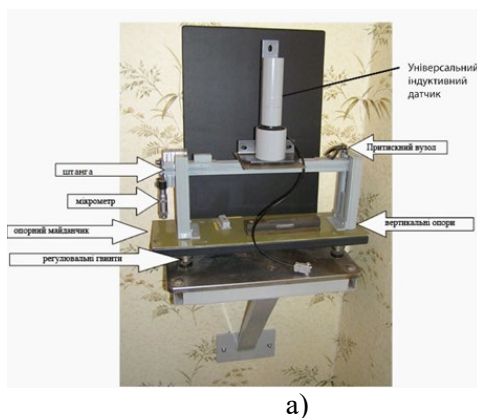


Рис. 2. Спеціальний стенд для розробки програми «Pendulum» та метрологічної атестації датчиків (а) і графік залежності індуктивності (L) перетворювача від відстані до маятника (Δc) (б).

Fig. 2. Special stand for the development of the “Pendulum” program and metrological certification of sensors (a) and a graph of the dependence of the inductance (L) of the converter on the distance to the pendulum (Δc) (b).

На підставі виконаних стендових випробувань отримано залежність величини індуктивності перетворювача від переміщення маятника, яка використовується для вимірювання кренів будівельних об'єктів приведено на Рис.26.

В основу розрахункової програми «Pendulum» покладено модель поля індуктивності, а саме функція $L(x, y)$, значення якої є індуктивність котушки при заданому положенні x, y маятника. Вихідними для програми є результати вимірювань, знятих з датчика. Для побудови моделі було представлено понад 1300 виміряних 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.

У процесі роботи над системою розроб-

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

Вибір індуктивного вимірювача обумовлений тим, що магнітні властивості матеріалів, що лежать в основі роботи приладу, практично не залежить 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.

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; запам'ятовує всі налаштування в енергонезалежній пам'яті; у паузах між циклами роботи переходить у режим енергозбереження. Технічні засоби, що входять до ІТДББ представленні на Рис. 3.



Рис. 3. Технічні засоби, що входять до ІТДББ: 1 - індуктивний датчик; 2 – вимірювач індуктивності; 3 - блок збору на передачі інформації.

Fig. 3. Technical means included in ITDBB: 1 - inductive sensor; 2 - inductance meter; 3 - information collection and transmission unit.

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.

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 вище зазначених 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. 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 підвищується надійність системи підтримки прийняття рішень (СППР) поточних управлінських команд ОПР і з'являється можливість визначати локальні зони ґрунту основи, що вимагають управлінського впливу. Наприклад, корекція технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

ПРИКЛАД ОЦІНКИ НДС БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ ПРИ УСУНЕННІ ЇЇ КРЕНУ

Наведемо приклад оцінки НДС 9-поверхового великопанельного будинку в м. Запоріжжя з розмірами в осях $23,30 \times 11,62$ м при усуненні його крену.

При усуненні наднормативного крену будівлі вирішується наступний комплекс завдань:

1. Аналіз проектної документації, обстеження будівельних конструкцій будівлі, уточнення їх можливих граничних станів, створення моделі інформаційного поля об'єкта, розробка інтерактивного проекту

усунення наднормативного крену будівельного об'єкта.

2. Монтаж вимірювально – інформаційної системи на об'єкті; щоденне отримання вхідної інформації у вигляді інформаційних сигналів; реалізація технічного, програмного, метрологічного, організаційного, інформаційного забезпечення; отримання вихідної інформації у вигляді фізичних величин та параметрів.

3. Чисельне моделювання напружено – деформованого стану будівлі з використанням програмного комплексу «Ліра».

4. Зіставлення фізичних величин і параметрів з нормами, що допускаються, перевірка умов міцності, поточне коригування інформаційної моделі об'єкту.

5. Коригування технологічних осідань. У процесі експлуатації будинок піддавався впливу просадних деформацій. При розрахунку аналізувалися головні напруги в елементах будівлі, за якими можна судити про міцність матеріалу конструкцій. На рис. 4 представлені зміни переміщень вузлів і розподілу головних напруг в елементах будівлі при впливі деформацій просадки в процесі експлуатації будівлі. В елементах будівлі виникли напруги, що перевищують розрахункові опори матеріалів конструкцій, що призвело до утворення тріщин та інших дефектів, які були виявлені при обстеженні будівлі. Головні стискаючі напруги досягають $2720,1 \text{ т/м}^2$ при гранично допустимих $850,0 \text{ т/м}^2$; основні розтягуючі напруги – $717,8 \text{ т/м}^2$ при гранично допустимих $160,0 \text{ т/м}^2$. Так як будівля не відповідає умовам нормальної експлуатації через наднормативні крени, було прийнято рішення 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 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.

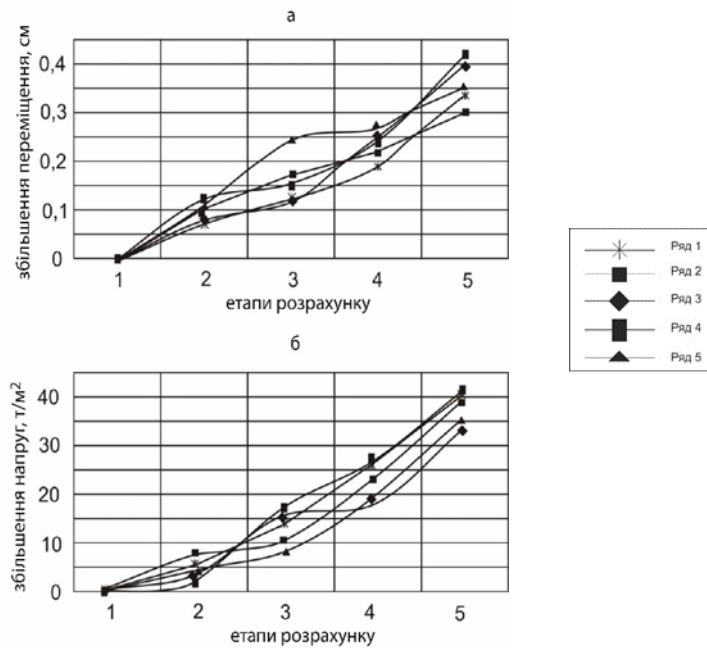


Рис. 4. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головних напруг (б) у поздовжніх стінах будівлі при впливі просадних деформацій у процесі її експлуатації.

Fig. 4. Change in node displacements (a) and distribution of principal stresses (b) in the longitudinal walls of the building under the influence of subsidence deformations during its operation.

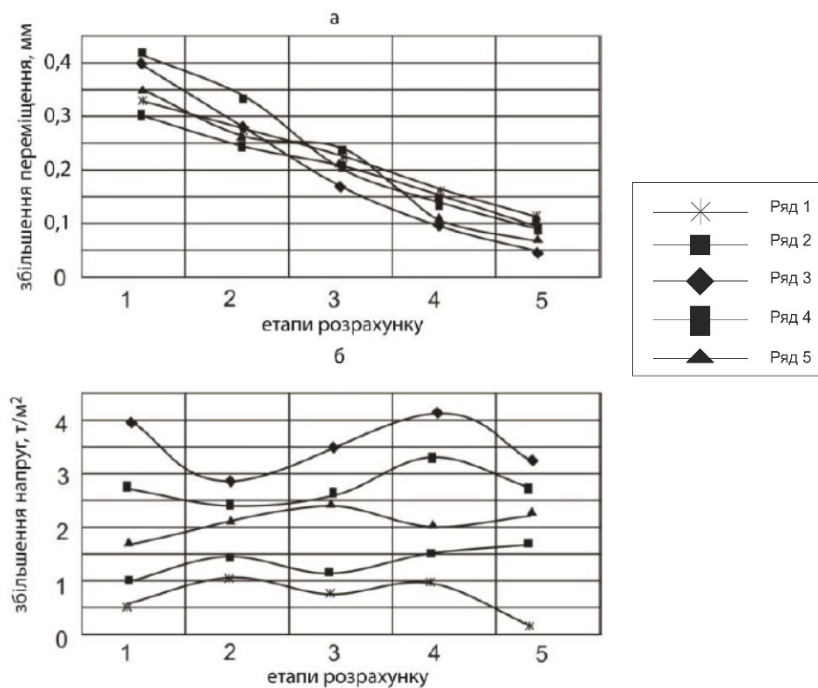


Рис. 5. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головних напруг (б) у поздовжніх стінах будівлі при її вирівнюванні.

Fig. 5. Change in node displacements (a) and distribution of principal stresses (b) in the longitudinal walls of the building during its alignment.

Усунення нахилу будівлі здійснювалося шляхом вибурювання розрахункової кількості ґрунту з-під підлоги фундаменту. Отри-

мання вхідної інформації у вигляді інформаційних сигналів проводилося не рідше 1 разу на добу. При цьому здійснювалася реа-

лізація 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 – визначасмо 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. 5 представлені зміни переміщень вузлів та розподілу головних напруг у будівлі при її вирівнюванні.

ВПРОВАДЖЕННЯ ІТДББ ПРИ УСУНЕННІ КРЕНІВ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

Наукові, методичні та практичні розробки в вигляді нової ІТДББ впроваджені в будівельну практику м. Запоріжжя в 2017 – 2021 рр. при ліквідації наднормативних кренів 7 багатоповерхових будівель, в рамках реалізації програми з моніторингу за деформаціями житлових будинків в м. Запоріжжя та усунення їх кренів, розробленої за участі спеціалістів Запорізького відділення ДП НДІБК.

Приклад. Будівлі житлових будинків по пр. Інженера Преображенського №№23,25 зведені на майданчику, складеному лесовими ґрунтами значної потужності, які при

замочуванні володіють просадними властивостями. За час експлуатації (~45 років) всі блок-секції (під'їзди) вищевказаних житлових будинків отримали нерівномірні осідання та досягли наднормативних величин осідань та відхилень.

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 (буд. 23) та блок-секцією №1 (буд. 25) замкнувся. Основною причиною цього стали значні нерівномірні осідання основи та фундаментів блок-секцій та наднормативні крени її кутів.

В межах науково - технічного супроводу (НТС) вирівнювання блок-секцій були виконані наступні роботи: інженерно- геологічні дослідження вологісного режиму ґрунтів основи, якості підготовки основи, 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 вирівнювалася, містили: універсальні індуктивні датчики крену; засіб збирання та передачі інформації, комп'ютерна програма «Pendulum» для розрахунку та візуалізації деформацій контрольованого об'єкта та ін.

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 в кожній блок-секції, блоки збору та передачі інформації. ІТДББ працював безперервно, а період зні-

мання інформаційного сигналу ІТДББ складав один раз на добу. Схема розташування датчиків наведена рис. 6, усі вектори побудовані в масштабі. ІТДББ дозволяє визначати у точці встановлення датчика напрямки

та величину горизонтального переміщення будівельних конструкцій з точністю 0,001 мм. За отриманими даними розраховуються крен та відносні осідання об'єкта спостережень в онлайн-режимі.

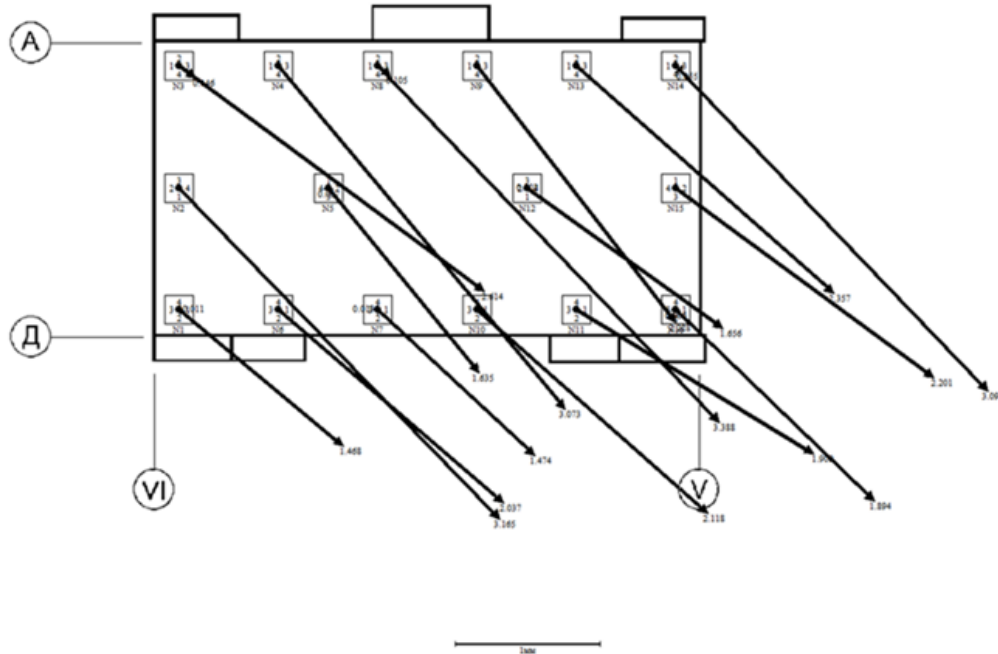


Рис. 6. Схема розташування датчиків ІТДББ в підвалі блок-секції №3 (житловий будинок №23) та напрямки переміщення всіх контрольованих ділянок будівлі за весь час спостережень за деформаціями блок-секції під час вирівнювання.

Fig. 6. Layout of ITDBB sensors in the basement of block section No. 3 (residential building No. 23) and the direction of movement of all controlled sections of the building for the entire time of observations of block section deformations during alignment

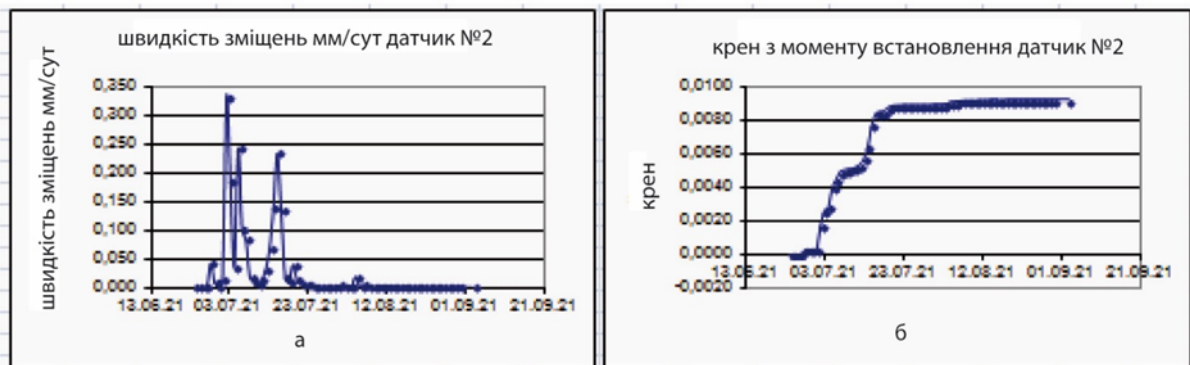


Рис. 7. Графіки залежності швидкості зміщення маятника (мм/добу) (а) і зміни крену від часу (б) по датчику № 2 за весь час спостережень.

Fig. 7. Graphs of the dependence of the pendulum displacement rate (mm/day) (a) and the change in roll on time (b) for sensor No. 2 for the entire observation time.

На графіках Рис. 7 наведена залежність швидкості зміщення маятника і зміни крену від часу по датчику №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 завершення бурових робіт. Четверта фаза – активні прогресуючі деформації під час регулювання технологічних осідань фундаментів шляхом зволоження ґрунту навколо свердловин. П'ята фаза – стабілізація деформаційних процесів.

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 №1 по всій висоті становила 440 мм наведено на Рис. 8.

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



Рис. 8. Загальний вигляд деформаційного шва між блок-секціями №3 та №1: до вирівнювання; після вирівнювання в м. Запоріжжі по вул. Інженера Преображенського 23, 25.

Fig. 8. General view of the expansion joint between block sections No. 3 and No. 1: before alignment; after alignment in Zaporizhia, 23, 25 Inzhenera Preobrazhenskoho St.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Розроблено інформаційну технологію діагностування багатоповерхових будівель для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, фізико – механічні властивості ґрунтів основи та властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноутворення) без зупинки функціонування інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

2. Наукова новизна розробки підтверджена 14 патентами на винахід та корисні

моделі України та Польщі, а також трьома захищеними дисертаційними роботами.

3. ІТДББ була впроваджена при усуненні наднормативних кренів 7 багатоповерхових будівель у 2017 – 2021 рр., в рамках реалізації програми з моніторингу за деформаціями житлових будинків в м. Запоріжжі та усунення їх кренів.

4. Результати цієї науково – дослідної роботи були використані при розробці нормативних документів вітчизняної будівельної галузі:

- ДБН В. 1.1 – 45: 2017 «Будівлі і споруди в складних інженерно – геологічних

умовах. Загальні положення»;

- ДСТУ – Н. Б. В. 1.2 – 17: 2016 Наставна щодо науково - технічного супроводу будівель і споруд.

5. Винахід «Електромагнітна вимірювально – інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено – деформованого стану інженерних конструкцій і споруд» у Всеукраїнському конкурсі МОН України став переможцем в номінації «Кращий винахід у Запорізькій області», а розробка «Автоматизована вимірювально – інформаційна система для моніторингу будинків та споруд» перемогла в конкурсі інновацій журналу «Експерт України».

6. Основні результати досліджень були представлені на симпозіумі Міжнародної Федерації з конструкційного бетону (fib) в листопаді 2024р. в м. Крайстчерч (Нова Зеландія).

7. Актуальним залишається застосування ІТДББ в Україні у майбутньому, тільки в м. Запоріжжі зафіксовано, що 145 багатопверхових будівель мають наднормативний крен, а 79 зіштовхнулись між собою.

ЛІТЕРАТУРА

- Самченко Р.В. (2004) Опыт устранения крена водонапорной башни. *Будівельні конструкції: Науково-технічний збірник*, 61, 122 – 125.
- Barbera J.A., & Macintyre A.G. (2007) *Medical Surge Capacity and Capability: A Management System for Integrating Medical and Health Resources During Large-Scale Emergencies U. S.: book*.
- Carter W.N. (2008) *Disaster management: a disaster manager's handbook.: book*.
- Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., & Самченко Р.В. (2009) Спосіб вирівнювання будівель, споруд: *Пат. України №40931, E02D35/00* (№u200814530; Заява 17.12.2008; Опубл. 27.04.2009, Бюл. №8. 6).
- Самченко Р.В. (2009) Решение проблемы кренов зданий и сооружений: *Будівництво України*, 3. 17 – 20.
- Яловець А.Л. (2024) Оперативне управління протидією надзвичайним ситуаціям: досвід автоматизації: Київ. Наукова думка.
- MacLeod I.A. (1995) *Strategy for the use of computers in structural engineering: The Structural Engineering*. 21. 13 – 21.
- Iwasaki Y. (2011) An Alternative Approach as Observational Method Inferred from Monitored Data to Avoid the Failure of the Geotechnical Excavation in Singapore: *International Symposium on Backwards Problem in Geotechnical Engineering and Monitoring of Geo – Construction*. 185 – 202. Osaka.
- Шокарев В.С., Чаплигін В.І., & Мальцева Я.В. (2006) Електромагнітна вимірювально – інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено – деформованого стану інженерних конструкцій і споруд: *Пат. України №75876, G01N27/90, G01M19/00* (№u20020542241; Заява 23.05.2002; Опубл. 15.06.2006, Бюл. №6. – 19).
- Шокарев В.С., Чаплигін В.І., & Хілько С.В. (2007) Електромагнітний датчик для контролю величини і напрямку нахилу конструкцій: *Пат. України №77761, G01B7/14, G01B21/00* (№u200440907640; Заявка 20.09.2004; Опубл. 15.01.2007, Бюл. №1, 2007. – 6).
- Samchenko R.V. (2004) Opit ustranenyia krena vodonapornoj bashny.[Experience in eliminating the tilt of a water tower] *Budivelni konstruktzii : Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, 61, 122 – 125. (in Ukrainian)
- Barbera J.A., & Macintyre A.G. (2007) *Medical Surge Capacity and Capability: A Management System for Integrating Medical and Health Resources During Large-Scale Emergencies U. S.: book*.
- Carter W.N. (2008) *Disaster management: a disaster managers handbook.: book*.
- Stepura I.V., Shokarev V.S., Pavlov A.V., Trehub A.S., & Samchenko R.V. (2009) Sposib vyryvniuvannia budivel, sporud [Method of leveling buildings and structures]: *Pat. Ukrainy №40931, E02D35/00* (№u200814530; Zaiava 17.12.2008; Opubl. 27.04.2009, Biul. №8. 6). (in Ukrainian)
- Samchenko R.V. (2009) Reshenye problemy krenov zdanyi y sooruzheniy [Solution to the problem of tilting buildings and structures]: *Budivnytstvo Ukrainy*, 3. 17 – 20. (in Ukrainian)
- Ialovets A.L. (2024) Operativne upravlinnia protydiieiu nadzvychainym sytuatsiiam: dosvid avtomatyzatsii [Operational management of

REFERENCES

- counteraction to extraordinary situations: experience of automation]: Kyiv. Naukova dumka. (in Ukrainian)
7. MacLeod I.A. (1995) *Strategy for the use of computers in structural engineering: The Structural Engineering*. 21. 13 – 21.
 8. Iwasaki Y. (2011) *An Alternative Approach as Observational Method Inferred from Monitored Data to Avoid the Failure of the Geotechnical Excavation in Singapore: International Symposium on Backwards Problem in Geotechnical Engineering and Monitoring of Geo – Construction* (p. 185 – 202). Osaka.
 9. Shokarev V.S., Chaplyhin V.I., & Maltseva Ya.V (2006) Elektromahnitna vymiruvanno – informatsiina systema neruinivnoho kontroliu parametriv napruzhenno – deformovanoho stanu inzhenernykh konstrukttsii i sporud [Electromagnetic measuring and information system for non-destructive testing of parameters of the stressed-strained state of engineering structures and buildings]: *Pat. Ukrainy №75876, G01N27/90, G01M19/00 (№u20020542241; Zaiava 23.05.2002; Opubl. 15.06.2006, Biul. №6. – 19).* (in Ukrainian)
 10. Shokarev V.S., Chaplyhin V.I., & Khilko S.V. (2007) Elektromahnitnyi datchyk dlia kontroliu velychyny i napriamku nakhyly konstrukttsii [Electromagnetic sensor for monitoring the magnitude and direction of structural inclination]: *Pat. Ukrainy №77761, G01B7/14, G01B21/00 (№u200440907640; Zaiavka 20.09.2004; Opubl. 15.01.2007, Biul. №1, 2007. – 6).* (in Ukrainian)

Diagnosing the current condition of multi-story buildings while eliminating their excessive tilt: development and implementation of information technology

Viktor SHOKAREV
Andrii SHOKAREV
Iurii KALIUKH
Bohdan CHORNYI

Summary. The aim of the dissertation work is to create a new information technology for diagnosing the current state of multi-story building to eliminate its over-normative roll while simultaneously ensuring the reliable functioning of the multi-story building during the entire process of leveling without stopping the functioning of the multi-story building

engineering networks, technological equipment (elevators) and the resettlement of residents, which will allow to improve the quality of estimates of the forecast of changes in the multi-story building vehicle in the controlled elimination of excessive tilting and to make responsible management decisions in conditions of uncertainty and the risk of construction accidents. Information technology for diagnosing the current state of multi-story building was developed for the first time to eliminate the tilting of the building in conditions of constant changes in its vertical position, the physical and mechanical properties of the foundation soils and the properties of the materials of individual building structures (cracking) during the entire time of leveling without stopping the operation of the engineering networks of the multi-story building, technological equipment (elevators) and the resettlement of residents, and sometime after its completion; the specialized Pendulum program for operational processing in online mode of experimental data from pre-trial inclinometric sensors distributed over the multi-story building (Digital Twins elements) in the process of eliminating its excessive roll, and graphical interpretation of the results for a better perception of information technology for diagnosing the current state of multi-story building information and is an element of feedback when support of operational management decisions in the process of liquidation of the above-standard bank roll. The mathematical-algorithmic apparatus of information technology for diagnosing the current state of multi-story building has been improved, which includes mathematical models of buildings and foundation soils that were used in the process of leveling the multi-story building, a mathematical model of drilling mixtures for fixing the foundations of the building after the leveling process is completed; precision sensitive inclinometric elements, a special stand has been developed for their testing and metrological research; continuous connection between the measurement results of the pre-screen sensitive inclinometric elements distributed over the multi-story building and the LIRA application program package for operational consideration of the change of the initial boundary conditions during the current calculations of the stressed - deformed state of the multi-story building during the entire alignment process and sometime after its completion. The system for transmitting digital experimental data from precision inclinometric sensors distributed over the multi-story building, with the help of modern cloud technologies (Internet of Things elements), received further development.

Keywords. Information technologies, technical condition of a multi-story building, roll, inclinometric sensors.