

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ШОКАРЕВ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 624.131.31.34

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.13.06 — Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



А. В. Шокарев

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник:



Калюх Юрій Іванович
доктор технічних наук,
професор

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Шокарев А.В. Інформаційно-апаратне забезпечення усунення кренів багатопверхових будівель. – Кваліфікаційна наукова праця 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.

У дисертації вирішено нову актуальну науково-прикладну задачу з розробки методологічної, апаратної, математичної та програмної реалізації інформаційної технології¹ діагностування поточного стану багатопверхової будівлі (ІТДББ) для підтримки прийняття рішень в процесі ліквідації її наднормативних кренів. ІТДББ містить настроювання та верифікацію комп'ютерної моделі багатопверхової будівлі (ББ) в сукупності з уточненням початково-крайових умов (з урахуванням поточного технічного стану будівельних конструкцій ББ, зміни їх міцності та зміни фізико-механічних характеристик ґрунтів основи за часом та деградацією); підготовку, отримання та аналіз первинної та онлайн-інформації протягом всього 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 напружено-деформованого стану (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

¹ Інформаційна технологія — цілеспрямована організована сукупність інформаційних процесів з використанням засобів обчислювальної техніки, що забезпечують високу швидкість обробки даних, швидкий пошук інформації, розосередження даних, доступ до джерел інформації незалежно від місця їх розташування. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97

надійної фіксації будівлі в новому положенні без зупинки функціонування інженерних мереж ББ, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

У першому розділі дисертації наведено наукові основи та загальні поняття про спеціалізовані **інформаційні технології (ІТ) та їх підсистеми** (моніторингові системи та ін.) для діагностики технічного стану (ТС) різних технічних об'єктів та про системи підтримки прийняття рішень (СППР), аналіз і оцінку результатів відомих досліджень з цієї тематики. СППР містить: аналіз попереднього та поточного ТС ББ, що зазнала наднормативаного крену; аналіз ефектів впливу на зміну НДС ББ різних природних та антропогенних факторів, включаючи аналіз реакції її окремих будівельних конструкцій; виявлення критичних факторів впливу; оцінку допустимих навантажень, математичне моделювання зміни НДС ББ за різних сценаріїв природного та антропогенного впливу тощо. Основним завданням, яке вирішується моніторинговими системами, є виявлення та оцінка відхилення реєстрованого поля від стаціонарного стану. Але перед цим важливо на попередньому етапі отримати характеристики цього стаціонарного стану.

Розвитком теоретико-методологічних основ та інструментальних засобів створення та використання ІТ у різних галузях людської діяльності активно займалися В.Ф. Губарєв, В.Б. Мокін, А.О. Мошенський, І.В. Сергієнко, О.М. Трофимчук, О.М. Хіміч та інші. Розробки та програмні реалізації інструментальних інформаційно-аналітичних систем у галузі будівництва за допомогою програмних комплексів ЛІРА-САПР та SCAD викладені в роботах О.М. Хіміча, М.Г. Мар'єнкова, В.А. Дуніна та ін. Значний внесок в розробку неруйнівних методів контролю та моніторингу залізобетонних конструкцій внесли Бойко В.В., Глуховський В.П., Дунін В.А., Джонс Р., Мар'єнков М.Г., Савицький О.А., Трофимчук О.М., Фекеоару І. та інші дослідники. Експериментально-теоретичні дослідження проводили Дунін В.А., Калюх Ю.І., Трофимчук О.М., Мар'єнков М.Г., Хіміч О.М., Ambrosini D., Roesset J.M., Kim D.S., Chen C.H., Carino N.J. та інші.

Визначення складу та структури ІТДББ, отримання первинної інформації за допомогою чутливих елементів, настроювання та верифікація комп'ютерних моделей будівель і споруд за допомогою експериментальних методів неруйнівного контролю вимагають проведення натурних досліджень, обробки великого обсягу статистичного матеріалу, застосування окремих сучасних технологій Industrial 4.0 у вигляді цифрових двійників (Digital Twins – DT) та Інтернету речей (Internet of Things – IoT). Все це й визначає **актуальність завдань** дисертаційних досліджень.

У **другому розділі** дисертації окреслено методологічне, інструментальне і математичне підґрунтя створення ІТДББ. Крен фундаменту є одним із критеріїв, що визначають експлуатаційну придатність будівельного об'єкта. Нормативними документами обмежуються допустимі величини кренів будівель та споруд. Однак у багатьох випадках крени фундаменту на різних етапах життєвого циклу будівельного об'єкта перевищують допустимі величини, а іноді – й граничні. Для подальшої безпечної експлуатації такої будівлі необхідно вибрати та реалізувати оптимальну технологію усунення наднормативного крену. Описано розроблені за участю здобувача прецизійні кутові чутливі елементи, методику оцінки величини та напряму зміщення від нахилу маятника та розробку стенду для тарування датчиків.

Досліджено та розраховано параметри системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном» та НДС системи «основа ББ – стрічковий фундамент» як елемента підтримки прийняття рішень в ІТДББ. Описано розробку способу ідентифікації НДС ґрунтової основи та експериментальне обґрунтування вибору основного розрахункового параметра в зворотному зв'язку ІТДББ при підробітку ґрунтів під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

Для запропонованої розрахункової моделі системи ББ «ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном» основними контрольованими параметрами є: товщина ґрунтової стінки між фундаментом ББ і котлованом, глибина котловану; глибина закладання, діаметр, крок циліндричних свердловин; характер зміни технологічних осідань та крену фундаменту; коефіцієнт ідентифікації ґрунтової основи, що підробляється; величина випору ґрунту в зоні стрічкового фундаменту.

При усуненні наднормативних кренів будівель і споруд часто виникають розбіжності у величинах фактичних та прогнозованих параметрів, наприклад технологічного осідання, крену ББ. Тому в проєктах необхідно передбачати додаткові інженерні заходи для забезпечення зворотного зв'язку з використанням ІТДББ: моніторинг у режимі реального часу, математичне моделювання НДС будівельних конструкцій ББ на основі програмного комплексу ЛІРА-САПР, комплексний синтез поточної експериментальної та розрахункової інформації для СППР, технологічні прийоми регулювання осідань за розрахунковою епюрою та ін. Це дозволить забезпечувати рівність прогнозованих та фактичних деформацій в умовах невизначеності та ризику ґрунтових аварій на всіх етапах виконання робіт з усунення крену ББ.

Універсальна структурна схема ІТДББ повинна додатково містити блок безперервного розрахунку НДС фундаменту та верхньої будови в технологічному процесі усунення крену ББ, а також блок формування поточних управлінських команд. Це дозволить визначити локальні зони ґрунту, що вимагають додаткового управлінського впливу при вирівнюванні ББ, наприклад на основі корекції технологічних осідань під підшвою стрічкового фундаменту ББ.

У **третьому розділі** розроблено експериментальний зразок ІТДББ, що містить прецизійні елементи вимірювання кутових деформацій та їх метрологічну атестацію за допомогою спеціального розробленого за участю здобувача стенду, програму «Pendulum» для розрахунку та візуалізації деформацій контрольованих будівельних конструкцій, моніторингову систему з онлайн-збором вимірювальної інформації про контрольовані фізичні величини, хмарну технологію та інструментальні засоби (мобільний телефон) передачі результатів вимірювань в Інтернет, базу даних для накопичення даних та їх оперативної обробки і т.п. При практичній реалізації ІТДББ для оцінки основних параметрів НДС фундаменту та ББ до її інформаційних каналів включені наступні вимірювальні перетворювачі та датчики (елементи ДТ ББ): індуктивний датчик для дистанційного контролю змін величини та напряму нахилу стрічкового фундаменту в діапазоні до граничного значення та індуктивний датчик

дистанційного контролю розкриття тріщин ББ. Реалізовано моніторингову систему (елемент ДТ ББ) з безперервним збором вимірювальної інформації про контрольовані фізичні величини з подальшими їх передачею за допомогою хмарних технологій (елемент IoT), оперативною обробкою та зберіганням у відповідних базах даних.

Для безперервного контролю параметрів системи ББ «грунтова основа – стрічковий фундамент з креном» розроблено структурну схему моніторингової системи, яка також містить блок періодичного автоматичного розрахунку НДС фундаменту та верхньої будови 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 підвищується надійність поточних управлінських команд від особи, що приймає рішення, та визначаються локальні зони ґрунту, що вимагають управлінського впливу, наприклад корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ. Інструментальні засоби, що входять до ІТДББ: універсальні індуктивні датчики крену і датчики розкриття тріщин (точність вимірювань – 0,001 мм, діапазон температур $-30^{\circ}\dots+70^{\circ}\text{C}$, захист від пилу і вологи IP56); засіб знімання інформації – вимірювач індуктивності ВІ1; засіб збору і передачі інформації – блок з мобільним телефоном (елемент IoT); комп'ютерна програма «Pendulum».

В четвертому розділі описано впровадження результатів роботи ІТДББ при науково-технічному супроводі (НТС) під час та після вирівнювання житлових будинків по пр. Інженера Преображенського, 23 та 25 у м. Запоріжжі. Ці житлові будинки 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 зазнали нерівномірних осідань, осідання та відхилення досягли наднормативних величин.

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-секції в цілому оцінювався як **непридатний для нормальної експлуатації**. Основною причиною такого висновку стали значні нерівномірні осідання основи та фундаментів блок-секції та наднормативні крени її кутів.

В рамках НТС вирівнювання блок-секції №1 були виконані наступні роботи: інженерно-геологічні дослідження вологісного режиму ґрунтів основи, якості підготовки основи, контроль якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану; геодезичний моніторинг за деформаціями 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 осіли².

Застосування даного способу з використанням ІТДББ дозволило виконати весь комплекс робіт з ліквідації наднормативного крену блок-секції №1 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. В результаті вирівнювання вдалося запобігти силовим руйнаціям (пошкодженням) конструкцій блок-секцій сусідніх будинків. Планово-висотне положення блок-секції №1 після її вирівнювання задовольняє вимогам проекту та діючим будівельним нормам України. Відхилення кутів блок-секції

² Спосіб вирівнювання будівель, споруд [Текст]: патент 40931 України Е02Д35/00 ДНДІБК, Степура І.В., Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В., Степура С.І. (Україна); Заява 17.12.2008; Опубл. 27.04.2009; Бюл. №8. – 2009. – 4 с. Режим доступу: <https://uapatents.com/3-40931-sposib-virivnyuvannya-budivel-sporud.html>

знаходиться в межах 9...96 мм, їхній крен – 0,0004...0,004. Закручування блок-секцій №1 і №3, яке сталося внаслідок спірання кутів сусідніх блок-секцій одна на одну, після їх вирівнювання залишилось. Внаслідок вирівнювання блок-секції №1 був усунений її наднормативний крен. Але просадні властивості ґрунтів основи фундаментів блок-секції нижче ґрунтової подушки не були ліквідовані, подальша реалізація просадних властивостей в результаті замочування могла призвести до наднормативних деформацій і закриття деформаційного шва між блок-секціями. Враховуючи це, водозахисні заходи є основною гарантією забезпечення подальшої нормальної експлуатації блок-секцій житлових будинків по пр. Інженера Преображенського, 21, 23 та 25 у м. Запоріжжі.

Ключові слова: наднормативний крен, інформаційна технологія діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі, ІТДББ, прецизійні інклінометричні елементи, моніторинг, розрахункова модель, математичне моделювання, зворотний зв'язок, управління.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Доповіді, 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, НДІБК, 2008, С.515-521. Режим доступу: http://www.ukrbook.net/litopys/jurnal/2009/LJ_01_09.pdf

5. Методика корректировки расчетных моделей зданий в процессе устранения их сверхнормативных кренов / 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. Ликвидация аварийного состояния 9-этажного крупнопанельного здания в Запорожье / 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=3nAcy2QAAAAJ&citation_for_view=3nAcy2QAAAAJ: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., Титякова Е.С., Причина Е.С., Легенченко В.А., Шокарев А.В. // Науковий вісник будівництва №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=UnuycsoAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAJ:IjCSPb-0Ge4C

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 – Випуск 148, Том 2 – Харків, 2014, С.70-75. Режим доступу:

https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UnuycsoAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAJ:_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 буромесительной

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 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. Геомеханічна розрахункова моделі системи «грунтова основа - стрічковий фундамент» при усуненні будівельних об'єктів підробкою ґрунтової основи / Шокарев В.С., Чаплигін В.І., Волков Д.А., Шокарев А.В. // Труды V міжнародної науково-технічної конференції «Надійність і довговічність будівельних матеріалів, конструкцій і підстав фундаментів», Волгоград, 2009, С.269-275.

17. Method of building calculations models correction in the process of abnormal building tilts elimination / A.V. Shokarev // The fourth international young geotechnical engineers conference Alexandria 2009, P.313-316.

18. Усунення кренів висотних споруд / Шокарев В.С., Самченко Р.В., Шокарев А.В. // Праці Всеросійського науково-технічного семінару «Геотехнічні проблеми нового будівництва та реконструкції» 2011р.

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, 2011). 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 большеразмерных 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. 29-30 марта 2013г. – Махачкала: ДГИНХ, 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, 2014, С.498-505. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2630315/page:50/>
23. Крен зданий и сооружений, причины, технологи выравнивания и мониторинга, практика / Шокарев В.С., Болотов Ю.К., Шокарев А.В. // Материалы международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в строительстве» - Баку, 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», Том 2, С. 119-121.
26. Calculation of the reinforced foundation of the sunflower seed oil warehouse in Mariupol Commercial Seaport / A.V. Shokarev, E.A. Shokarev // 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. // Научно-технический 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. // 10.02.2009 Бюл.№3. Режим доступу: <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» / Менайлюк О.І., Галушко В.О., Підойма А.С., Болюк С.В., Галушко О.М., Юхименко А.І., Шокарев А.В. // 10.12.2013 Бюл.№23. Режим доступу: <https://uapatents.com/14-85831-mekhanizovaniij-pristriij-dlya-pidsilennya-runtiv-osnov-fundamentiv-isnuyuchikh-budivel.html>

SUMMARY

Shokarev A.V. Information and Hardware Provision for Rectifying Tilts of Multi-Story Buildings – Qualifying scientific work on manuscript rights.

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

The dissertation addresses a new relevant scientific-applied task of developing a methodological, hardware, mathematical, and software implementation of an information technology³ for diagnosing the current state of a multi-story building (ITDMB) to support decision-making in the process of eliminating its excessive tilting. ITDMB includes the adjustment and verification of the computer model of a multi-story building (MB) along with refining initial and boundary conditions (considering the current technical condition of MB structural elements, changes in their strength, and changes in the physical-mechanical characteristics of foundation soils over time and degradation). It involves preparing, obtaining, and analyzing primary and online information throughout the alignment process using precision-sensitive measurement elements distributed across MB and developed with the involvement of the researcher, ensuring feedback in the alignment process management system based on experimental online information from inclinometric sensors and the results of current mathematical modeling of the stress-strain state (SSS) of MB structural elements. Systematic analysis of online experimental data and current SSS modeling results aims to assess the current technical condition of MB, enabling adjustments to management decisions throughout the alignment process with the ultimate goal of reliably fixing the building in a new position *without interrupting the operation of MB engineering networks, technological equipment (elevators, etc.), and residents' relocation.*

The first chapter of the dissertation provides scientific foundations and general

³ Information technology is a purposefully organized set of information processes using computer technology tools, providing high-speed data processing, rapid information retrieval, data decentralization, and access to information sources regardless of their location. Access mode: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97

concepts of specialized **information technologies (IT) and their subsystems** (monitoring systems, etc.) for diagnosing the technical condition (TC) of various technical objects and decision support systems (DSS). DSS includes analyzing the previous and current TC of MB, which has experienced excessive tilting; analyzing the effects influencing changes in MB SSS from various natural and anthropogenic factors, including the reaction of its individual structural elements; identifying critical influencing factors; assessing permissible loads; mathematical modeling of changes in MB SSS under different scenarios of natural and anthropogenic influences, etc. Monitoring systems aim to detect and evaluate deviations of the recorded field from a stationary state. However, it is crucial to obtain characteristics of this stationary state at the preliminary stage.

The development of theoretical-methodological foundations and instrumental means of creating and using IT in various fields of human activity has been actively pursued by researchers such as V.F. Hubarev, V.B. Mokin, A.O. Moshensky, I.V. Sergienko, O.M. Trofymchuk, O.M. Khimich, and others. Works by O.M. Khimich, M.G. Marienkov, V.A. Dunin, and others present developments and software implementations of instrumental information-analytical systems in the field of construction using the LIRA-CAD and SCAD software complexes. Significant contributions to the development of non-destructive methods of monitoring and controlling reinforced concrete structures have been made by researchers such as V.V. Boyko, V.P. Glukhovskiy, V.A. Dunin, R. Jones, M.G. Marienkov, O.A. Savitsky, O.M. Trofymchuk, I. Fekeoar, and others. Experimental-theoretical studies have been conducted by V.A. Dunin, Y.I. Kalyukh, O.M. Trofymchuk, M.G. Marienkov, O.M. Khimich, D. Ambrosini, J.M. Roesset, D.S. Kim, C.H. Chen, N.J. Carino, and others.

Defining the composition and structure of ITDMB, obtaining primary information using sensitive elements, adjusting and verifying computer models of buildings and structures through experimental non-destructive control methods require conducting field studies, processing a large amount of statistical material, and applying modern Industry 4.0 technologies such as digital twins (DT) and the Internet of Things (IoT).

All of these factors determine **the relevance of the dissertation research tasks**.

In the second chapter of the dissertation, the methodological, instrumental, and mathematical foundations for creating ITDMB are outlined. The tilt of the foundation is one of the criteria defining the operational suitability of a building object. Normative documents limit the permissible values of tilts for buildings and structures. However, in many cases, the tilts of the foundation at different stages of the life cycle of a building object exceed the permissible values and sometimes even the limits. For the further safe operation of such a building, it is necessary to select and implement an optimal technology for eliminating excessive tilting. The developed precision angular-sensitive elements, the methodology for assessing the magnitude and direction of displacement from the pendulum tilt, and the development of a stand for sensor calibration are described.

Parameters of the "undermined soil foundation – strip foundation with tilt" system and the SSS of the "MB base – strip foundation" system have been studied and calculated as elements supporting decision-making in ITDMB. The development of a method for identifying the SSS of the soil foundation and the experimental justification for choosing the main calculated parameter in the feedback of ITDMB during soil excavation under the sole of the MB strip foundation are described.

For the proposed computational model of the "MB soil foundation – strip foundation with tilt" system, the main controlled parameters are: the thickness of the soil wall between the MB foundation and the pit, the pit depth; depth of laying, diameter, pitch of cylindrical wells; the nature of the change in technological settlements and the tilt of the foundation; identification coefficient of the undermined soil foundation; the magnitude of the soil resistance in the strip foundation zone.

During the elimination of excessive tilts of buildings and structures, discrepancies often arise in the values of actual and predicted parameters, such as technological settlements, MB tilt, etc. Therefore, additional engineering measures must be provided in the projects to ensure feedback using ITDMB: real-time monitoring, mathematical modeling of the SSS of MB structural elements based on the LIRA-CAD software complex, integrated synthesis of current experimental and computational information

for DSS, technological methods for adjusting settlements based on the calculated contour, etc. This will ensure equality of predicted and actual deformations under conditions of uncertainty and the risk of soil accidents at all stages of tilt elimination works.

The universal structural scheme of ITDMB should additionally include a block for continuous calculation of the SSS of the foundation and the superstructure in the technological process of tilt elimination, as well as a block for forming current management commands. This will help determine local soil zones that require additional management influence during the alignment of MB, for example, based on the correction of technological settlements under the sole of the MB strip foundation.

In the third chapter, an experimental prototype of ITDMB has been developed, incorporating precision measurement elements for angular deformations and their metrological certification using a specially designed stand involving the candidate. The dissertation discusses the "Pendulum" program for the calculation and visualization of deformations in controlled building structures, an online monitoring system for collecting measurement information on controlled physical quantities, cloud technology, and instrumental means (mobile phone) for transmitting measurement results to the Internet, a database for data accumulation, and real-time processing, etc.

In the practical implementation of ITDMB to assess the main parameters of the SSS of the foundation and MB, the following measurement transducers and sensors (MB DT elements) are included in its information channels: an inductive sensor for remote monitoring of changes in the magnitude and direction of the tilt of the strip foundation within the permissible range, and an inductive sensor for remote monitoring of cracks in the MB. A monitoring system (MB DT element) has been implemented with continuous collection of measurement information on controlled physical quantities, followed by transmission using cloud technologies (IoT element), real-time processing, and storage in relevant databases.

For continuous monitoring of the parameters of the "MB soil foundation – strip foundation with tilt" system, a structural scheme of the monitoring system has been developed. It also includes a block for periodic automatic calculation of the

foundation's SSS and the superstructure in the technological process of tilt elimination, based on the LIRA-CAD software complex with automatic correction of the initial and boundary conditions of the calculation (an addition to the LIRA-CAD software complex). The correction of initial and boundary conditions is based on current experimental information from inclinometric sensors distributed across the MB (MB DT elements) and considering the actual TC of MB during the calculation period. These measures enhance the reliability of current management commands from the decision-maker and identify local soil zones requiring management influence, such as the correction of technological settlements under the sole of the MB strip foundation. Instrumental means included in ITDMB: universal inductive sensors for tilt and crack sensors (measurement accuracy – 0.001 mm, temperature range -30°...+70°C, dust and moisture protection IP56); data acquisition device – inductance meter BI1; information collection and transmission device – a block with a mobile phone (IoT element); computer program "Pendulum."

In the fourth chapter, the implementation of ITDMB results is described within the framework of scientific and technical support (STS) during and after the alignment of residential buildings at 23 and 25 Engineer Preobrazhensky Avenue in Zaporizhzhia. These residential buildings were constructed on a site consisting of highly compressible clayey soils, which exhibit settlement properties when saturated. Over the course of approximately 45 years of operation, all block sections (entrances) of the mentioned residential buildings experienced uneven settlements, and these settlements and deviations reached beyond permissible limits.

In 2014, a survey of building structures, along with an assessment of their TC, was conducted. The survey results revealed that the technical condition of building structures and block sections, in general, was deemed **unsuitable for normal operation**. The main reason for this conclusion was significant uneven settlements of the foundation and foundations of block sections and excessive tilting of its corners.

As part of the STS for the alignment of block section No.1, the following works were carried out: engineering-geological investigations of the moisture regime of foundation soils, the quality of foundation preparation, quality control of backfill

compaction in the pit; geodetic monitoring of building deformations during alignment; clarification of actual tilts of the block section at different stages of alignment; STS of preparatory work and the alignment process; control of the condition of block section structures during alignment using ITDMB and their inspection after performing works to eliminate excessive tilt by the method of soil removal under the foundation using horizontal wells according to the calculated parameters under the foundations of the MB, which settled less⁴.

The application of this method using ITDMB allowed performing the entire complex of works to eliminate excessive tilt of block section No.1 *without stopping the operation of MB engineering networks, technological equipment (elevators, etc.), and the relocation of residents*. The restoration of the deformation joint between block sections No.3 of residential building No.23 and No.1 of residential building No.25 eliminated the over-projected stresses acting on the building structures of block sections that relied on each other. As a result of alignment, it was possible to prevent force-related destruction (damage) of the structures of adjacent block sections. The planned-height position of block section No.1 after its alignment meets the requirements of the project and current building norms of Ukraine. The corner deviations of block sections range from 9 to 96 mm, and their tilt is between 0.0004 and 0.004. The twisting of block sections No.1 and No.3, which occurred due to the leaning of the corners of adjacent block sections against each other, remained after their alignment.

Due to the alignment of block section No.1, its excessive tilt was eliminated. However, the settlement properties of the foundation soils beneath the foundations of the block section below the ground cushion were not eliminated, and further realization of settlement properties due to saturation could lead to excessive deformations and closure of the deformation joint between block sections. Taking this into account, waterproofing measures are the main guarantee for ensuring the further normal operation of block sections of residential buildings at 21, 23, and 25 Engineer

⁴ Method of aligning buildings and structures [Text]: patent 40931 Ukraine E02D35/00 SSRIBC, Stepura I.V., Shokarev V.S., Pavlov A.V., Trehub A.S., Samchenko R.V., Stepura S.I. (Ukraine); Application 17.12.2008; Published 27.04.2009; Bul. No8. – 2009. – 4 p. Access mode: <https://uapatents.com/3-40931-sposib-virivnyuvannya-budivel-sporud.html>

Preobrazhensky Avenue in Zaporizhzhia.

Keywords: excessive tilt, information technology for diagnosing the current state of a multi-story building, ITDMB, precision inclinometric elements, monitoring, computational model, mathematical modeling, feedback, management.

ЗМІСТ

	Стор.
ЗМІСТ	21
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	22
ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	33
1.1. Застосування ІТ для діагностики ТС об'єктів	33
1.2. Структурні схеми вимірювально-інформаційних систем	36
1.3. Застосування інформаційних технологій при усуненні понаднормативних кренів ББ	45
1.4. Постановка завдань дослідження	48
1.5. Висновки до розділу 1	49
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ, ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ ПІДГРУНТЯ СТВОРЕННЯ ІТДББ	52
2.1. Нормативно-методологічна база ІТДББ і основні теоретико-методологічні етапи проєктування та реалізації ІТДББ	52
2.2. Методика оцінки величини та напрямку зміщення від нахилу маятника інклінометричного датчика	53
2.3. Прикладна методика оцінки величини та напрямку зміщення від нахилу маятника інклінометричного датчика	71
2.4. Розробка стенду для випробувань і налаштування пристрою вимірювання кутових деформацій	77
2.5. Моделювання НДС системи «основа ББ – стрічковий фундамент» як елемента підтримки прийняття рішень ІТДББ	81
2.6. Розробка способу ідентифікації НДС ґрунтової основи	95
2.7. Експериментальне обґрунтування вибору основного розрахункового параметра при підробітку ґрунтів під подошвою стрічкового фундаменту ББ	103
2.8. Висновки до розділу 2	108
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО РЕАЛІЗОВАНІ СКЛАДОВІ ІТДББ	110
3.1. Програма «Pendulum»	110
3.2. Інформаційно-вимірювальна система «Моніторинг»	124
3.3. Автоматична обробка результатів вимірювань датчиків ІТДББ та її точність	134
3.4. Автоматичний пристрій для контролю параметрів розрахункової моделі та ідентифікації НДС ББ в ґрунтовій основі	135
3.5. Хмарна технологія передачі результатів вимірювань ІТДББ	138
3.6. Коригування розрахункових моделей ББ у процесі усунення їх наднормативних кренів за результатами ІТДББ у ПК ЛІРА 9.6	139
3.7. Висновки до розділу 3	157
РОЗДІЛ 4. ЛІКВІДАЦІЯ НАДНОРМАТИВНИХ КРЕНІВ ББ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ ҐРУНТОВИХ АВАРІЙ В М. ЗАПОРІЖЖІ НА ОСНОВІ ІТДББ	159
4.1. Облаштування блок-секції ББ інклінометричними датчиками, деформаційними марками та реперами на майданчику розташування будівлі	161
4.2. НТС у процесі виконання підготовчих та земляних робіт	164
4.3. НТС у процесі вирівнювання блок-секції №1 на основі ІТДББ	165
4.4. НТС після закінчення вирівнювання блок-секції	180
4.5. Висновки до розділу 4	181
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	183
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	185
ДОДАТОК А	204
ДОДАТОК Б	207
ДОДАТОК В	215
ДОДАТОК Г	223

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

№ п/п	Скорочення	Пояснення
1.	АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
2.	ББ	Багатоповерхова будівля
3.	ВВЗ	Віртуальні вимірювальні засоби
4.	ВІС	Вимірювальна інформаційна система
5.	ВС	Вимірювальна система
6.	ГТД	Газотурбінний двигун
7.	ДБН	Державні будівельні норми
8.	ДВС	Двигун внутрішнього згорання
9.	ДП НДІБК	Державне підприємство "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій"
10.	ЗВТ	Засіб вимірювальної техніки
11.	ІДК	Індуктивний датчик крену
12.	ІП	Індуктивний перетворювач
13.	ІАС	Інформаційно-аналітична система
14.	ІВМС	Інформаційно-вимірювальна моніторингова система
15.	ІТ	Інформаційні технології
16.	ІТДББ	Інформаційна технологія діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі для ліквідації її крену
17.	ІоТ	Інтернет речей
18.	КНУБА	Київський національний університет будівництва та архітектури
19.	МОР	Металічний об'ємний резонатор
20.	МСЕ	Метод скінченних елементів
21.	НДС	Напружено-деформований стан
22.	НТС	Науково-технічний супровід
23.	ОПР	Особа, що приймає рішення
24.	ПЗ	Програмне забезпечення
25.	ПК	Програмний комплекс
26.	ПК ЛІРА	Програмний комплекс ЛІРА
27.	САК	Система автоматичного контролю
28.	СЕ	Скінченні елементи
29.	СМ	Системи моніторингу
30.	СППР	Система підтримки прийняття рішень
31.	СРЗ	Системи розпізнавання зображень
32.	СТД	Системи технічної діагностики
33.	ТВМ	Телевимірювальна система
34.	ТЗ	Технічне завдання
35.	ТС	Технічний стан
36.	УЗК	Ультразвукові коливання
37.	УІД	Універсальний індуктивний датчик
38.	ФМХ	Фізико-механічні характеристики
39.	ФНЧ	Фільтр низьких частот
40.	DT	Digital Twins
41.	ІоТ	Internet of Things

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток інформаційних технологій та експериментальних методів неруйнівного контролю дозволяє вирішувати сучасні проблеми будівельної галузі, що пов'язані з аналізом поточного технічного стану ББ, прогнозуванням його змін найближчим часом та у подальшому. При цьому зростають вимоги до точності прогнозу зміни технічного стану ББ; їх безпосередній зв'язок з проблемами території, де розташовані будівлі; врахування деградації ґрунтів основи, підтоплення території, підвищення сейсмічної активності та глобальних змін, пов'язаних з потеплінням, які безпосередньо проєктуються на даний будівельний майданчик, територію забудови або місце розташування будівельного об'єкта. 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. Все це дозволяє зменшити вплив невизначеностей різної природи, пов'язаних зі зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів основи, зміною міцності будівельних матеріалів та конструкцій та, у підсумку, підтримати прийняття більш виважених та обґрунтованих управлінських рішень.

В 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 фізико-механічних властивостей ґрунтів основи ББ та ТС її будівельних конструкцій може швидко змінюватися внаслідок прориву комунікацій, нерівномірного осідання, крену та ін., також вона отримується з різних джерел з різною точністю (похибкою) приладів, різною кваліфікацією експертів, часто є неповною, недостовірною, застарілою або спотвореною. Всі ці фактори сильно ускладнюють прийняття коректних оперативних управлінських рішень (наприклад, при вирівнюванні будівель), оцінку відповідності ТС ББ діючим будівельними нормативами 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 НДС ББ, якнайточніше виявити закономірності зміни ТС ББ при відсутності повної інформації про початково-крайові умови розрахункової задачі, характер їх еволюційної динаміки тощо може в окремих випадках призвести до спотворення результатів. Це обумовлено обмеженістю математичних моделей ББ, що входять до складу цих програмних комплексів, неврахуванням в них реальної нелінійної поведінки ББ, обмеженості ФМХ ґрунтів основи та будівельних матеріалів, закладених в їх теоретичну основу. Тому актуальною є і залишається проблема розробки інформаційної технології діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі для ліквідації її крену, яка б враховувала фактичні зміни початково-крайових умов, зміни ФМХ



Рис. 0.1. Крен п'ятиповерхового будинку в м. Кам'янське внаслідок прориву водогінних комунікацій.



Рис. 0.2. Замикання деформаційного шва між 9-поверховими житловими будинками в м. Запоріжжя.

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 DT*).

Будівлі та споруди (рис. 0.1, 0.2), побудовані на стиснутій основі, найчастіше схильні до впливу нерівномірних осідань, що розвиваються. Причини їх

виникнення можуть бути різними, залежати від широкого спектра об'єктивних і суб'єктивних факторів.

До об'єктивних факторів можна віднести склад ґрунтів основи. Наприклад, у Запоріжжі – переважно лесові ґрунти, чутливі до замочування, що може спричинити нерівномірну деградацію їх несучої здатності. Суб'єктивними факторами є прориви та несправності в комунікаціях холодного та гарячого водопостачання в будівлі, а також системи водовідведення. Таким чином, виникає системна циклічна дія: нерівномірні осідання призводять до обриву комунікацій, витоки з комунікацій призводять до нових нерівномірних осідань і т.п. (рис. 0.3), в т.ч. під час виконання будівельних робіт.



Рис. 0.3. Затоплення котловану з буровим обладнанням при виконанні робіт з усунення крену п'ятиповерхового крупнопанельного будинку внаслідок аварійного прориву водопроводу (м. Селідово, Донецька обл., 2002 р.)

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. Зайченко (*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. Хіміча, М.Г. Мар'єнкова, В.А. Дуніна, Ю.І. Калюха та ін. [35–38].

Відсутність у сучасних умовах фондів переселення мешканців з аварійних будівель обумовлює особливу ретельність та необхідність підготовки первинної інформації, настроювання та верифікації комп'ютерних моделей та систем моніторингу НДС ББ, розвитку та вдосконалення інформаційних технологій та, в результаті, надійності технологій проведення робіт, пов'язаних з відновленням експлуатаційної придатності будівель (усунення наднормативних кренів).

На підставі викладеного можна стверджувати, що задача побудови інформаційної технології діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі для ліквідації її крену, яка забезпечує високу надійність, безпеку та обчислювальну ефективність, є актуальною.

Важливою та **актуальною науково-прикладною задачею**, що розв'язується в дисертаційній роботі, є створення нової інформаційної технології діагностування поточного стану ББ (ІТДББ) 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 забезпеченні 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) (ІТГПІ НАНУ).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є 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 і 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 ґрунтів 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 результати чисельного моделювання НДС ББ, її ґрунтових основ з залученням експериментальних даних технічної діагностики ББ та інші методи. 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 досліджень сформульована у наступних наукових положеннях, що виносяться на захист:

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 ДТ), 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 ЛПА САПР для оперативного врахування зміни початково-крайових умов при

поточних розрахунках НДС ББ протягом всього процесу вирівнювання та деякого час 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 но-вої 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, розроблені наукові положення, висновки та рекомендації. 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: 19-й та 20-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 2021–2022); Міжнародному науково-технічному симпозиумі «Problems of Improper Construction and Monitoring of Structures» (Осака, Японія, 2011); 27th European Young Geotechnical Engineers Conference (Бодрум, Туреччина, 2019); 4th International Young Geotechnical Engineers Conference (Олександрія, Єгипет, 2009); Міжнародній науково-технічній конференції «Научно-технический прогресс в строительстве» (Баку, Азербайджан, 2014); VI International Scientific and Practical Conference «Modeling, Control and Information Technologies» (Рівне, Україна, 2023); Конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» (Одеса, 2017); 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); Всеросійському науково-технічному семінарі «Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции» (Новосибірськ, РФ, 2011); Міжнародній практичній конференції «Строительство: проблемы и перспективы» (Махачкала, РФ, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение» (СПб, РФ, 2014) 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 вико-ристаних джерел. Містить 10 таблиць та 79 рисунків. Список використаних джерел налічує 185 найменування. Загальний обсяг – 242 сторінки. Основний текст – 126 сторінок.

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

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. Застосування ІТ для діагностики ТС об'єктів

Світова практика експлуатації технічних конструкцій та споруд зараз зазнає суттєвих змін. Вона йде шляхом створення технологій управління експлуатацією конструкцій, коли можна буде будь-якої миті знати ТС конструкції та моделювати її поведінку в майбутньому. Зрештою цей підхід має призвести до створення інформаційної технології постійного аналізу експлуатаційних параметрів (температури, вологості, напруг у несучих конструкціях тощо). Вимога раціональної експлуатації будівель і споруд передбачає, що вже недостатньо оцінювати їх стан «на око». Потрібна чітка об'єктивна інформація. Тому інформаційні технології всеосяжного моніторингу є не лише своєчасними, а й необхідними [39].

Аналіз літератури з будівництва та комунального господарства [40, 41] показує, що серед фахівців формується нове розуміння проблеми експлуатації будівель, споруд, взагалі будь-яких технічних конструкцій і систем. Привертає увагу той факт, що всі запропоновані нові технології або являють собою засоби для отримання значень експлуатаційних параметрів контрольованого об'єкта, або базуються на необхідності мати докладні та достовірні дані про об'єкт. Іншими словами, всі вони пов'язані з інформаційними технологіями та технологічним моніторингом.

Теоретичною основою дослідження є роботи закордонних та вітчизняних вчених та фахівців в галузі інформаційних технологій, зокрема О.М. Трофимчука, М.З. Швиденка (системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності); П.І. Бідюка, О.М. Терентьева (методи прогнозування поведінки нелінійних систем); Є.В. Бодяньського., В.І. Литвиненка (методи інтелектуального аналізу даних); В.З. Згуровського, Н.Д. Панкратової (теорія та прикладні методи системного аналізу); Ю.П. Зайченка, Ю.І. Калюха (методи нечіткого аналізу і моделювання); С.Ф. Теленика (інформаційні технології); Дж.

Краскала, А.А. Гухмана, М. Леонарда, Дж. Слоана, Т. Лі, Б. Ельшеймера (теорія подібності процесів); Ф. Бернштейна, С. Холсаппла (системи підтримки прийняття рішень) та інших [32, 33, 26, 27, 29–31, 34, 42–46].

Тривале існування тренду, що призводить до появи або дефіциту напруги, може бути причиною цілого ряду небезпечних і катастрофічних явищ як у технічних, так і в природних системах: наведених землетрусів, зсувних процесів і просадних явищ [47]. Для попередження таких подій повинна бути розроблена інформаційна технологія, яка містить наступні етапи: аналіз попереднього та поточного стану об'єкта; аналіз ефектів впливу на нього різних природних і антропогенних чинників, включаючи аналіз реакції його окремих компонент; виявлення критичних чинників впливу; оцінка допустимих навантажень; математичне моделювання зміни стану за різних сценаріїв природного та антропогенного впливу [48].

Проведені у цьому напрямі дослідження показали [49–50], що застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизованого діагностування та обробки інформації, отриманої під час технічної діагностики будівельних об'єктів, істотно підвищує якість їх обстеження. Змістове перегрупування нормативної інформації та формування інформаційної бази даних на основі постійних моніторингових досліджень дозволяють застосувати ефективніший спосіб діагностики та технічного обстеження (експертизи). В результаті цих нововведень ТО буде зведене до системного автоматизованого збору інформації про ТС кожного структурного елемента, її закріплення та подальшої обробки за допомогою інформаційних технологій. Застосування інформаційних технологій дозволяє контролювати виконання завдання від його постановки до видачі результатів, змінювати та модифікувати код рішення – дозволяє розширити область автоматизації завдяки можливості ОПР активно впливати на хід вирішення задачі.

Моніторинг (лат. monitor – той, хто нагадує, попереджає) – це комплексна система спостережень, оцінки та прогнозу змін станів технічного об'єкта або його окремих елементів і вузлів під дією різних впливів [51]. Блискучі зразки

організації спостережень за природою описані ще у першому столітті Н.Е. у «Природній історії» Гая Секунда Плінія (старшого) [51].

Метою моніторингу є визначення моментів часу, коли відбуваються відхилення від нормального функціонування досліджуваного об'єкта. Головним у моніторингу є інформаційна система спостережень, оцінка поточного стану машини та тенденцій зміни ТС в умовах експлуатації. Обсяг одержаних під час моніторингу експериментальних даних є науковою основою планування заходів з математичного моделювання та відновлення ТС. Системи моніторингу – це найбільш оптимальний спосіб досягнення цієї мети (за термінами, вартістю, необхідністю заміни деталей і механізмів тощо). На сьогодні відомо багато різних визначень моніторингу [52–58], що свідчить про бурхливий розвиток ІТ-моніторингу ТС природних і технічних систем. Тому до сьогодні зміст терміну «моніторинг» чітко не встановлений.

Основним завданням, яке вирішується з використанням інформаційних технологій, є виявлення та оцінка відхилення реєстрованого поля від стаціонарного стану. Але перед цим важливо **на попередньому етапі** отримати характеристики цього стаціонарного стану. Використання математичного моделювання уможливорює призначення для того чи іншого природно-технічного об'єкта певної сукупності показників ТС, що відповідає нормальному або оптимальному стану об'єкта спостереження.

Для ідентифікації стану об'єкта шляхом аналізу вибираються найбільш інформативні індикаційні показники, сукупність яких репрезентативно фіксує стан досліджуваного об'єкта. Для спостережень вибираються також індикаційні ділянки, вузли та механізми, тобто області найбільш динамічної зміни стану (або навпаки – стабільні). У процесі моніторингу фіксуються фактичні значення індикаційних показників [59–61]. Часткові завдання, які вирішуються в процесі моніторингу, потребують різних спеціалізованих математичних методів, таких як спектральний аналіз, кореляційний аналіз і т.д. Класичний спектральний аналіз часових рядів, заснований на перетворенні Фур'є, дозволяє отримувати розкладання досліджуваного сигналу на окремі частотні компоненти і оцінювати

відносну потужність (або інтенсивність) такої компоненти.

В результаті отриманих даних про стан об'єкта досліджень виникає проблема забезпечення процесу оптимального прийняття рішення, що потребує створення на основі сучасної обчислювальної техніки та її системного забезпечення автоматизованих робочих місць інтерпретаторів результатів інформаційних технологій. Ці автоматизовані робочі місця інтерпретатора дозволяють: підключати фахівців (експертів) у процесі прийняття рішення у діалоговому режимі, спираючись на поточні проміжні результати; використовувати апріорну інформацію та експертні оцінки; ініціювати питання до експертів у формі, природній для їхньої предметної галузі; звертатися до досвіду вирішених завдань та до банків довідкової інформації [61].

1.2. Структурні схеми вимірювально-інформаційних систем

Виконаний аналіз існуючих структурних схем вимірювально-інформаційних систем для моніторингу складних технічних систем та об'єктів показав, що за рівнем технічного виконання та залежно від мети застосування ВІС поділяються на основні класи: ВС, САК, СТД, СРЗ, ТВМ.

Типова схема взаємодії основних компонентів ВІС наведена на рис. 1.1. [62]. На основі класифікаційних ознак ВІС поділяють за принципами побудови структур (табл. 1.1) і за характеристикою інформаційних сигналів (табл. 1.2) [62].

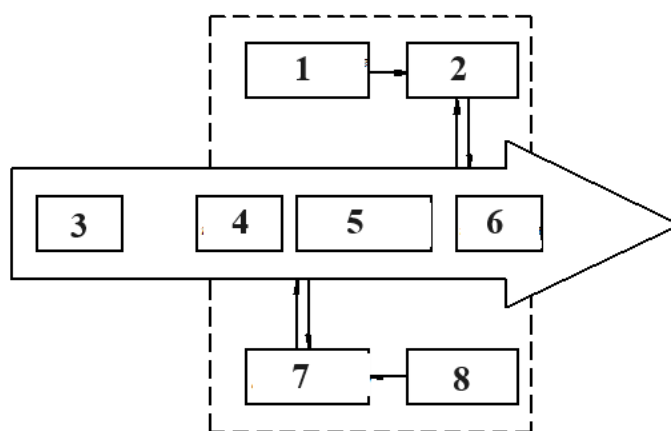


Рис. 1.1. Основні компоненти ВІС. На рисунку: 1 – організаційне забезпечення; 2 – оперативний персонал; 3 – датчики; 4 – вхідна інформація; 5 – інформаційне забезпечення; 6 – вихідна інформація; 7 – технічне забезпечення комп'ютера; 8 – програмне забезпечення.

Класифікація ВІС за принципами побудови структур

Класифікаційна ознака	Класи	
	1	2
Наявність спеціального каналу зв'язку	Відсутній	Наявний
Порядок виконання операцій отримання	Послідовний	Паралельний
Агрегування складу системи	Агрегований	Неагрегований
Використання стандартного інтерфейсу	Не використовується	Використовується
Наявність програмно-керованих обчислювальних пристроїв	Відсутні	Наявні
Наявність контурів інформаційного зворотного зв'язку	Розімкнені	Компенсаційні (одно- та багатоконтурні системи)
Зміна швидкостей отримання та видачі інформації	Без зміни (в реальному часі)	Зі зміною швидкостей
Сигнали, що використовуються у ВІС	Аналогові	Кодоімпульсні
Структурна та інформаційна надлишковість	Ненадлишкові системи	Надлишкові системи
Адаптація до надлишкових величин	Неадаптивні	Адаптивні

Таблиця 1.2.

Класифікація ВІС за характеристикою інформаційних сигналів

Класифікаційна ознака	Класи	
	1	2
Поведінка у часі	Незмінна	Змінна
Розташування у просторі	Зосереджене	Розподілене
Характер величин	Безперервний	Дискретний
Енергетична ознака	Активні	Пасивні
Взаємозв'язок перешкод із вхідними величинами	Незалежні перешкоди	Перешкоди, пов'язані з вхідними величинами

У ПЗ для вимірювальних та керуючих систем проглядаються певні тенденції до універсалізації та стандартизації. Насамперед це стосується інтерфейсу користувача, тобто організації спілкування оператора з комп'ютером. Інтерактивний діалоговий інтерфейс давно вже став нормою у світі програмних продуктів. Міцно завоювали ринок так звані віртуальні вимірювальні засоби (**ВВЗ**) – засоби вимірювань, побудовані на базі ПК. ВВЗ являють собою багатофункціональні плати розширення зовнішніх програмно-керованих модулів, що вбудовуються в комп'ютери. Вони об'єднані між собою та керуються спеціалізованими програмними оболонками, які, зі свого боку, можуть керувати алгоритмами збору, обробки та візуального подання інформації. Огляд фірмових програмних продуктів для систем збирання та обробки інформації, що включає ВВЗ, міститься в роботі [63], а опис деяких конкретних

розробок віртуальних вимірювальних приладів – у роботах [63, 64].

На рис. 1.2. наведено одну з можливих структурних схем автоматизованої системи управління технічним станом ГТД [65]. Ця система передбачає можливість включення до неї на етапі розробки та дослідної перевірки необмеженої кількості методик оцінки технічного стану авіаційних двигунів. Однак перед тим, як бути включеною до складу системи, кожна методика має пройти перевірку за програмою «ДОСВІД». Для обробки та узагальнення інформації, що видається різними підсистемами, а також формування рекомендацій на управлінські впливи, до цієї схеми включена підсистема «СИНТЕЗ». Блок керуючих впливів системи містить перелік всіх робіт, що виконуються з метою відновлення справного стану машини, та алгоритми формування рекомендацій з коригування програми технічного огляду. Блок оцінки технічного стану та видачі рекомендацій для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації машини розробляється як комплекс систем діагностування, прогнозування та видачі рекомендацій щодо технічного обстеження та подальшої експлуатації. У кожній підсистемі реалізується власна методика оцінки технічного стану. Підсистема «Діагноз» призначена для оцінки та прогнозу змін технічного стану за даними, вимірними у процесі моніторингу. Підсистема "Надійність" призначена для контролю за рівнем надійності та для автоматизованого виявлення несправностей. Підсистема "Міцність" спирається на математичне моделювання та інструментальні методи оцінки залишкового ресурсу машини.

В умовах енергетичної кризи актуальною є проблема організації раціональної експлуатації будівель та споруд, що сприяє застосуванню інформаційних систем з великою кількістю датчиків температури. Як показує аналіз, витрати енергії на виробництво будівельних конструкцій становлять 8%, на перевезення конструкцій і спорудження будівель – 2%, а на експлуатацію будівлі протягом розрахункового терміну її експлуатації – до 90% всіх енерговитрат життєвого циклу будівлі [66]. Витрати на встановлення вузлів обліку теплової енергії окупаються протягом 1–2 років. Зі встановленням лічильників у житлових будинках з'ясувалося, що фактичне теплоспоживання становить лише 50–90% розрахункового [67].

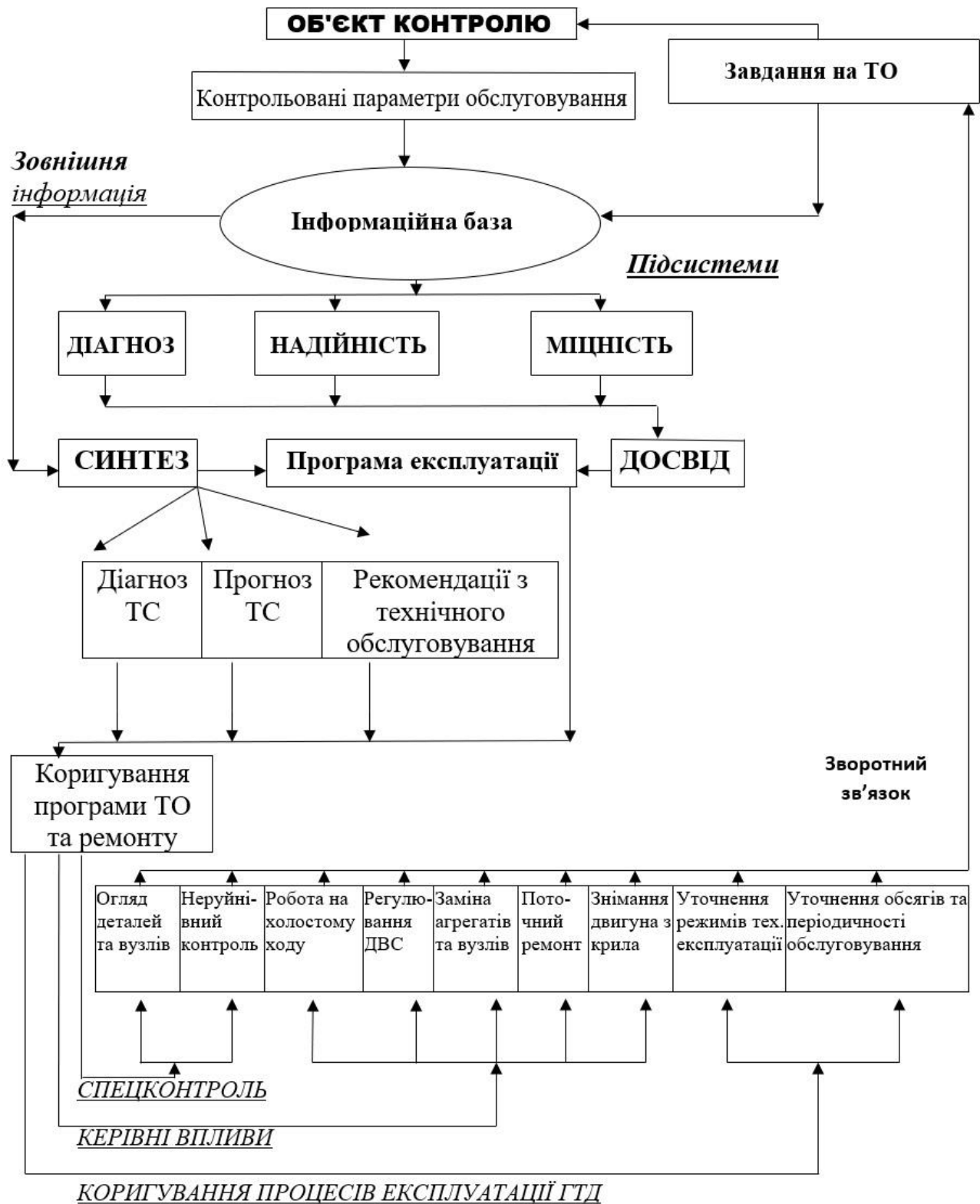


Рис. 1.2. Структурна схема автоматизованого керування технічним станом ГТД в експлуатації.

У руслі згаданої тенденції знаходиться і комплексна система автоматизації та диспетчеризації очисних споруд, що описується в [68], де автори дійшли висновку про необхідність безперервного об'єктивного контролю регульованого об'єкта – безперервної реєстрації всіх керуючих параметрів протягом деякого заданого часу з можливістю їх перегляду у вигляді таблиць, графіків та діаграм, автоматичного зіставлення та довготривалого зберігання, а також можливістю статистичної обробки реєстрованої інформації.

Система технологічного моніторингу по суті виконує завдання енергетичного аудиту. Причому виконує їх не разово, а постійно, безперервно, а отже, якісніше. Крім того, вона і коштуватиме дешевше, оскільки встановлена стаціонарно та виконує також інші функції.

Для проведення постійного або хоча б епізодичного моніторингу будівель та споруд потрібні передусім дешеві та надійні первинні перетворювачі (датчики). Слабкою стороною систем збору та накопичення інформації зараз є датчики та канали зв'язку. Практика експлуатації таких систем показала [69], що основним їхнім недоліком є неможливість забезпечити надійну передачу даних каналами зв'язку (через вплив індустріальних перешкод, короткочасних та довготривалих відключень живлення тощо). В результаті, безперервний процес накопичення та обробки даних переривається і відбувається втрата великих обсягів необхідної інформації. Відновлення її є проблематичним [70].

З іншого боку, практично всі датчики, що застосовуються сьогодні, передають аналоговий сигнал, який також сприйнятливий до перешкод. Низка авторів [69, 70] вказує на необхідність використання телеметричних датчиків з цифровим вихідним сигналом. Провідні світові виробники електричних компонентів вже розробили та виробляють подібні програмовані датчики [71] (фірма Dallas Semiconductor та ін). Деякі моделі допускають роботу без живлення (воно здійснюється по лінії зв'язку за рахунок енергії інформаційного каналу), допускають обмін інформацією, що дозволяє на два дроти (сигнальний та «корпус») встановлювати їх велику кількість.

Перспективним є використання телеметричних датчиків, заснованих на

перетворенні фізичної величини на електричний сигнал з тимчасовим інформаційним параметром [72]. Цей датчик заснований на застосуванні фізичного явища виникнення резонансних електромагнітних коливань в товщі металу, в так званому металевому об'ємному резонаторі (МОР) [72]. За допомогою цього датчика можна вимірювати такі фізичні величини, як об'єм, електромагнітний опір чи напруга. Датчики на основі МОР дозволяють реєструвати частотно-часові процеси, вимоги щодо точності до яких у техніці найвищі. Поки що номенклатура таких телеметричних датчиків неширока, але за ними майбутнє.

Наведемо опис деяких фірм та їх розробок у галузі систем моніторингу та комп'ютерної діагностики робочого процесу ДВС, які, безумовно, заслуговують на особливу увагу. Фірма «AutroNika AS» (Норвегія). Початок діяльності – 1960 р. [73]. За цей час, за даними фірми, обладнано понад 9000 об'єктів, серед яких судна, суднобудівні заводи та верфі. Серед останніх розробок фірми – централізована система контролю судових двигунів «Diesel Prof 100». Вона може проводити діагностику до 8 двигунів з максимальною частотою обертання 3000 об/хв. Фірма «KISTLER», заснована в 1955 р., є провідним розробником п'єзокварцевих датчиків, а також низькочастотних ємнісних вимірювальних систем [74]. Фірма «AVL LIST GES. M.B.H.» (Австрія) охоплює всі види діяльності від удосконалення існуючих ДВС до проектування та випробування нових машин, є розробником мікропроцесорної системи «Індископ 647» [75]. Система являє собою компактний цифровий запам'ятовувальний осцилограф з кнопковою панеллю керування. Система «DEPAS» (ОДМУ Україна), розроблена Варбанцем Р.А. з 1993 по 1997 рр. [76] (див. табл. 1.3).

В інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона (Україна) при контролі металевого корпусу реактора вторинної переробки природного газу, сховища пропілену, барабанів котлів та підводної частини газопроводу в Україні, Росії та Польщі було розроблено та впроваджено інформаційну експертно-діагностичну систему, яка проводить оцінку стану матеріалу конструкцій та керує експлуатацію об'єкта у передаварійних та аварійних ситуаціях.

Порівняльні характеристики систем комп'ютерної діагностики дизелів

Система, фірма, країна / параметри	NK-100 Autro-Nika Норвегія	VTS Vecom Нідерланди	Індіс-коп 647, AVL Австрія	Recip-Trap Beta M&C Канада	CARMA TIAC Sys США	Cyldet ACEA Швеція	DEPAS ОДМУ Україна
Основні параметри робочого процесу: Pi, Ni, Pz, Pc, n	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Діаграма тиску палива	▼		▼			▼	
Параметри впорскування	▼		▼	▼	▼	▼	▼
Фази газорозподілу			▼	▼	▼		▼
Сервісні програми діагностування	▼		▼	▼	▼	▼	▼
Безперервний контроль	▼					▼	
Спосіб синхронізації	Датчик	Датчик	Датчик	Ні	Ні	Датчик	Алгоритм, датчик
Наявність вібродатчика				▼	▼		▼
Переносний варіант		▼	▼				▼

Система вирішує такі завдання: вимірювання, обробку та представлення вихідних даних, необхідних для оцінки несучої здатності конструкцій; розрахунок несучої здатності конструкцій; побудову рандомізованого ряду небезпек, вибір оптимального варіанта та прийняття рішення; видачу команди виконавчим механізмам для зміни режиму роботи з метою виходу з аварійного стану, а також повідомлення про можливість виконання ремонтно-відновлювальних робіт, необхідність часткового чи повного припинення функціональної діяльності вузла чи конструкції загалом; передачу інформації про стан конструкції на центральний діагностичний пост для ухвалення рішення по всьому об'єкту. При цьому вартість повного обсягу робіт з технічної діагностики, наприклад, трубопроводу оцінюється до 20% вартості витрат на його будівництво [77].

В останні роки в країнах Євросоюзу та США йде активний процес розробки різних вимірювально-інформаційних систем моніторингу будівельних об'єктів [78–82]. Серед зарубіжних фірм, що працюють у напрямку використання вимірювальної техніки для моніторингу будівель та споруд під час їх будівництва та експлуатації, можна виділити «GEOKON» (США), «SISGEO» (Італія), «SOLEXPERS LTD» (Швейцарія), «SOLNST CANADA LTD» (Канада), «INGENERIA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL S.A.» (Іспанія), «TELEMAC S.A.» (Франція) та ін. [83–86]

Наприклад, компанія «Геокон» [83], заснована в 1979 р., є світовим лідером в галузі віброуючих дротяних технологій. Понад 27000 п'єзометрів та 50000 датчиків такої конструкції застосовувалися у різних проектах. Крім того, «Геокон» виробляє екстензометри; датчики тиску в ґрунті, датчики тріщин, стиків, напруг, осідань; п'єзометри, уклінометри, реєстратори даних і т.д.

Вимірювальні прилади використовуються для забезпечення безпеки таких об'єктів, як бетонні та земляні греблі (понад 100 об'єктів у США, Іспанії, Південній Африці, Швейцарії, Колумбії, Новій Зеландії, Пакистані, Алжирі і т.д.), тунелі та підземні системи, зокрема під Ла-Маншем, шахти, сховища відходів (контроль стійкості підземних виробок та схилів відкритих розробок,

стану поверхневих та ґрунтових вод), основи та фундаменти будівель, зокрема при будівництві найвищої будівлі у світі (450 м) – Petronas Twin Towers у Малайзії – тощо.

Основним недоліком існуючих зарубіжних ВІС є їхня висока вартість, насамперед за рахунок застосування датчиків з різним принципом роботи. У дисертаційній роботі Радченка А.П. [87] розглянуто питання моніторингу робочих процесів у суднових енергетичних установках. Поляков С.Г. [88] вивчив особливості використання електрохімічного моніторингу для захисту від корозії зварних трубопроводів. З метою вирішення питань, які не обумовлені нормативними документами та можуть виникати на різних етапах життєвого циклу будівельних об'єктів, починаючи з 2008 р., нормативними документами України передбачено їхній науково-технічний супровід [89]. Супровід передбачає моніторинг та технічну діагностику об'єкта, виконання перевірочних розрахунків, розробку рекомендацій щодо усунення негативних процесів тощо. Моніторинг може вестися на основі розроблених проєктів автоматизованих систем технічного діагностування будівельних конструкцій та управління об'єктів.

Проблема збоїв та оцінки достовірності отриманої інформації породила нові технології її збирання та обробки. У [90] описана технологія, заснована на математичному моделюванні міської мережі тепловодопостачання. Ця математична модель містить низку параметрів, що визначаються на основі моніторингу реальної працюючої тепломережі. Налаштована таким чином модель виконує подвійні функції: по-перше, у разі збою в потоці інформації, вона екстраполює та інтерполює за відсутності даних; по-друге, вона дозволяє прогнозувати роботу системи, зокрема можливі аварії.

Зрозуміло, що для достовірного функціонування таких моделей потрібно багато надійних первинних даних для їхнього налаштування, тобто знову ж таки докладний технологічний моніторинг керованої системи. Аналіз використання нових ІТ у різних СМ (застосовуваних в авіації, експлуатації суден та ін.) виявив досить велике коло змінних завдань у сфері автоматизації їхніх складових елементів. Таким чином, проєктовані автоматизовані системи у діючих СМ

відрізняються різноманітністю застосовуваних моделей управління ступенем відповідності вимогам системного підходу, числом ієрархічних рівнів, складністю алгоритмів, об'єктами переробки інформації [87, 88, 90].

1.3. Застосування інформаційних технологій при усуненні понаднормативних кренів ББ

Усунення наднормативних кренів будівель та споруд зазвичай виконується на основі одного фіксованого проєкту, який розробляється з урахуванням найбільш імовірної інтерпретації даних (геології, технічного стану об'єкта, пропонованої технології виконання робіт та ін.) [91–95]. 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» [96–98].

Спостережна частина проєктів, що реалізуються, передбачає періодичні геодезичні спостереження за деформаціями, а також інструментальні спостереження, що фіксують величини розкриття тріщин у будівельних конструкціях [99–104, 95]. При цьому геодезичні та інструментальні спостереження відіграють пасивну роль у прогнозуванні відхилень від найбільш імовірного стану об'єкта. Відхилення від проєктного положення будівельних об'єктів призводить до зміни проєктних навантажень та характеризується зміною розташування дефектних зон, збільшується ймовірність утворення додаткових дефектних зон в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій. Тому проведення робіт з усунення кренів будівель на підставі проєкту, заснованого на винятково сприятливому прогнозі розвитку подій і без інтерактивного режиму контролю параметрів системи «основа – фундамент», є неприйнятним, оскільки це може вплинути на рівень безпеки об'єкта та на виконання договірних зобов'язань підрядника перед замовником.

Сьогодні у геотехніці все ширше застосовується метод спостережень, який

полягає у безперервному, комплексному процесі проєктування та будівництва. Метод базується на моніторингу та аналізі основних параметрів системи «основа – фундамент» у режимі реального часу, що дозволяє коригувати проєкт на будь-якій стадії виконання робіт [92-94, 96, 99, 105–111].

Піонером застосування методу спостережень є К. Терцагі, а його теоретичні основи розроблені Р.Б. Пеком [112]. Ним запропоновано два загальні підходи під час використання методу. Перший підхід полягає у застосуванні методу спостережень безпосередньо з початку реалізації проєкту, другий – у разі виникнення під час будівництва непередбачених, несприятливих ситуацій. При використанні методу спостережень може застосовуватися також його послідовна модифікація на різних етапах реалізації проєкту [96, 113]. При застосуванні методу спостережень, крім базового проєкту, виконується серія додаткових проєктів на основі синтезованої через лінії зворотного зв'язку інформації та оцінки спільної роботи ґрунтів та фундаментів, призначених технологічних параметрів, рівня взаємодії учасників проєкту.

Основна перевага методу спостережень полягає у дослідженні та уточненні факторів (нелінійних, тимчасових і т.д.), що погано підлягають кількісному визначенню в рамках традиційного проєктування, але дозволяють врахувати різноманітні обставини, що виникають під час проведення будівельних робіт. Метод спостережень дозволяє заощадити як кошти, так і час, а також розширити галузь знань у сфері основ та фундаментів при забезпеченні прийняттого рівня безпеки.

Практика оснащення будівельних об'єктів автоматизованими вимірювально-інформаційними системами (ВІС) технічного діагностування будівельних конструкцій на сьогодні не є характерною для України, радше відомі лише окремі приклади [95, 114–116]. На розробку ВІС-моніторингу будівельного об'єкта впливають такі основні аспекти: технічний – визначення фізико-механічних параметрів, на яких базується вимірювальна система; технологічний – розробка методів та способів виробництва комплектуючих, монтажу системи та експлуатації; економічний – оптимізація цінових параметрів

системи [117]. Для оцінки напружено-деформованого стану системи «основа – фундамент» при усуненні наднормативних кренів необхідно проводити контроль різноманітних фізичних величин і параметрів, що приводить до необхідності мати у складі ВІС велику кількість датчиків, а отже, й різні за будовою та принципом роботи первинні вимірювальні перетворювачі, наприклад тензометричні, магнітопружні, магніострикційні – для контролю зусиль, механічних напруг; індуктивні, електромагнітні – для контролю лінійних та кутових зміщень; рідинні – для контролю відносних осідань та деформацій основ будівель і споруд (табл. 1.4).

Для визначення величини та напрямку зміщень від нахилу конструкцій необхідно використовувати у складі ВІС матричні датчики, які виконуються на основі декількох первинних вимірювальних перетворювачів [118, 119]. Починаючи з середини 90-х років минулого століття, фундаментальна наука про властивості волоконно-оптичних світловодів почала входити до галузі інженерного застосування відповідних датчиків у будівництві [116, 119]. Застосування у будівництві такої великої кількості датчиків з різним принципом роботи та конструктивним виконанням знижує метрологічні характеристики та експлуатаційну надійність існуючих ВІС, збільшує їх вартість у зв'язку з необхідністю оснащення виробництва великою кількістю штампів, прес-форм [120].

ВІС на основі класифікаційних ознак поділяють за принципами побудови структур та за характеристикою інформаційних сигналів. За організацією передачі інформації, за використовуваними функціональними блоками ВІС відносять до однієї з основних структур побудови: ланцюгової, радіальної або магістральної. Схема взаємодії основних компонентів ВІС наведена на рис. 1.1. Оскільки ВІС має дві основні складові (перетворювач фізичної величини та електронний блок обробки), то відсутність єдності у цих частинах збільшує різнотипність системи моніторингу і, як наслідок, зменшує можливість створення уніфікованої системи. Велика кількість різнотипних вимірювальних систем потребує створення складної системи обробки інформації та відповідного програмного продукту [121].

Датчики, що використовуються для моніторингу параметрів НДС системи «основа – фундамент» [83–86, 118]

Технічні засоби	Вимірювана фізична величина	Принцип дії вимірювального перетворювача	Діапазон вимірювань
1. Маятникові системи: прямий маятник зворотний маятник	Горизонтальне зміщення	Індуктивний, електромагнітний	200 мм, 300 мм
2. Поверхневі нахилеміри на базі: 2.1. магніторезистивних безконтактних маятників 2.2 скомпенсованого сервоакселерометра	Горизонтальне зміщення	Індуктивний, електромагнітний	20°(±10°), 40°(±20°) ±14,5°, ±30°
3. Датчик осідання	Осідання (підйом)		±40...100 мм
4. Щілиноміри	Розкриття тріщин	Індуктивний, електромагнітний	0.5...10 мм
5. ТензOMETричні, вібраційні датчики	Напруги	ТензOMETричний, вібраційний	За тар. графіком

1.4. Постановка завдань дослідження

До сьогодні не існує науково обґрунтованих і застосовних в широкому діапазоні умов теоретичних методів та прикладних методик прогнозу НДС багатоповерхових будівель масових серій, що побудовані в умовах ґрунтів півдня України та зазнали нерівномірних осідань та кренів. Також недостатньо розвиненими є інформаційні технології та системи, що можуть бути застосовані при їх вирівнюванні. Діючі будівельні норми, на жаль, не враховують всієї різноманітності умов деформування, нерівномірного осідання та, у підсумку, руйнування ББ. Визначення НДС багатоповерхових будівель масових серій, що зазнали наднормативного крену та нерівномірного осідання, потребує значного обсягу статистичних цифрових даних, які можна отримати лише експериментальним шляхом за допомогою великої кількості прецизійних чутливих елементів, розподілених та встановлених на конструкціях будівлі, а також об'єднаних у загальну інформаційну систему багатоповерхової будівлі, результати роботи якої використовуватимуться для

підтримки прийняття рішень при ліквідації її наднормативних кренів задля відповідального керування виробничим процесом в умовах невизначеності, зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи та будівельних матеріалів будівлі, а також ризику будівельних аварій ББ. Експериментальні результати з прецизійних датчиків будуть безперервно, в онлайн-режимі за допомогою технологій *інтернету речей (IoT)*, використовуватися у якості необхідних початково-крайових умов при математичному моделюванні поточного НДС та, відповідно, ТС ББ на основі пакета прикладних програм ЛІРА САПР. **За фактом це означає побудову цифрового двійника (Digital Twin) ББ, що вирівнюється.** Все вищезгадане і визначає актуальність теми дисертаційних досліджень.

1.5. Висновки до розділу 1

1. Існуючі способи переробки первинної інформації, що застосовуються фахівцями при підготовці та проведенні технічних обстежень будівель та споруд, малоефективні та повинні бути значною мірою вдосконалені.

2. Високий ступінь формалізації процедур ТО (підготовка, проведення, обробка інформації, можливість виділення та групування вимог нормативних документів) створює передумови для розробки процедур побудови автоматизованих інформаційних систем ТО.

3. Інформаційні системи технологічного моніторингу необхідні при здійсненні нової стратегії планування ремонтів інженерного обладнання ЖКГ. **Ця стратегія, названа «обслуговування та ремонт залежно від технічного стану»,** приходить на зміну стратегії **«регламентних робіт у певні часові інтервали»** і дозволяє заощадити матеріальні та енергетичні ресурси в тих випадках, коли термін регламентних робіт настав, а свідчення технологічного моніторингу говорять про гарний стан об'єкта. У таких випадках регламентні роботи можна не проводити. І навпаки, якщо термін регламентних робіт ще не настав, а моніторинг показує, що стан об'єкта погіршився, то ремонт проводиться відповідно до фактичного стану об'єкта [122].

4. Загальний стан будівельних об'єктів України не забезпечує безпечних умов життєдіяльності громадян та суспільства внаслідок зростання ризику виникнення надзвичайних ситуацій [79, 123–140]. Необхідне проведення комплексу заходів щодо приведення ТС будівель та споруд до рівня нових нормативних вимог на основі проведення комплексного їх обстеження та моніторингу. Зростання висотності будинків та споруд, відхід від симетричних форм, ускладнення технологій промислових процесів та постійне збільшення техногенного навантаження на території підвищують ймовірність виникнення техногенних катастроф, пов'язаних із природною геодинамічною активністю та землетрусами.

5. Проведення робіт з усунення кренів будівель на основі проєкту, заснованого на винятково сприятливому прогнозі розвитку подій та без інтерактивного режиму контролю параметрів системи «основа – фундамент», є неприйнятним, оскільки це може вплинути на рівень безпеки об'єкта.

6. Відхилення від проєктного положення будівельних об'єктів призводить до зміни проєктних навантажень і характеризується зміною розташування дефектних зон, збільшується ймовірність утворення додаткових дефектних зон в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій.

7. Призначення вимірювально-інформаційної системи та її побудова насамперед визначається особливостями будівельного об'єкта та спектром контрольованих фізичних і геометричних величин та параметрів. Тому основне призначення інформаційно-вимірювальної системи для контролю НДС системи «основа – фундамент» зводиться до отримання вимірювальної інформації про контрольовані базові фізичні величини, параметри, її обробка, передача або локальне знімання, надання інформації оператору комп'ютера, накопичення банку даних і, за необхідності, формування керуючих сигналів або впливів як на функціональні блоки, так і на електромагнітні первинні вимірювальні перетворювачі.

8. Індуктивність електромагнітних датчиків визначається різними фізико-механічними та геометричними параметрами контрольованих конструкцій,

наприклад однорідністю матеріалу, концентрацією механічних напруг, величиною механічних напруг, магнітною проникністю, електропровідністю, хімічним складом, товщиною захисних покриттів, вібрацією конструкцій та їх зміщенням тощо. Тому найбільш перспективним напрямом для побудови електромагнітних датчиків є використання фізичного ефекту взаємодії електромагнітних полів індуктивних датчиків з контрольованими матеріалами та конструкціями. У цьому випадку реалізуються відомі переваги електромагнітних датчиків: функціональна гнучкість, що дозволяє забезпечувати контроль великої кількості параметрів; експлуатаційна надійність; можливість варіації початковим рівнем вихідного електричного сигналу; пряме суміщення з функціональними електронними пристроями, що дозволяє безпосередньо отримувати інформаційний сигнал, наприклад, у вигляді частоти або періоду. Тому відпадає необхідність використання у складі ВІС таких традиційно необхідних блоків, як генератори збудження змінного струму, перетворювачі «напруга – частота», що робить електромагнітні датчики найбільш перспективними, особливо у складі ВІС для контролю безлічі параметрів при варіації їх конструктивного виконання.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНЕ, ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ ПІДГРУНТЯ СТВОРЕННЯ ІТДББ

2.1. Нормативно-методологічна база ІТДББ і основні теоретико-методологічні етапи проєктування та реалізації ІТДББ

Протягом останнього часу в Україні було розроблено нормативно-методичне забезпечення створення та застосування моніторингових систем у будівництві: [89], [141], [142]. Вони були основою для розробки [38]. Нормативний документ [38] було розроблено у розвиток комплексу стандартів системи технічного діагностування будівельних конструкцій. У розділі 5 [38] «Загальні положення» в ньому наведено загальну організаційну структуру інформаційної системи моніторингу з забезпечення експлуатаційної безпеки об'єктів будівництва, вказані кількість і види контрольованих параметрів, заплановані дії для впровадження системи та засоби використання результатів моніторингу. Склад, етапи, загальні вимоги до інформаційної автоматизованої системи деформаційного моніторингу наведені в розділі 6 «Система деформаційного моніторингу. Загальні вимоги». Розділ 7 «Система вібраційного моніторингу. Загальні вимоги» присвячено визначенню, складу та етапам, загальним вимогам до динамічного паспорту будівельного об'єкту моніторингу. В розділі 8 під назвою «Система геотехнічного моніторингу. Загальні вимоги» містяться визначення, склад та етапи, загальні вимоги до підрозділу загального будівельного моніторингу будівель та споруд – геотехнічного моніторингу. Склад, етапи, загальні вимоги до моніторингу в умовах можливого взаємного впливу нового будівництва та існуючої забудови наведені в розділі 9 «Моніторинг природних об'єктів, будівель і споруд, що потрапляють у зону впливу будівельної діяльності». Теоретико-методологічні засади моніторингу огорожувальних конструкцій наведено в розділі 10. Довідкові дані щодо складу проєктування систем моніторингу, його структурну схему,

форми паспортів (Додаток К), що заповнюються при моніторингу, форма висновку (поточного) щодо етапу моніторингу технічного стану об'єкта, проектування, розроблення і створення автоматизованих систем геодезичного моніторингу.

Необхідно відзначити, що [38] розроблено у гармонічній відповідності до документів fib [143]. Класифікація моніторингових систем у будівництві в документі fib [143] та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 однакова (див. рис. 4.1 [143]).

2.1.1. Основні етапи проектування та реалізації ІТДББ

Згідно з Настановою ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016, 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 тощо. Комплекс необхідних видів і напрямків робіт, що потрібно виконати на підготовчому етапі для розробки ІТДББ, зображений на рис. 2.1. Інтегровані стадії запровадження ІТДББ зображені на рис. 2.2.

2.2. Методика оцінки величини та напрямку зміщення від нахилу маятника інклінометричного датчика

2.2.1. Прецизійні інклінометричні елементи ІТДББ

При практичній реалізації розробленого принципу побудови структурної схеми автоматичної системи, що використовується в технологічному процесі усунення крену фундаменту, до її інформаційного каналу, для оцінки основних параметрів НДС ґрунтової основи, включені такі вимірювальні

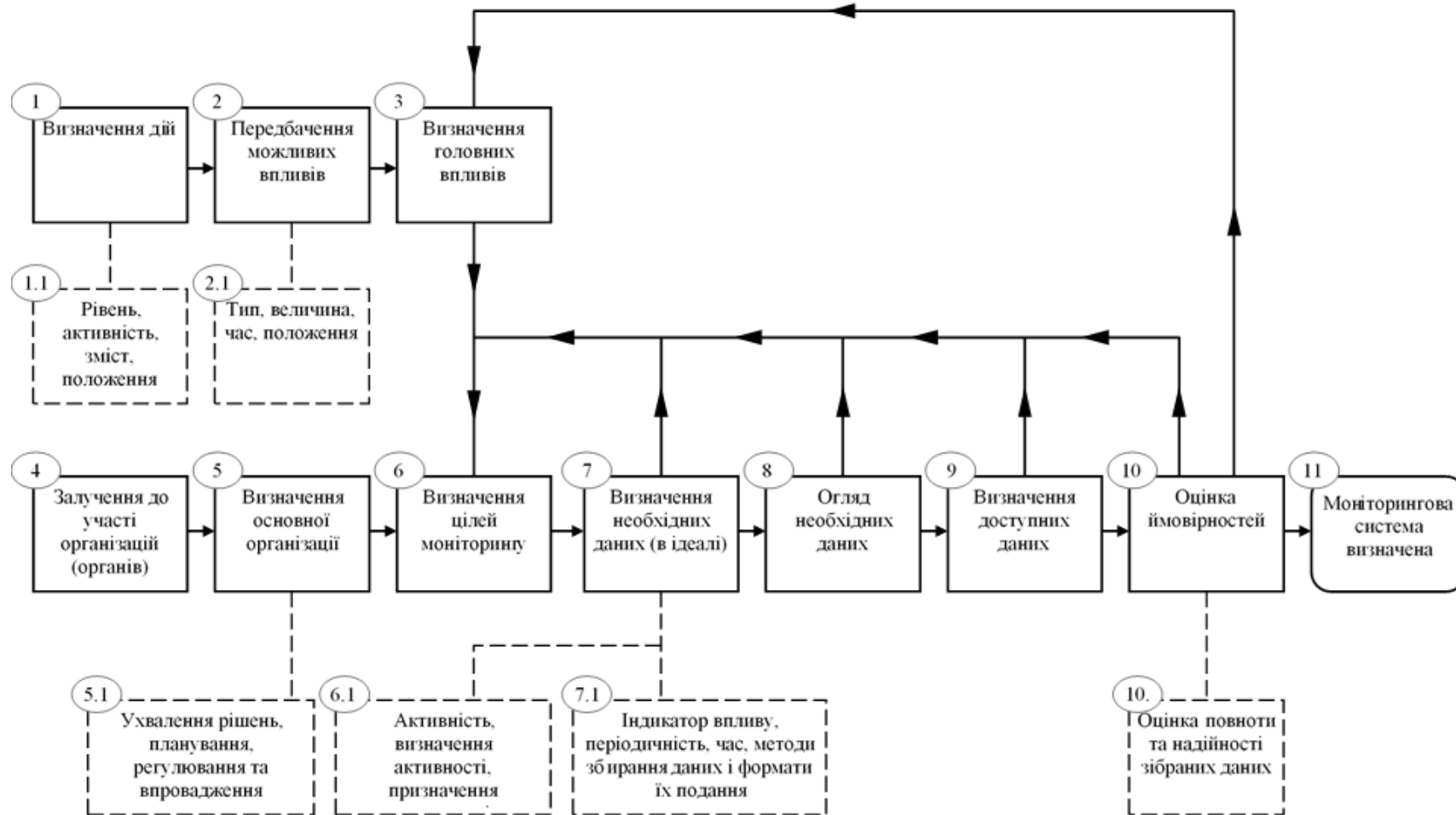


Рис. 2.1. Комплекс видів і напрямків робіт щодо розробки ІТДББ

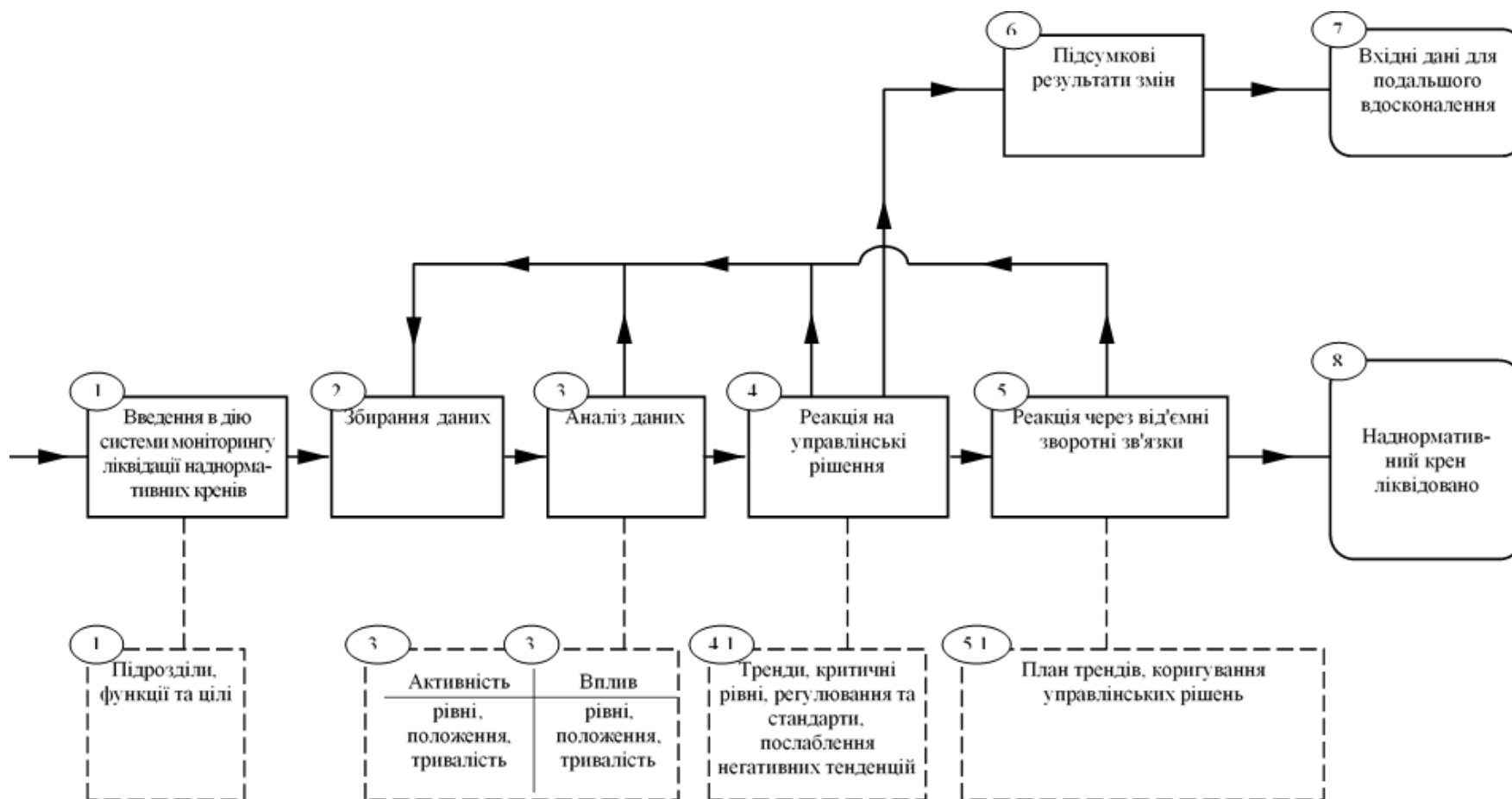


Рис. 2.2. Стадії практичного впровадження ІТДББ

перетворювачі та датчики:

- індуктивний датчик безперервного контролю осідань в діапазоні до 500 мм;
- індуктивний перетворювач контролю осідань на основі перетворення зміщень магнітопроводу в індуктивність у складі датчика контролю осідань, що складається з двох однотипних робочого та еталонного перетворювачів (рис. 2.3);
- локальний індуктивний датчик для контролю зміщень з вимірювальним перетворювачем;
- індуктивний датчик для контролю величини та напрямку головних напружень в стрічковому фундаменті на основі використання магнітопружного ефекту з автономним режимом роботи (рис. 2.4);
- універсальний індуктивний датчик для дистанційного контролю змін величини та напрямку крену стрічкового фундаменту в діапазоні до граничного значення (рис. 2.5).

Розроблено локальну та автоматизовану вимірювально-інформаційні системи з періодичним збором вимірювань інформації про контрольовані фізичні величини з подальшими їх обробкою та зберіганням на комп'ютері.

2.2.2. Принцип вимірювання індуктивності

У приладі для визначення індуктивності відбувається вимірювання комплексного опору котушки (її імпедансу) (рис. 2.6, 2.7, 2.8). При цьому вдається максимально стабілізувати умови проведення вимірювань (струм через котушку, частота вимірювання) в широкому діапазоні вимірюваних індуктивностей і практично виключити вплив активного опору котушки і елементів комутації вимірювача, що дозволяє домогтися високої точності вимірювання.

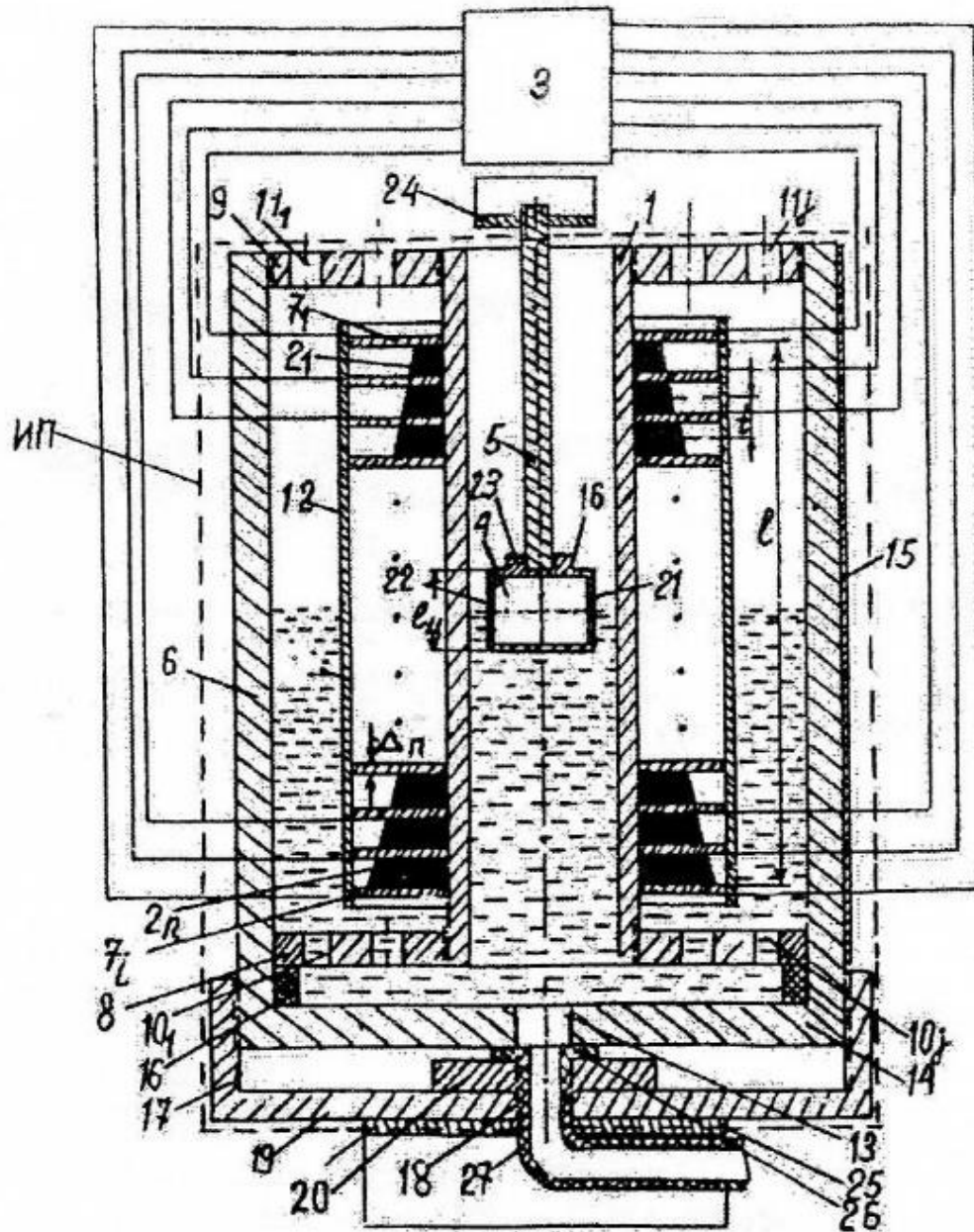


Рис. 2.3. Схема індуктивного вимірювального перетворювача для контролю осідань фундаментів ББ: 1 – діелектрична втулка завдовжки l ; 2_1-2_n – котушки збудження; 3 – пристрій вимірювання індуктивності та розрахунків контрольованого параметра; 4 – циліндричний якорь зі штоком 5; 6 – несучий стакан; t – крок установки шайб; 7_1-7_i – електропровідні шайби; 8, 9 – діелектричні кільця з отворами 10_i-10_j та 11_i-11_j ; 12 – ізоляційна діелектрична втулка; 13 – отвори в основі 14; 15 – шкала зміщень; 16 – обмежувальне кільце; 17 – діелектрична кришка з отвором 18; 19 – основа кришки 17; 20 – діелектрична шайба; 21 – феромагнітний циліндр з електропровідним покриттям 22; 23 – основа якоря; 24, 25 – монтажні куточки; 26 – втулка; 27 – трубка.

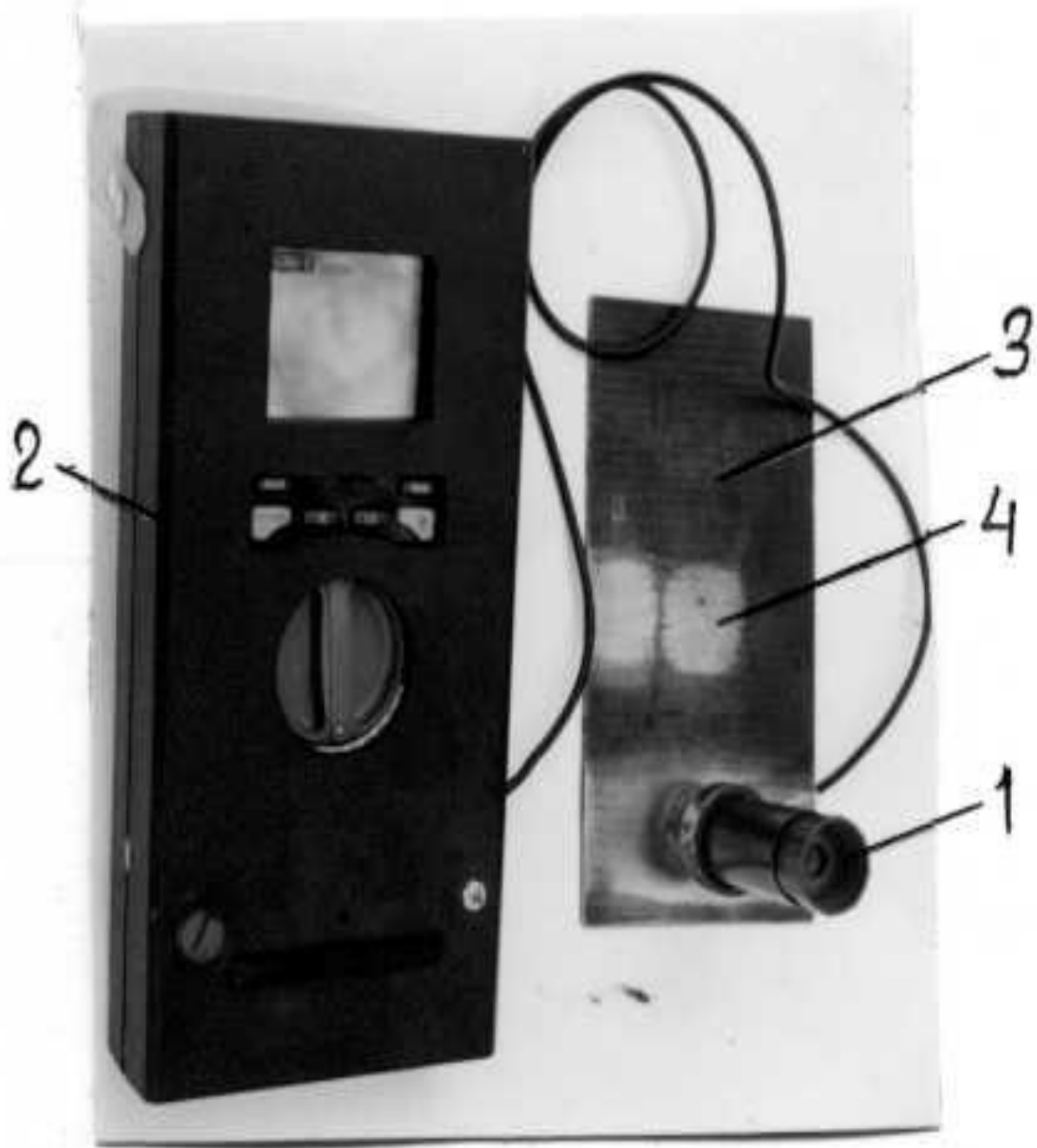


Рис. 2.4. Фотографія індуктивного датчика безперервного контролю напружень стрічкового фундаменту: 1 – індуктивний датчик; 2 – цифровий індикатор результатів контролю; 3 – тарувальна феромагнітна пластина; 4 – тарувальна ділянка.

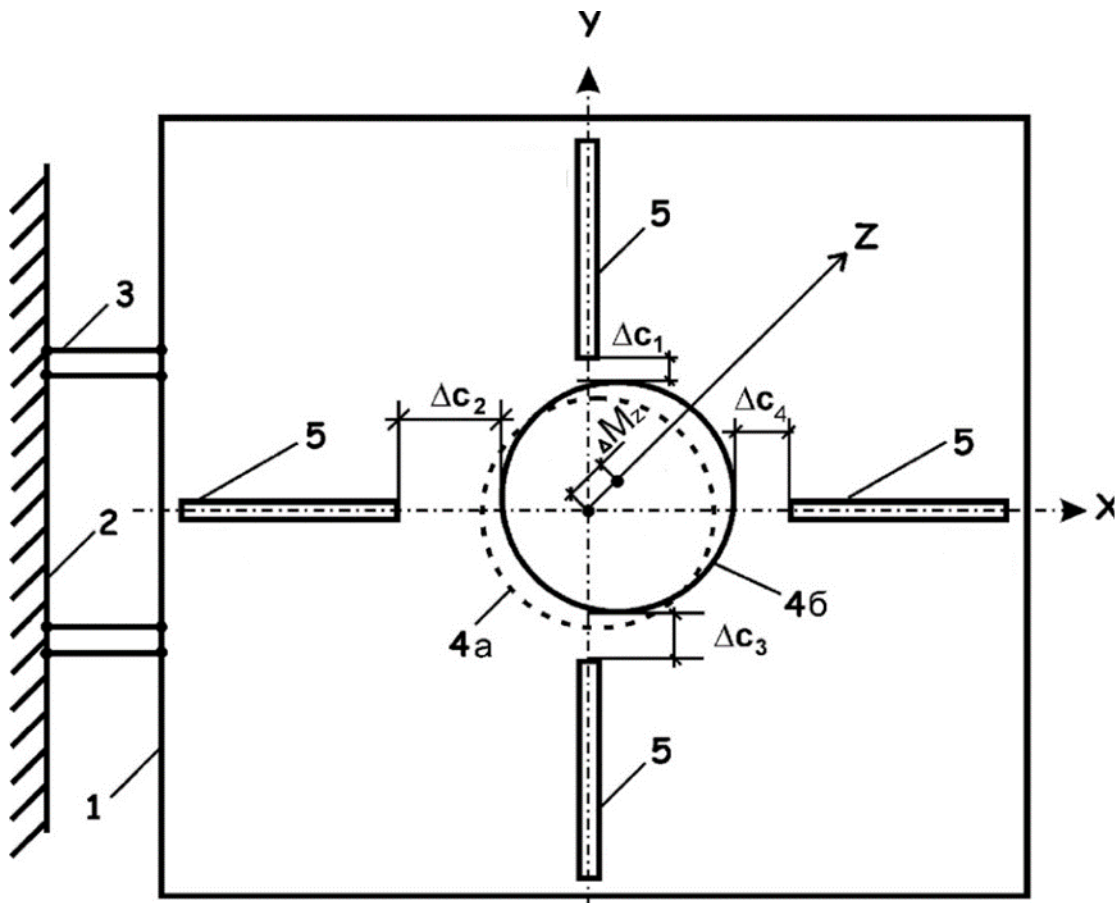


Рис. 2.5. – Схема універсального індуктивного датчика крену: 1 – корпус датчика; 2 – контрольований об'єкт; 3 – кріплення (анкерні болти); 4 – маятник у поперечному перерізі: а) у початковому положенні; б) у зміщеному положенні; 5 – індуктивний перетворювач; $\Delta c_1 \dots \Delta c_4$ – відстані між маятником та індуктивними перетворювачами; x, y – осі координат; Z – напрямок зміщення маятника; ΔM_z – величина зміщення осі маятника.

При індуктивності менше десятків мГн і невисокій частоті струму еквівалентна схема заміщення котушки індуктивності являє собою послідовне з'єднання резистора R_x , що визначається опором дроту котушки і опором втрат у сердечнику (активна складова імпедансу), і індуктивності L_x (реактивна складова імпедансу) (рис. 2.7 та рис. 2.8).

Принцип вимірювання імпедансу заснований на аналізі проходження тестового сигналу із заданою частотою через ланцюг, що має комплексний опір, і подальшому порівнянні з опорною напругою. Струм робочої частоти з внутрішнього генератора подається на вимірюваний об'єкт, і на об'єкті

вимірюється напруга. Вимірювання відношення цих двох величин і дає повний опір ланцюга (рис. 2.6):



Рис. 2.6. Еквівалентна схема заміщення котушки індуктивності.

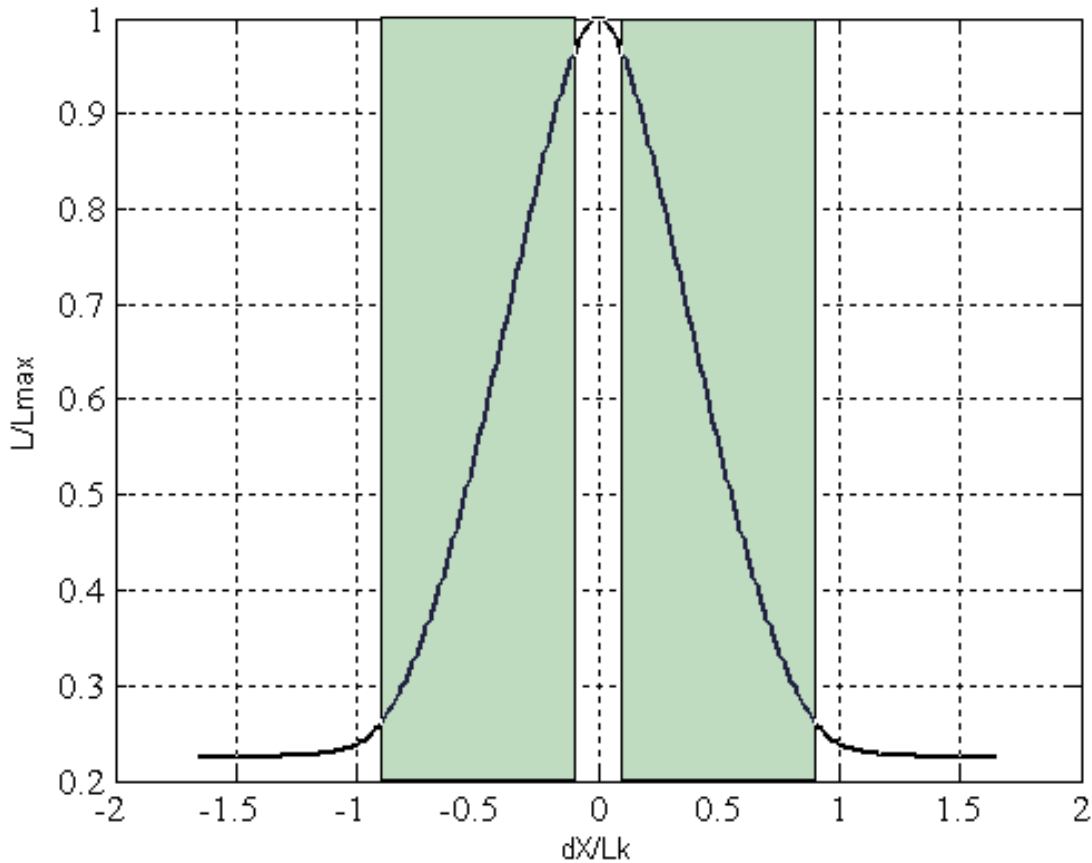


Рис. 2.7. Залежність індуктивності котушки від положення сердечника при $Lk=Lc$.

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}_x}{\dot{I}_{Test}} \quad (2.1)$$

де \dot{Z} – повний опір, \dot{U}_x – комплексна напруга на котушці індуктивності; \dot{I}_{Test} – комплексний тестовий струм. Графічне представлення повного опору – на рис. 2.9.

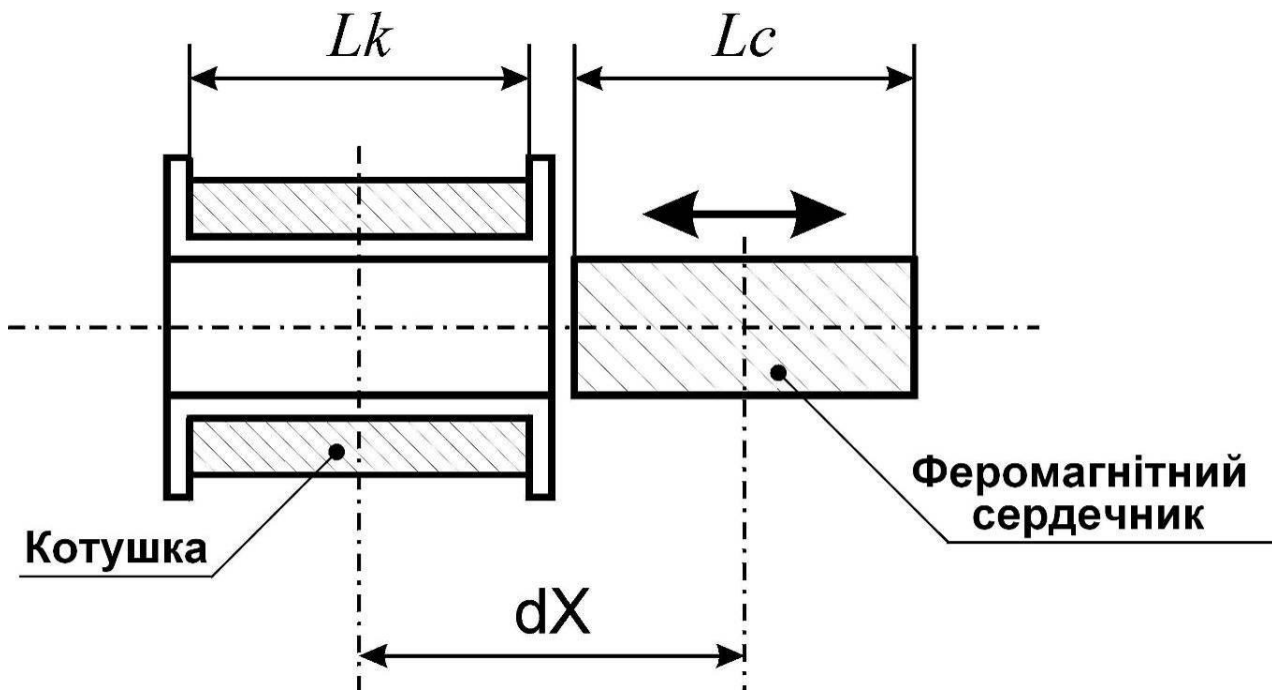


Рис. 2.8. Спрощена структура індуктивного датчика переміщення.

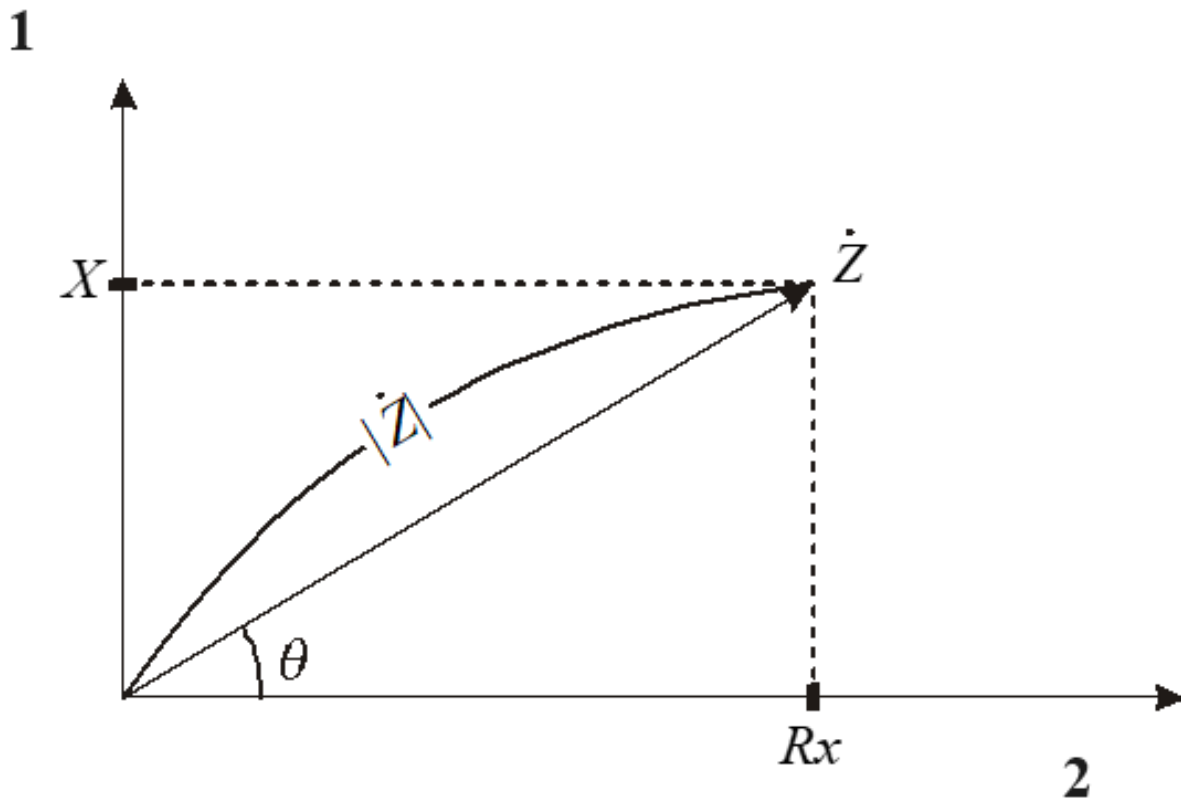


Рис. 2.9. Графічне представлення повного опору. На рисунку: 1 – реактивний опір; 2 – активний опір.

Як видно з рис. 2.9, повний опір \dot{Z} складається з двох компонентів: активного опору R_x та реактивного опору X .

Комплексний опір \dot{Z} визначається як:

$$\dot{Z} = R_x + j \cdot X \quad (2.2)$$

З формули (2.2) випливає, що активний опір R_x пов'язаний з комплексним опором як:

$$R_x = |\dot{Z}| \cdot \cos(\theta) \quad (2.3)$$

Відповідно, реактивний опір X пов'язаний з комплексним опором як:

$$X = |\dot{Z}| \cdot \sin(\theta) \quad (2.4)$$

де θ – кут зсуву фаз між струмом та напругою на вимірюваній котушці.

Реактивний опір для котушки індуктивності визначається за формулою:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (2.5)$$

де L – індуктивність котушки, f – частота, на якій вимірюється реактивний опір.

Таким чином, для визначення індуктивності необхідно знати амплітуду та фазу напруги і струму на вимірюваній котушці при відомій частоті тестового сигналу. Для визначення амплітуди та фази сигналів застосовується АЦП, дані від якого надходять до мікроконтролера, де після кореляційного аналізу визначаються вимірювані величини. Так як АЦП оперує лише напругою, то струм перед вимірюванням необхідно перетворити на напругу. Цю функцію здійснює високоточний резистор, послідовно включений з вимірюваною котушкою індуктивності.

Для усунення впливу паразитних опорів сполучних дротів та елементів комутації вимірювача застосовується п'ятидротова схема виміру, тобто двома дротами подається тестовий сигнал на вимірювану котушку, по двох інших дротах знімається напруга безпосередньо з котушки, і один дріт є екранувальним (рис. 2.10).

Відповідно до закону Ома, напруга на зразковому резисторі:

$$\dot{U}_o = R_o \cdot \dot{I}_{Test} \quad (2.6)$$

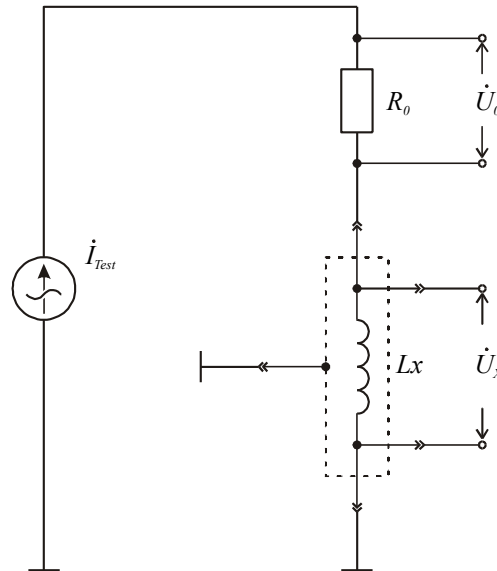


Рис. 2.10. Схема вимірювання індуктивності.

Виразивши з формули (2.6) струм і підставивши у вираз (2.1), отримуємо:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}_x}{\dot{U}_o} \cdot R_o \quad (2.7)$$

З урахуванням виразів (2.4), (2.5), (2.7), отримуємо вираз для визначення індуктивності:

$$L = \text{Im} \left(\frac{\dot{U}_x}{\dot{U}_o} \right) \cdot \frac{R_o}{2\pi \cdot f} = \left| \frac{\dot{U}_x}{\dot{U}_o} \right| \cdot \frac{R_o \cdot \sin(\theta)}{2\pi \cdot f} \quad (2.8)$$

З виразу (2.8) видно, що точність вимірювання індуктивності визначається похибкою вимірювання комплексної напруги, стабільністю опору зразкового резистора та стабільністю частоти вимірювання. Так як стабільність частоти вимірювання в даному приладі дуже висока (визначається стабільністю частоти кварцового резонатора та знаходиться на рівні порядку 0.0001%), то основна похибка визначається лише першими двома складовими. Стабільність зразкового резистора становить 0.1%, похибка вимірювання комплексної напруги визначається параметрами АЦП і в цьому випадку становить величину порядку 0.03...0.1%, що

дає сумарну похибку вимірювання порядку 0.2%. Інтервал часу, протягом якого проводиться вимірювання комплексних напруг, вибирається з урахуванням частоти промислового струму і становить 20 мс, що дозволяє максимально знизити вплив наведень і, відповідно, підвищити точність вимірювань.

Розроблена методика оцінки зміщень від нахилу полягає в наступному:

1. При контролі зміщень використовуються гравітаційний електромагнітний датчик, що складається з корпусу 1, скріпленого з контрольованим об'єктом 2 і касетою 4, симетрично поверхні циліндричного маятника 3 в касеті 4 встановлені симетрично по колу 4 чотири ідентичних накладних електромагнітних перетворювачі ПП1, ПП2, ПП3, ПП4, всі перетворювачі встановлені у вихідному положенні на однаковій відстані Δu від поверхні маятника (рис. 2.11).

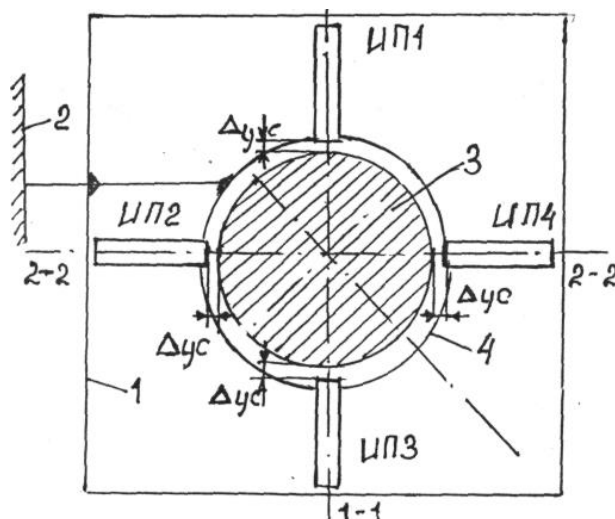


Рис. 2.11. Схема початкового розміщення індуктивних перетворювачів ПП1, ПП2, ПП3, ПП4 – відносно циліндричної поверхні маятника 3; 1 – схематичне зображення корпусу датчика; 2 – об'єкт; 3 – маятник у поперечному перерізі; 4 – касета з діелектричного матеріалу, 1÷1; 2÷2 – базові напрямки відносного зміщення Δ корпусу 1.

2. Будують залежність індуктивності перетворювача від величини зміщення $L=\varphi(\Delta c)$ відносно поверхні маятника. Контроль величини індуктивності перетворювачів ПП у складі електромагнітного датчика здійснюється вимірювальним пристроєм (рис. 2.12).

3. На залежності $L=\varphi(\Delta c)$ визначають ділянку з максимальною лінійністю ΔL , приймають середню точку цієї ділянки, рівну на абсцисі значенню

встановлювального проміжку (рис. 2.12) Δc , будують залежність зміни величини індуктивностей перетворювачів $L = \varphi(\Delta c)$ від величини зміщення Δc відносно маятника. Шматочно-лінійною апроксимацією розбивають ділянку на дві ділянки: 1.1, що відповідає нахилу в області негативних змін $-\Delta L$ (кут L_1), та 2.2, що відповідає позитивним змінам $+\Delta L$ (кут L_2).

4. Знімають із вимірювальних перетворювачів ІП1, ІП2, ІП3, ІП4, що входять до складу всіх датчиків, початкові значення індуктивностей при встановлювальній відстані між полюсами перетворювачів і поверхнею маятника $L_{Н1}$; $L_{Н2}$; $L_{Н3}$; $L_{Н4}$.

5. Один або кілька перетворювачів приймають у якості зразкових і закріплюють їх на фіксованій відстані Δc відносно маятника без підвіски, закріпленого на спільній діелектричній основі з перетворювачами. Вимірюють величину індуктивності зразкового перетворювача і приймають її в якості еталонної величини $L_{не}$.

6. При контролі вимірюють з усіх електромагнітних перетворювачів величини їх індуктивностей L_k , за якими, з урахуванням їх початкових значень L_n , знаходять величину і знак зміни $\pm \Delta L$.

7. За значеннями $\pm \Delta L$, з урахуванням рис. 2.12 та таблиці 2.1, визначають напрямок зміщення в області квадранта (рис. 2.13, рис. 2.14).

8. Знімають із зразкового перетворювача величину його індуктивності, якщо вона змінилася відносно $L_{не}$, то вводять поправки до величин I_k .

9. З урахуванням отриманих значень величини та знака зміни $\pm \Delta L$ і значень tgL_1 і tgL_2 , визначають величини відповідних їм зміщень.

10. Відкладають отримані значення Δc_x ; Δc_y у напрямку осей X , Y / 1-1, 2-2 / і за правилом паралелограма визначають величину Δc зміщення в області квадранта (п. 7).

11. При оцінці величини зміщення колон згідно з п. 10 та рис. 2.15 розраховують величину зміщення колон.

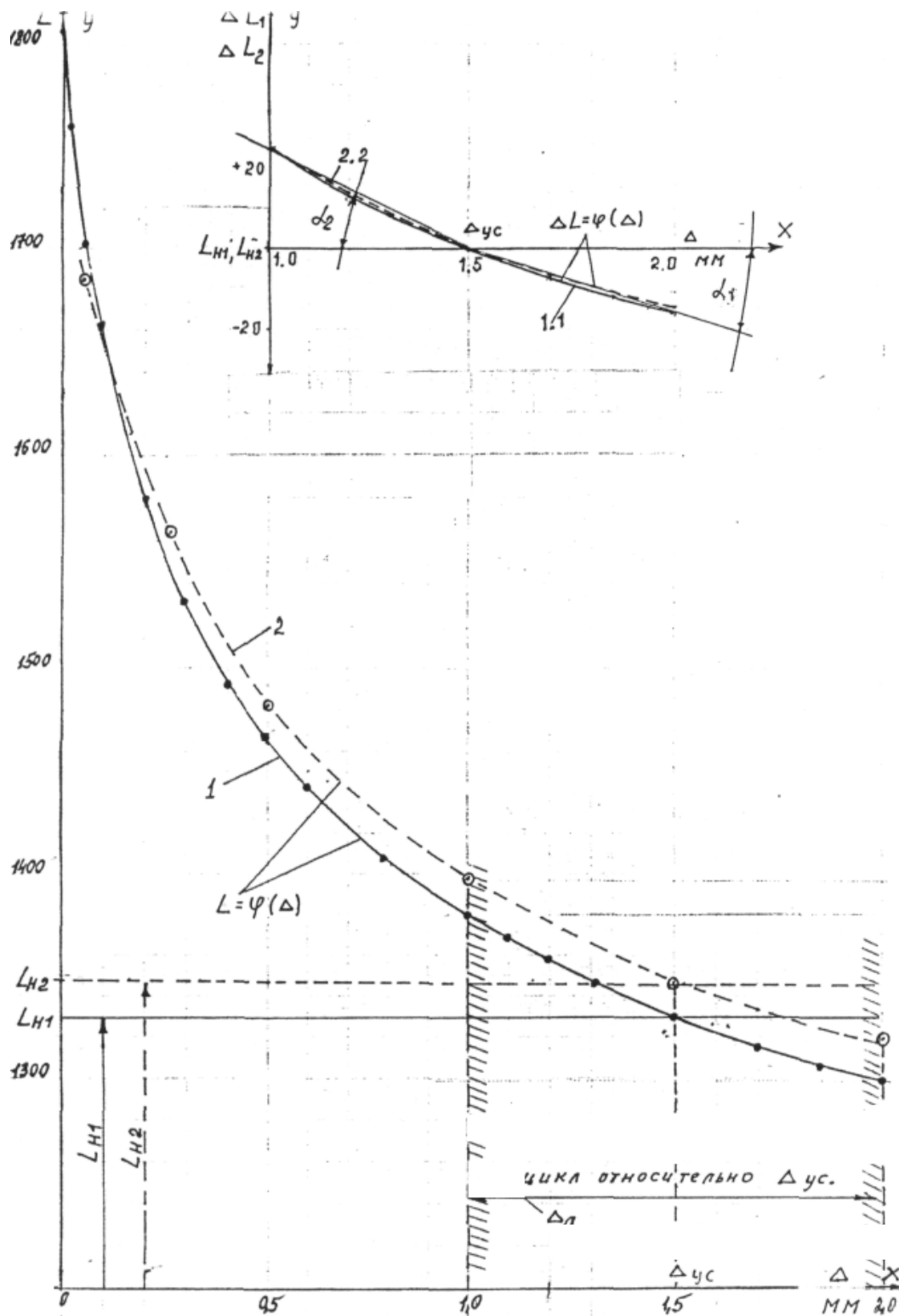


Рис. 2.12. Розрахункова схема отримання величини та напрямку зміщень Δ від нахилу конструкцій на основі градуєвальної залежності $L = \varphi(\Delta)$ і характеру зміни індуктивності. ΔL перетворювачів з максимальною лінійністю на залежності $L = \varphi(\Delta)$, 1, 2 – типові залежності для двох ідентичних конструкцій перетворювачів, 1.1, 2.2 – відповідно, ділянки залежності $L = \varphi(\Delta)$ з максимальною лінійністю, L_{H1} ; L_{H2} ; L_{H3} ; L_{H4} – відповідно, початкові індуктивності та їх зміни, $\Delta_{ус}$ – установлювальний проміжок між перетворювачами та поверхнею маятника.

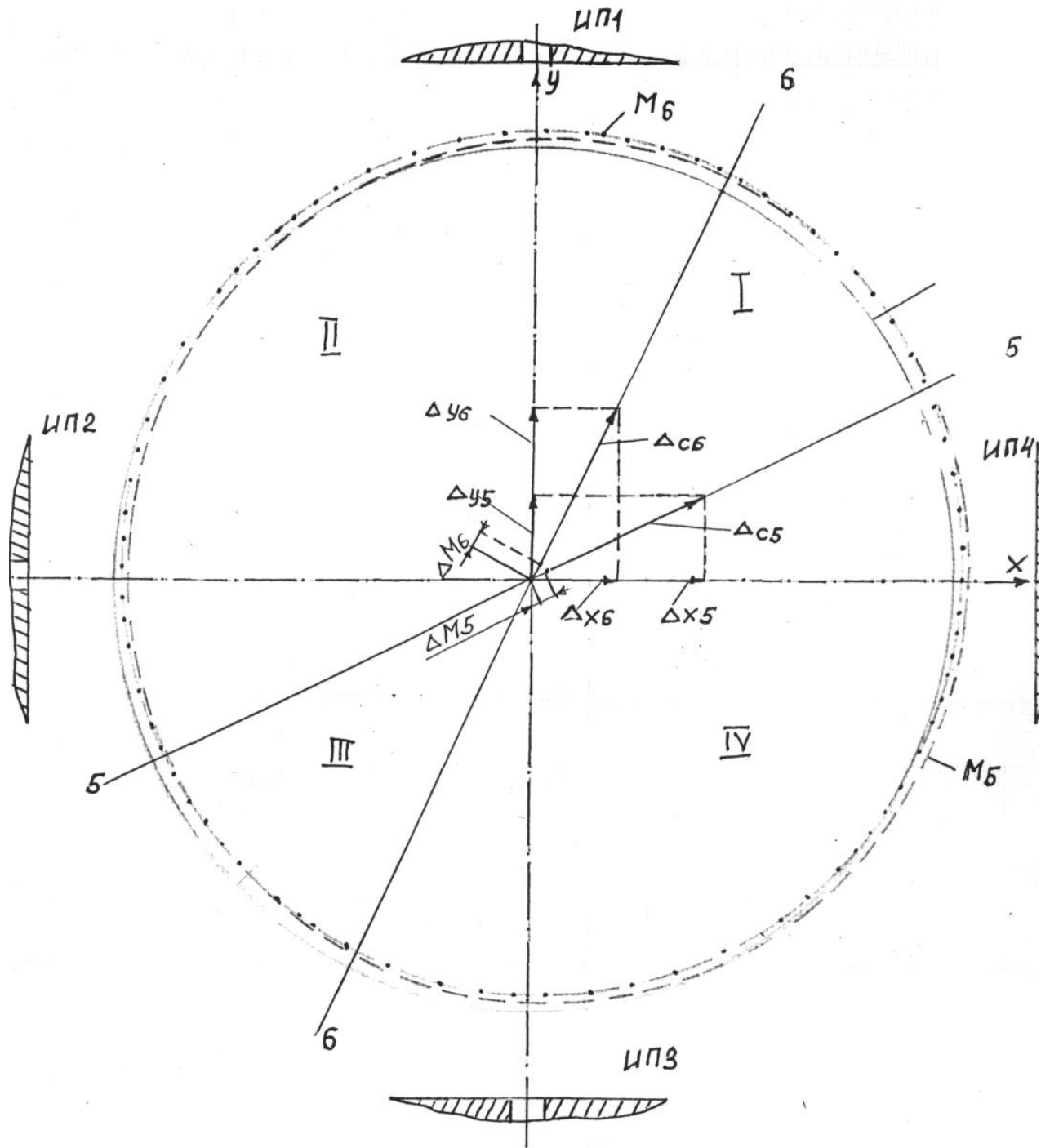


Рис. 2.13. Схема визначення величини та напрямку зміщення перетворювачів П1, П2, П3, П4 у межах квадранта. ΔM_5 , ΔM_6 – зміщення перетворювачів (маятника) у напрямках 5, 6; Δy , Δx – відповідно, складові величини зміщень у напрямках 5, 6; I, II, III, IV – квадранти; X, Y – координатні осі; Δc_5 , Δc_6 – вектори зміщень.

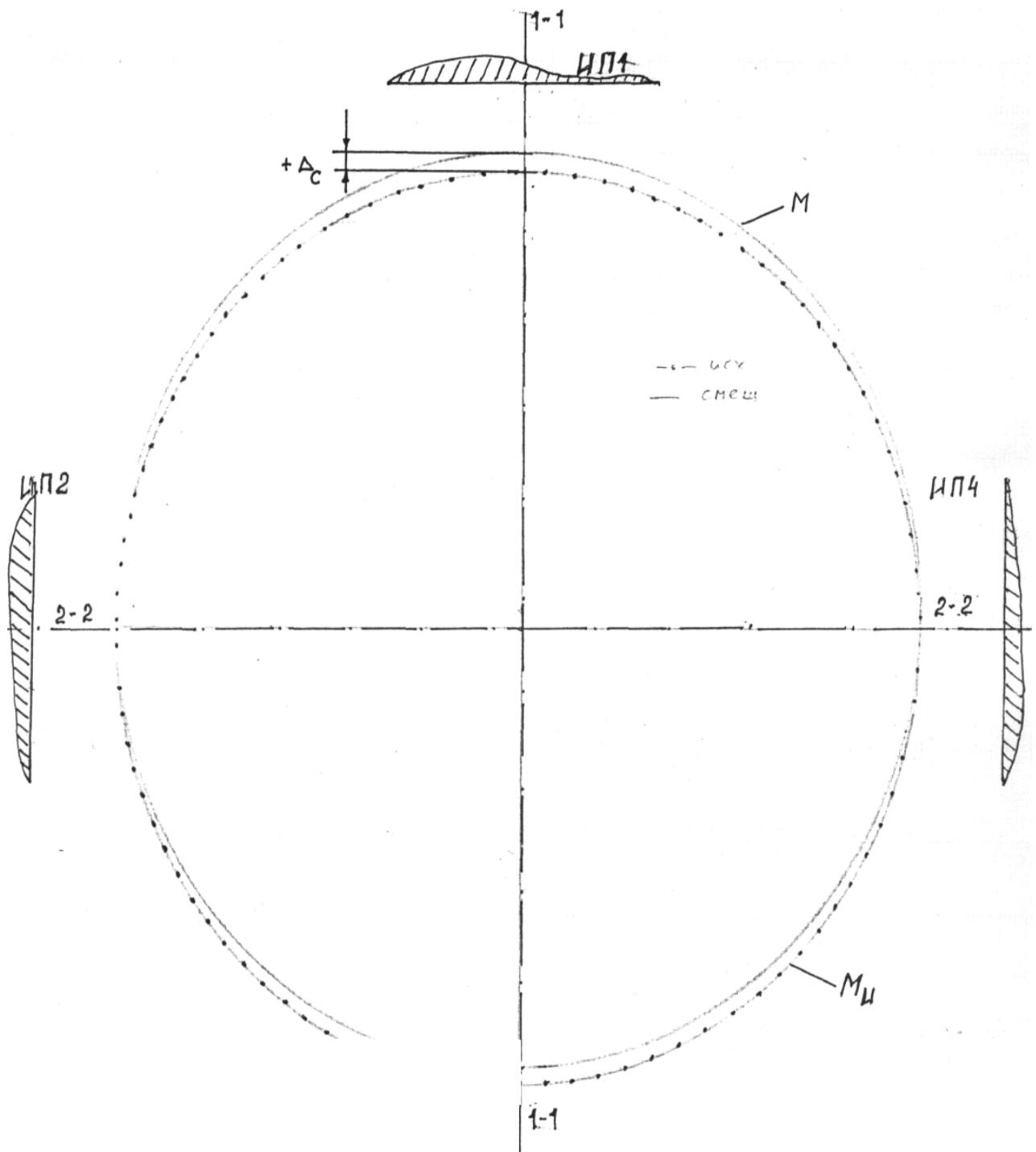


Рис. 2.14. Схема визначення величини та напрямку зміщення перетворювачів (якоря) у напрямку базових осей X, Y (1-1, 2-2), положення маятника у вихідному стані та після зміщення на величину Δc у напрямку осі Y. IP1, IP2, IP3, IP4 – електромагнітні перетворювачі.

Таблиця 2.1.

Характер зміни індуктивностей перетворювачів відносно їх початкових значень

Напрямок зміщення, (рис. 2.13, 2.14)	Характер зміни початкових індуктивностей L_n перетворювачів при їх зміщенні відносно маятника			
	L1	L2	L3	L4
Від квадранта III до I (від III2; III3 до III1; III4)	>	<	<	>
Від квадранта I до III (від III1; III4 до III2; III3)	<	>	>	<
Від квадранта IV до II (від III4; III2 до III1; III2)	>	>	<	<
Від квадранта II до IV (від III1; III2 до III3; III4)	<	<	>	>
По осі I – I від III3 до III1	>	<	<<	<<
По осі I – I від III1 до III3	<	>	<<	<<
По осі 2 – 2 від III2 до III4	<<	<	<<	>
По осі 2 – 2 від III4 до III2	<<	>	<<	<

2.2.3. Переведення кутових деформацій у лінійні для величини крену ББ

Переведення кутових деформацій в лінійні для крену ББ здійснюється за такою формулою:

$$\text{крен} = \text{зміщення} / \text{висота підвісу}$$

При малих кутах тангенс кута = куту, при цьому $2\pi / \text{зміщ.} = 360 / x$

При $h_{\text{підвісу}} = 240 \text{ мм}$

ПРИКЛАД: $0,034 / 240 = 0,00014$

$2\pi / 0,00014$ як $360 / X$; $X = 0,00014 * 360^\circ * 60' / 6,28 = 0,48'$

градуси↑ ↑мінути

Мінімальний кут: $\text{зміщ.} = 0,001 \text{ мм}$; $0,001 / 240 = 0,00000416666$

$2\pi / 0,00000416666 = 360 * 60 * 60 / x$

$x = 0,00000416666 * 360^\circ * 60' * 60'' / 6,2831856 = 0,859''$ ($0,001 \text{ мм} = 0,8''$)

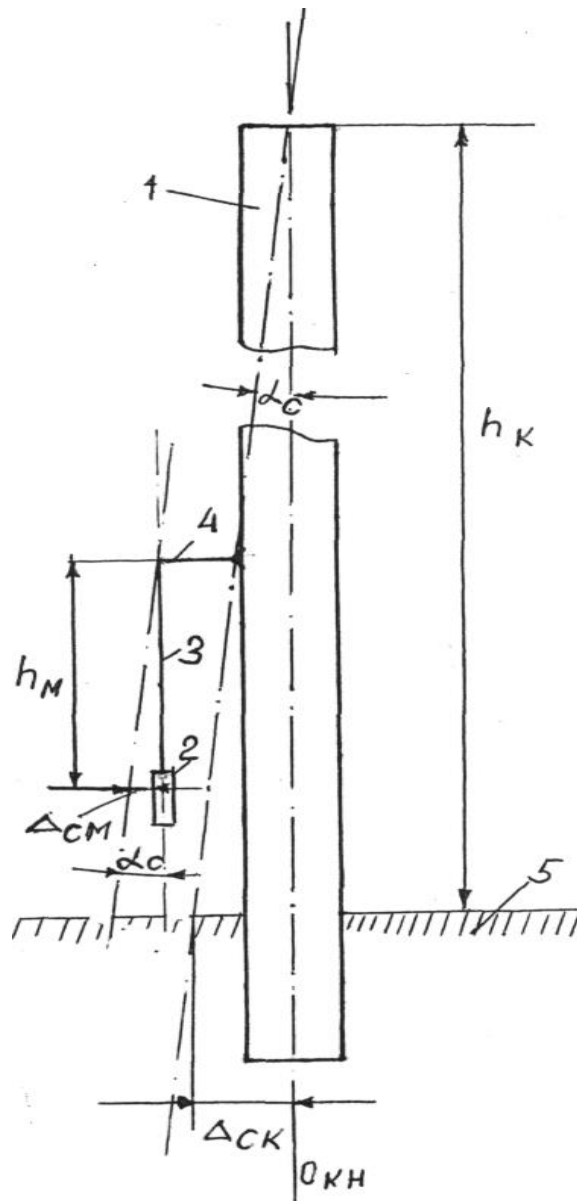


Рис. 2.15. Схема оцінки величини зміщень колони в області основи 5; α – кут нахилу; $\Delta_{см}$ – зсув відносно маятника 2; $O_{кн}$, $O_{кс}$ – відповідно, вісь колони в початковому стані та після нахилу; h_k , h_m – висота колони та маятника.

Максимальний кут: зміщ. = 4 мм; $4 / 240 = 0,0166666$

$$2\pi / 0,0166666 = 360^\circ / x$$

$$x = 0,0166666 * 360 / 6,2831856 = 0,954925^\circ \quad (4 \text{ мм} = 0,95^\circ = 57,3')$$

При $h_{\text{підвісу}} = 180 \text{ мм}$

Мінімальний кут: зміщ. = 0,001 мм; $0,001 / 180 = 0,00000555555$

$$2\pi / 0,00000555555 = 360 * 60 * 60 / x$$

$$x = 0,0000055555 * 360^\circ * 60' * 60'' / 6,2831856 = 1,1459'' (0,001 \text{ мм} = 1,1459'')$$

Максимальний кут: зміщ. = 4 мм; $4 / 180 = 0,0222222222$

$$2\pi / 0,0222222222 = 360^\circ / x$$

$$x = 0,0222222222 * 360 / 6,2831856 = 1,2732396^\circ (4 \text{ мм} = 1,2732396^\circ)$$

При $h_{\text{підвісу}} = 150 \text{ мм}$

Мінімальний кут: зміщ. = 0,001 мм; $0,001 / 150 = 0,0000066666$

$$2\pi / 0,0000066666 = 360 * 60 * 60 / x$$

$$x = 0,0000066666 * 360^\circ * 60' * 60'' / 6,2831856 = 1,375'' (0,001 \text{ мм} = 1,375'')$$

Максимальний кут: зміщ. = 4 мм; $4 / 150 = 0,0266666666$

$$2\pi / 0,0266666666 = 360^\circ / x$$

$$x = 0,0266666666 * 360 / 6,2831856 = 2,318569^\circ (6,07 \text{ мм} = 1,527887^\circ)$$

2.3. Прикладна методика оцінки величини та напрямку зміщення від нахилу маятника інклінометричного датчика

2.3.1. Загальні зауваження

Так як висота маятника не менша трьох діаметрів котушки, всі розрахунки ведуться для точки перетину осі котушки з віссю маятника (рис. 2.16).

Величина Δx визначається з використанням величин довжини основи стану ($AB=l$), зміщення мікрометра ($BC=H$) та висоти датчика ($DQ=h$)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \frac{BC}{AB} = \frac{H}{l} \\ \operatorname{tg}\alpha &= \frac{E_1F}{D_1E_1} = \frac{\Delta x}{h} \Rightarrow \Delta x = H \frac{h}{l} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Значення $\sin\alpha$ і $\cos\alpha$ визначаються з відповідних прямокутних трикутників в такий спосіб:

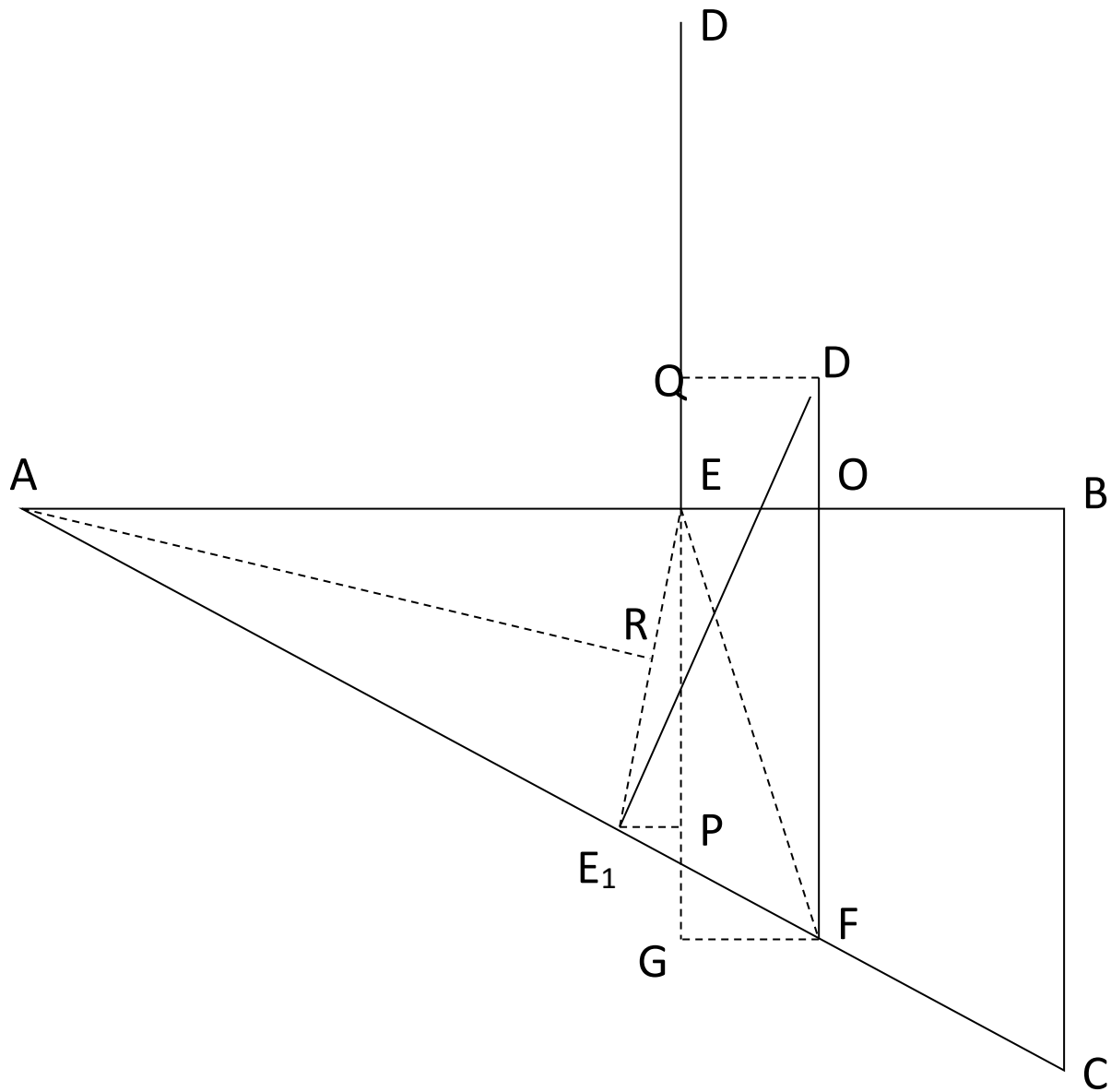


Рис. 2.16. Схема положення датчика до та після повороту. Пояснення: $AB=l$, AC – вісь котушки; l – довжина напрямної основи стенду; $BC=H$ – висота спуску; $DE, D_1E_1=h$ – висота датчика; $E_1F=\Delta x$ – зміщення осі маятника при нахилі основи на кут $\angle BAC=\alpha$; E, F – точка перетину осі котушки з віссю маятника; EG – вертикальне зміщення маятника; GF – горизонтальне зміщення маятника; $AE, AE_1=x$ – відстань від центру повороту основи стенда до точки перетину осі котушки з віссю датчика; DQ – вертикальне зміщення точки підвісу; D_1Q – горизонтальне зміщення точки підвісу; EP – вертикальне зміщення точки перетину осі котушки з віссю датчика; E_1P – горизонтальне зміщення точки перетину осі котушки з віссю датчика.

$$\begin{aligned}\sin \alpha &= \frac{\Delta x}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} = \frac{H}{\sqrt{l^2 + H^2}} \\ \cos \alpha &= \frac{h}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} = \frac{l}{\sqrt{l^2 + H^2}};\end{aligned}\quad (2.10)$$

2.3.2. Розрахунок зміщень

Зміщення точки перетину осі котушки з віссю маятника, горизонтальне

$$\begin{aligned}EO &= AO - AE = AF \cos \alpha - AE = \\ &= (x + Dx) \cos \alpha - x = \frac{(x + \Delta x)h}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} - x = \\ &= \frac{x \left(h - \sqrt{h^2 + (\Delta x)^2} \right) + \Delta x h}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Зміщення точки перетину осі котушки з віссю маятника, вертикальне

$$\begin{aligned}EG &= OF = AF \sin \alpha = \\ &= (x + Dx) \sin \alpha\end{aligned}\quad (2.12)$$

Зміщення точки підвісу нитки маятника, горизонтальне

Так як $QD_1 = EO = GF$, то горизонтальне зміщення точки підвісу буде таким самим, як у попередньому випадку.

Зміщення точки підвісу нитки маятника, вертикальне

$$\begin{aligned}
 DQ &= DE - QE = DE - D_1O = DE - (D_1F - OF) = \\
 &= h - \left(\frac{D_1E_1}{\cos \alpha} - AF \sin \alpha \right) = h - \left(\frac{h}{\cos \alpha} - (x + \Delta x) \sin \alpha \right) = \\
 &= \frac{h \cos \alpha - h + (x + \Delta x) \sin \alpha \cos \alpha}{\cos \alpha} = \\
 &= \frac{\frac{h^2}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} - h + (x + \Delta x) \frac{\Delta x}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}}}{h} = \\
 &= h - \sqrt{h^2 + (\Delta x)^2} + \frac{(x + \Delta x) \Delta x}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} = \frac{h\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2} - (h^2 + (\Delta x)^2) + (x + \Delta x) \Delta x}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

Зміщення нижньої точки осі датчика, горизонтальне

Так як $\triangle ARE$ подібний до $\triangle E_1EP$, а $EE_1 = 2ER$, то отримуємо такий вираз:

$$\begin{aligned}
 \frac{AE}{ER} &= \frac{EE_1}{E_1P} \Rightarrow \frac{2AE}{EE_1} = \frac{EE_1}{E_1P} \Rightarrow \\
 \Rightarrow E_1P &= \frac{EE_1^2}{2AE} = \frac{x^2 + x^2 - 2x^2 \cos \alpha}{2x} = \\
 &= x(1 - \cos \alpha) = \frac{x \left(\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2} - h \right)}{\sqrt{h^2 + (\Delta x)^2}} \quad (2.14)
 \end{aligned}$$

Зміщення нижньої точки осі датчика, вертикальне

$$\begin{aligned}
 EP &= \sqrt{EE_1^2 - E_1P^2} = \sqrt{2x^2(1 - \cos \alpha) - x^2(1 - \cos \alpha)^2} = \\
 &= x\sqrt{2 - 2\cos \alpha - 1 + 2\cos \alpha - \cos^2 \alpha} = \\
 &= x\sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = x \sin \alpha \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

2.3.3. Визначення абсолютної величини зміщення

Так як при розрахунку абсолютних значень вертикального та горизонтального зміщень необхідно знати відстань від точки повороту до нижньої осі датчика, то важливим стає саме визначення точки (прямої), навколо якої повертається напрямна стенда або реальний об'єкт, на якому розміщений датчик. Під час проведення реальних вимірів ця точка (пряма) не визначена і, відповідно, відстань X визначити неможливо. Розглянемо ситуацію, максимально близьку до стендових випробувань, – горизонтальна плита, частково розміщена на скельній основі (див. рис. 2.17). На рисунку зображена ортогональна проєкція цієї ситуації.

Якщо виходити з того, що край A' при зміщеннях плити залишається нерухомим, то значення X у формулах зміщення приймається рівним $A'B$, хоча для визначення істинного зміщення необхідно приймати $X=AB$.

Однак оскільки положення точки A неможливо визначити, то розраховане значення зміщень буде на $A'A''$ більшим, ніж насправді. Таким чином, розраховані величини зміщень датчика дорівнюють зміщенням відносно краю плити, а не рівня горизонту.

2.3.4. Горизонтальна прямокутна плита

Датчик розміщується на жорсткій горизонтальній прямокутній плиті, довжина якої – a , ширина – b , на відстані x та y відповідно від сторін AB і BC так, що вісь датчика перпендикулярна площині плити. Осі кожної пари котушок спрямовані паралельно сторонам плити (рис. 2.18).

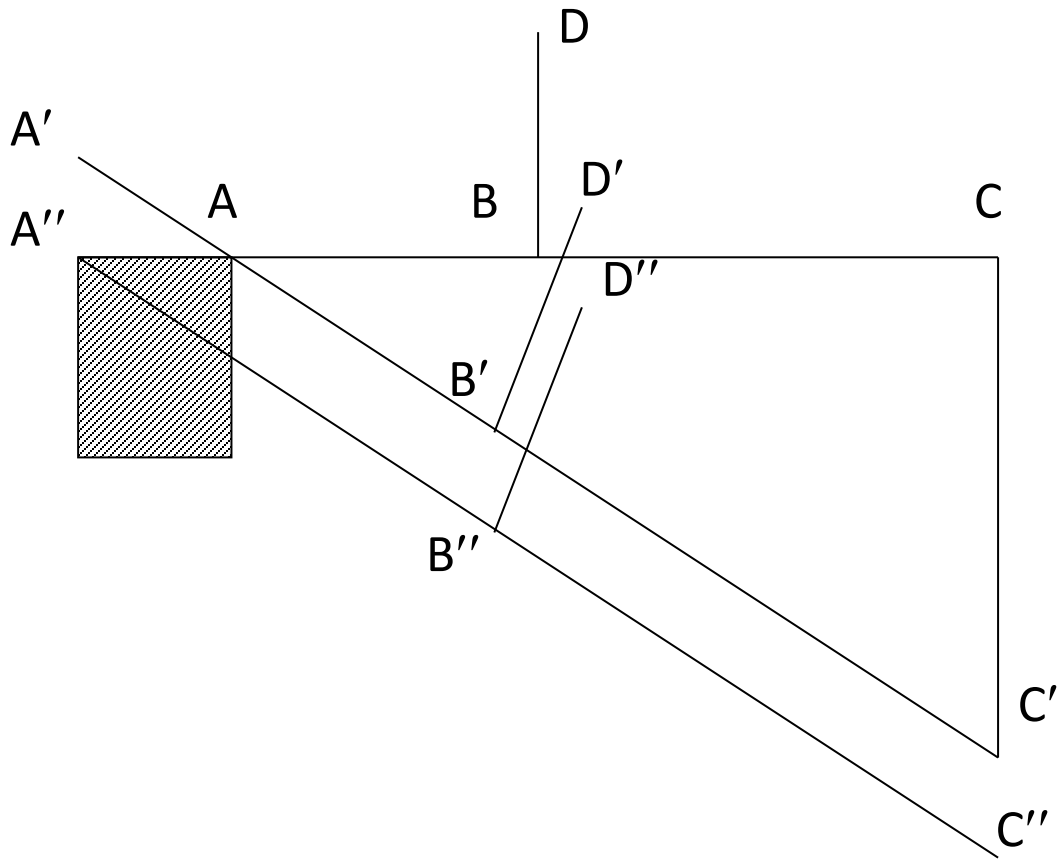


Рис. 2.17. Схема до розрахунку вертикального та горизонтального зміщення датчика.

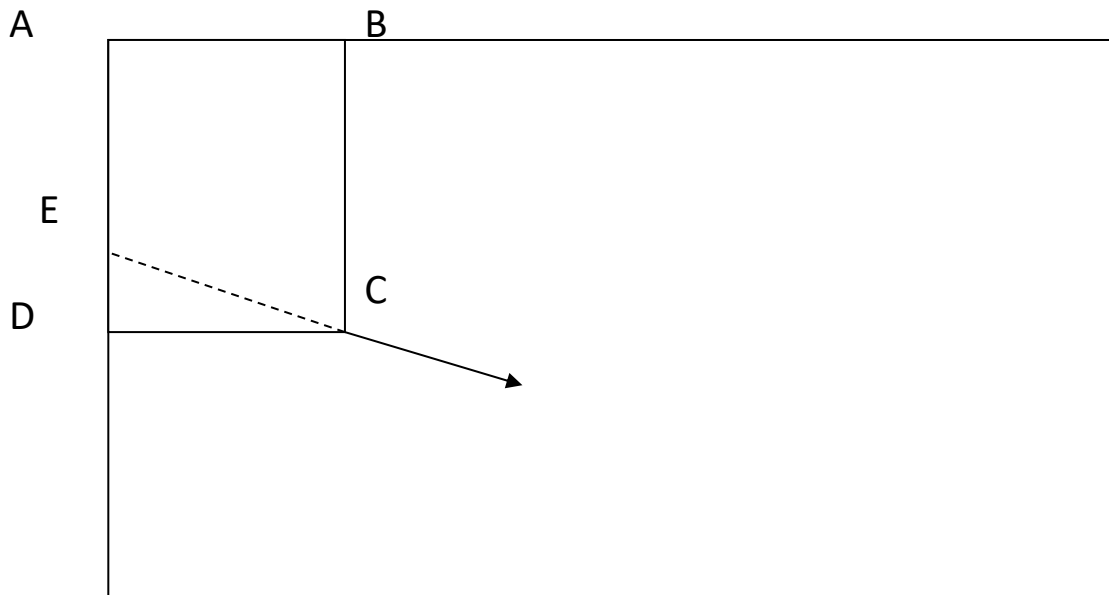


Рис. 2.18. Схема положення датчика на горизонтальній плиті.

2.4. Розробка стенду для випробувань і налаштування пристрою вимірювання кутових деформацій

2.4.1. Опис стенду, комплектація та його конструкція

Число вимірювальних каналів – один. Тип перетворювача – котушка індуктивності. Діапазон вимірів – 0...25 мм, $\Delta = \pm 1,0$ мкм = 0,001 мм. Габаритні розміри стенду – трохи більші за 600 x 200 x 300 мм. Маса стенду – не більша за 25 кг. Пристрій з мікрометричною головкою: межа вимірів – 0–25 мм, ціна поділки – 0,01 мм. Брусковий бульбашковий рівень А-42191: 1 под. = 0,08 мм на 1 м. Вимірювач індуктивності – ВІ1 (№1-04). Мультиметр – UN-50А (№3030555613). Міра індуктивності – Р593 (3мГн №1168). Вбудований рівень.

Конструктивно стенд складається з двох вертикальних опор, жорстко закріплених на опорному майданчику, штанги (переміщується лише у вертикальній площині), закріпленої 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. 2.19).

Вертикальні опори зроблені з алюмінієвого профілю складного перерізу (для додаткової жорсткості). Ліва опора слугує напрямною у вертикальному положенні штанги та обмежувальною – в горизонтальному положенні. У середній частині лівої опори зроблено паз для переміщення штанги. З зовнішнього боку в профільний паз встановлюється мікрометр. Права опора слугує для закріплення штанги та обмеження її руху у горизонтальній площині. У паз верхньої частини опори вставлена вісь обертання штанги. На опорі закріплений притискний вузол, що усуває люфт при переміщенні штанги у вертикальній площині. Штанга виготовлена з алюмінієвого профілю складного перерізу.

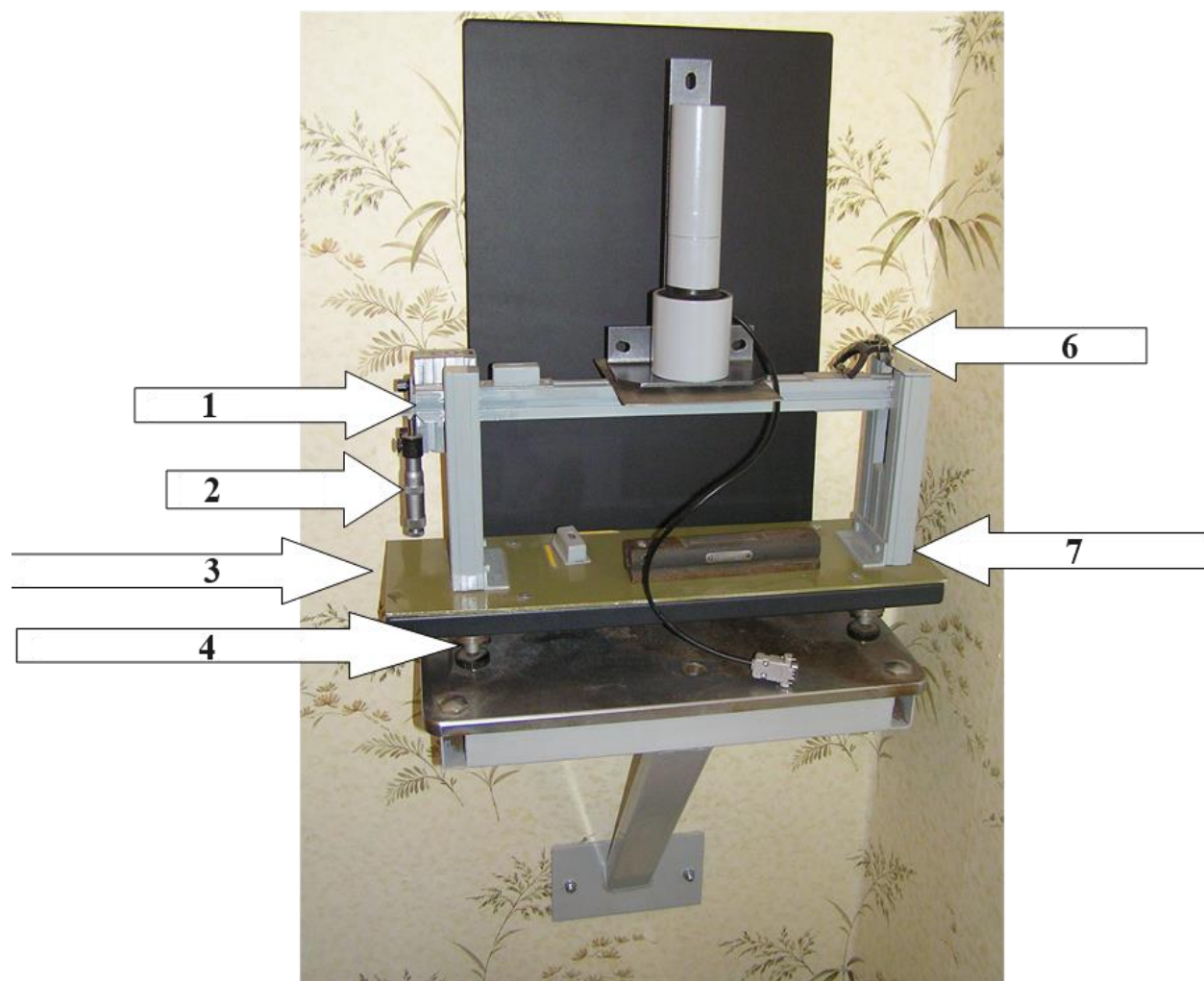


Рис. 2.19. Загальний вигляд стану. На рисунку: 1 – штанга; 2 – мікрометр; 3 – опорний майданчик; 4 – регулювальні гвинти; 5 – притискний вузол; 6 – вертикальні опори.

При обертанні мікрометра штанга разом зі встановленим на ній майданчиком (зроблений з титану) переміщується у вертикальній площині. Відстань від осі обертання штанги до штока мікрометра становить 503 мм. Майданчик для об'єкта вимірювань виготовлений зі сталеві пластины, закріпленої на штанзі гвинтом. Мікрометр №6117 (межа вимірів – 0–25 мм, ціна поділки – 0,01 мм) закріплений на лівій опорі гвинтами, з можливістю переміщення на потрібну висоту по профільного пазу. Передає зусилля на штангу, переміщуючи її у вертикальній площині. Для усунення тертя, зусилля передається через підшипник кочення, закріплений на штанзі. Притискний

вузол складається з підпружиненого важеля (зроблений з латуні), конструктивно закріпленого на правій опорі, і двох підшипників, що рівномірно фіксують штангу при переміщеннях. Опорний майданчик складається зі сталевого прямокутного профілю та закріпленої на ньому гвинтами алюмінієвої пластини. Слугує основою конструкції. Регулювальні гвинти призначені для виставлення вимірювального майданчика у вертикальній та горизонтальній площинах за бульбашковим рівнем А-42191 (1 под. = 0,08 мм на 1 м). Маркування та пломбування не передбачені. У стенді повинні бути відсутні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що впливають на безпеку праці відповідно до чинних стандартів. Конструкція стенду не повинна мати гострих кутів, що виступають. Регулювальні гвинти повинні мати робочий хід, що забезпечує захист стенду від перекидання.

2.4.2. Загальні вказівки з експлуатації, підготовки стенду до роботи, порядку його роботи та усунення несправностей

Не ставити на майданчик стенду об'єкти вагою понад 3 кг. Уникати механічних впливів (удар, перекидання). Дотримуватись правил технічного обслуговування. Берегти від потрапляння вологи та пилу. Не проводити самостійне розбирання стенду (крім заміни мікрометра та майданчика стенду). Встановити стенд на міцну основу, дати витримку за кімнатної температури протягом 4-х годин. У відведеному для стенду приміщенні відстань до приладів опалення повинна бути не меншою за півтора метри. Зовнішнім оглядом перевірити справність всіх складових частин стенду та правильність з'єднань їх між собою. Брусковий рівень встановлюється на опорному майданчику, що складається зі сталевого прямокутного профілю та закріпленої на ньому гвинтами алюмінієвої пластини. Слугує основою для конструкції опорного майданчика стенду. Опорний майданчик стенду виставляється за рівнем у двох площинах шляхом регулювання гвинтів-опор

стенду. Брусковий рівень встановлюється на вимірювальному майданчику стенду. Мікрометр виставляється у нуль. Пристрій вимірювання деформацій ПВД встановлюється на вимірювальному майданчику стенду. З вибраним кроком обертаємо гвинт мікрометра проти годинникової стрілки. При цьому штанга відхилитиметься від горизонталі (вниз) – відповідно й встановлений на майданчику пристрій.

Вихід першої котушки (рис. 2.5), вісь якої розташовується вздовж осі регульованої штанги стенду, підключаємо до вимірювального приладу (вимірювач індуктивності ВІ1). Вмикаємо вимірювач. Обертаючи регульовальний гвинт котушки №1 за годинниковою стрілкою, наближаємо її до маятника до показань ВІ1, рівних 1700 мкГн. Те саме робимо з іншими котушками індуктивності, що входять до складу ПВД. Вихід третьої котушки (рис. 2.5), вісь якої розташовується вздовж осі регульованої штанги стенду, підключаємо до вимірювального приладу (вимірювач індуктивності ВІ1). Він має показати величину індуктивності 1700 мкГн. Обирається крок зміни показань мікрометра 0,01 мм. З обраним кроком обертаємо гвинт мікрометра проти годинникової стрілки. При цьому штанга відхилитиметься від горизонталі (вниз) – відповідно й встановлений на майданчику пристрій.

Записуємо показання вимірювача при вимірюванні кожного кроку. При цьому маятник буде наближатися до котушки і показання вимірювача збільшуватимуться. Записані показання величини індуктивності відповідатимуть переміщенню мікрометра, які, зі свого боку, через коефіцієнт перерахунку відповідатимуть зміщенню маятника до котушки №3. Дані заносимо в тарувальну таблицю, надалі вони використовуються для розрахунку величини та напрямку зміщення.

У таблиці 2.2. наведено вказівки щодо усунення несправностей у роботі стенду. Питання технічного обслуговування, умов роботи стенду, транспортування та зберігання, проведення атестації стенду наведені у додатку В. В цьому ж додатку наведено методику експериментальних випробувань стенду.

Вказівки щодо усунення несправностей у роботі стенду

Несправності	Ймовірні причини	Методи усунення
Нестійке положення стенду	Під зовнішнім впливом змінилося розташування стенду на опорному майданчику	Виставити стенд за рівнем у двох площинах, шляхом регулювання гвинтів-опор стенду
Неможливо встановити майданчик стенду за бульбашковим рівнем у 2-х перпендикулярних напрямках в одній площині	Ослабло кріплення майданчика стенду	Підкрутити гвинти кріплення майданчика
При поверненні мікрометра в нуль немає повтору первинно встановленого значення індуктивності	Недостатня напруга живлення ВІІ	Зарядити акумулятор або підключити до зовнішнього блока живлення ВІІ
Неможливо плавно регулювати мікрометр із заданою точністю кроку вимірювань	Забруднився мікрометр. Відсутнє мастило мікрометра	Зняти мікрометр, провести чистку та змазку
Неможливо регулювати мікрометр із заданою точністю кроку вимірювань	Між штоком мікрометра і упорним майданчиком сторонні предмети, пил	Припідняти штангу, очистити місце контакту

2.5. Моделювання НДС системи «основа ББ – стрічковий фундамент» як елемента підтримки прийняття рішень ІТДББ

Крін фундаменту є одним із критеріїв, що визначають експлуатаційну придатність будівельного об'єкту. Нормативними документами обмежуються допустимі величини кренів будівель та споруд. Однак у багатьох випадках крен фундаменту на різних етапах життєвого циклу будівельного об'єкта перевищує допустимі величини, а іноді – й граничні [144, 145]. Для подальшої безпечної експлуатації такої будівлі необхідно вибрати та реалізувати оптимальну технологію усунення наднормативного крену. Під час проведення цього виду робіт необхідно забезпечити адекватний прогноз геомеханічних процесів у системі «основа – фундамент – верхня будова». Роботи з локального горизонтального підробітку ґрунтової основи зазвичай виконуються в такій технологічній послідовності (рис. 2.20):

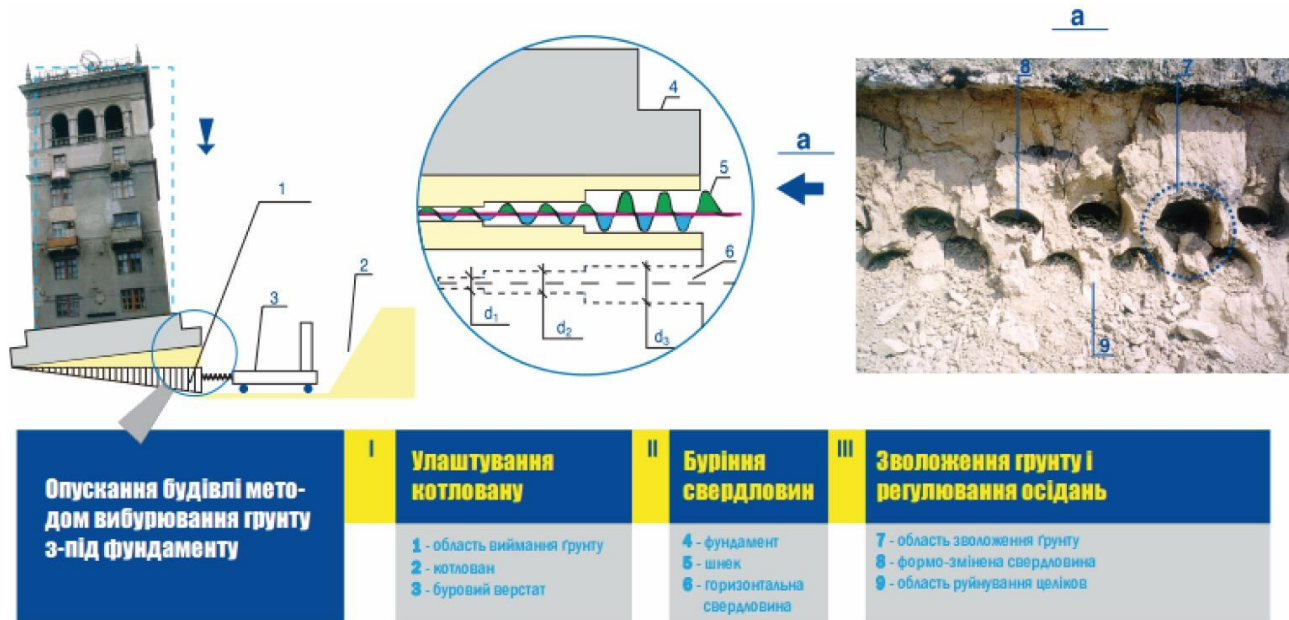


Рис. 2.20. Технологія горизонтального підробітку ґрунтової основи циліндричними свердловинами.

1. Улаштування котловану з боку тієї частини будівлі або споруди, що менше просіла.
2. Вибурування необхідної кількості ґрунту з основи будівельного об'єкта шляхом влаштування горизонтальних циліндричних свердловин, виконаних за розрахунковими параметрами (крок, діаметр свердловин, довжина).
3. Локальне зволоження ґрунту навколо контуру циліндричних свердловин.
4. Регулювання технологічних осідань фундаментів шляхом локального розпушування (закріплення) ґрунту навколо свердловин та відновлення вертикального положення будівельного об'єкта.
5. Виконання зворотного засипання котловану.

Для прийняття ефективних управлінських рішень та зниження рівня ризику будівельних аварій потрібна об'єктивна інформація про поточний технічний ББ на основі ІТДББ. Для цього потрібно проводити серію перевірочних розрахунків залишкової здатності основних конструктивних елементів системи «основа – фундамент – верхня будова» з використанням онлайн-результатів ІТДББ. Моделювання системи «основа – фундамент – верхня будова» здійснюється в такій

послідовності: створюється просторова модель будівлі (рис. 2.21) з урахуванням нелінійної роботи матеріалів конструкцій, податливості стиків, одностороннього характеру зв'язків конструкцій фундаментів з основою; за результатами обстеження будівельних конструкцій визначаються додаткові навантаження на

Загружение 1

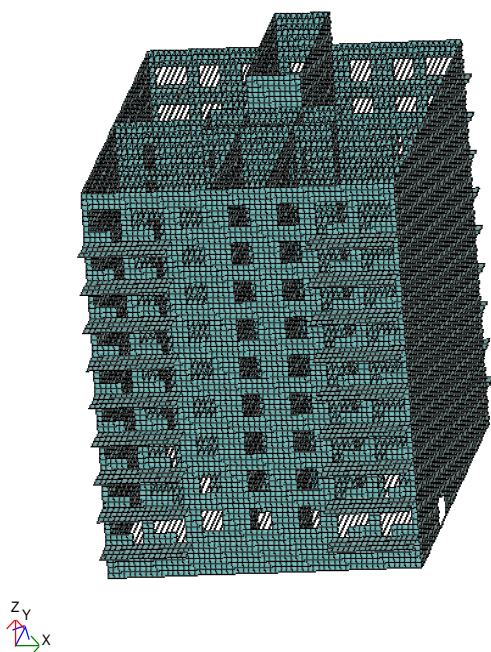


Рис. 2.21. Розрахункова модель багатоповерхової будівлі, яка зазнала крену.

будівлю за період експлуатації; перевіряється адекватність розрахункової моделі шляхом зіставлення результатів натурних спостережень та результатів розрахунку; за онлайн-результатами ІТДББ виконується послідовне коригування розрахункової моделі з розрахунком параметрів НДС ББ на основі програмного комплексу ЛІРА-САПР кроковим методом з моделюванням деформаційних впливів основи на будівлю; виконується комплексний аналіз отриманих результатів з метою виявлення конструкцій, що працюють у граничному

стані, та за необхідності проводиться посилення будівельних конструкцій. Часто виникають розбіжності у величинах фактичних та прогнозованих параметрів, наприклад технологічного осадження, крену ББ. Тому в проєктах необхідно передбачати додаткові інженерні заходи для забезпечення зворотного зв'язку з використанням ІТДББ: моніторинг у режимі реального часу, математичне моделювання НДС будівельних конструкцій ББ, комплексний синтез поточної експериментальної та розрахункової інформації для СППР ОПР, технологічні прийоми регулювання осідань за розрахунковою епюрою та ін. Це дозволить на всіх етапах виконання робіт з усунення крену ББ забезпечувати рівність прогнозованих та фактичних деформацій в умовах невизначеності та ризику ґрунтових аварій,

визначити локальні зони ґрунту, що вимагають додаткового управлінського впливу при вирівнюванні ББ, наприклад на основі корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

2.5.1. Геомеханічна та розрахункова моделі системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном»

Головною проблемою при розробці проєктних рішень для усунення кренів будівель шляхом локального горизонтального підріткі ґрунтової основи є забезпечення геотехнічної безпеки будівельного об'єкта. Прогнозування технологічних осідань і крену будівлі виконується з використанням сучасних методів теоретичної та прикладної геомеханіки, а також з урахуванням особливостей улаштування котловану, буріння свердловин тощо.

Для підвищення надійності прогнозу напружено-деформованого стану системи «основа – стрічковий фундамент із креном» необхідно:

- виконати у необхідному обсязі інженерно-геологічні дослідження;
- вибрати розрахункову геомеханічну модель ґрунтового масиву, що відповідає фізичному стану ґрунту, що підробляється, і конструктивним особливостям фундаментів;
- визначити параметри деформованості шарів ґрунтового масиву та напруги в ґрунтовій основі, що враховують особливості буріння горизонтальних циліндричних свердловин;
- використовувати адекватні методи чисельного моделювання напружено-деформованого стану ґрунтової основи, що дозволяють враховувати характер його структурного стану, у т.ч. у процесі виконання робіт.

Для розробки геомеханічної та розрахункової моделей системи «підроблений 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. 2.3).

Таблиця 2.3.

Досвід усунення кренів будівель з використанням технології горизонтального підріткі ґрунтової основи циліндричними свердловинами

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 наступні припущення: руйнування ґрунту під подошвою стрічкового фундаменту відбувається в локальних областях (ціликах) 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 ціликах переміщуються в порожнину свердловини.

На підставі виконаних досліджень запропонована геомеханічна модель системи «підроблюваний ґрунтовий масив – стрічковий фундамент з креном», яка дозволяє виділити основні фізичні процеси формування НДС у даній системі (рис. 2.22). Ширина ґрунтової стінки між котлованом та фундаментом у напрямку його довжини залежить насамперед від ширини фундаменту, через грані подошви якого проходить коло розвитку вершин пластичних областей. Параметри ґрунтової стінки залежать також від ширини пластичних областей, що є функцією зовнішнього розподіленого навантаження.

Особливістю геомеханічної моделі, наведеної на рис. 2.22, є те, що в

свердловинах C_1 – C_n по їх периметру по кінцях, наприклад, тріщини б виконані штучно сформовані концентратори механічних напруг – вивали [1]. Це дозволяє процес руйнування ціликів 1 зробити відтворюваним, а отже, стає можливим реєструвати момент їх руйнування, наприклад, за величиною зміни геометричних розмірів свердловин – їх діаметра в напрямку горизонтальної та вертикальної осей симетрії, які можуть бути виміряні за допомогою стандартних пристроїв.

У наведеній на рис. 2.22 геомеханічній моделі контур поперечного перерізу свердловин, отриманих відразу після їх буріння, має форму кола, по периметру якого у ґрунті формуються технологічні пластичні області у вигляді кілець завширшки Δ . Наведена геомеханічна модель ґрунтової основи (рис. 2.22) зі свердловинами після буріння враховує процес зміни НДС у ґрунтовій основі, оскільки після буріння свердловин відбувається перерозподіл навантаження P , що діє на фундамент. Тому частина свердловин виявляється в зоні дії навантажень P_1 , більших за початкові P_0 , а інша частина – в зоні P_2 , меншій за P_0 . В результаті виникають нерівномірні осідання стрічкового фундаменту та змінюється характер НДС у ґрунтовій основі. У свердловинах, що знаходяться в області дії навантажень P_1 , конфігурація контуру їх перерізу може змінюватися від форми початкового кола до еліптичної, квадратної тощо, при цьому контур їх перерізу має безліч нерівностей, наприклад, у вигляді вивалів, які є потужними концентраторами напруг і призводять до формування в ґрунті навколо свердловин великих пластичних областей, а отже, і до різкої зміни характеру НДС.

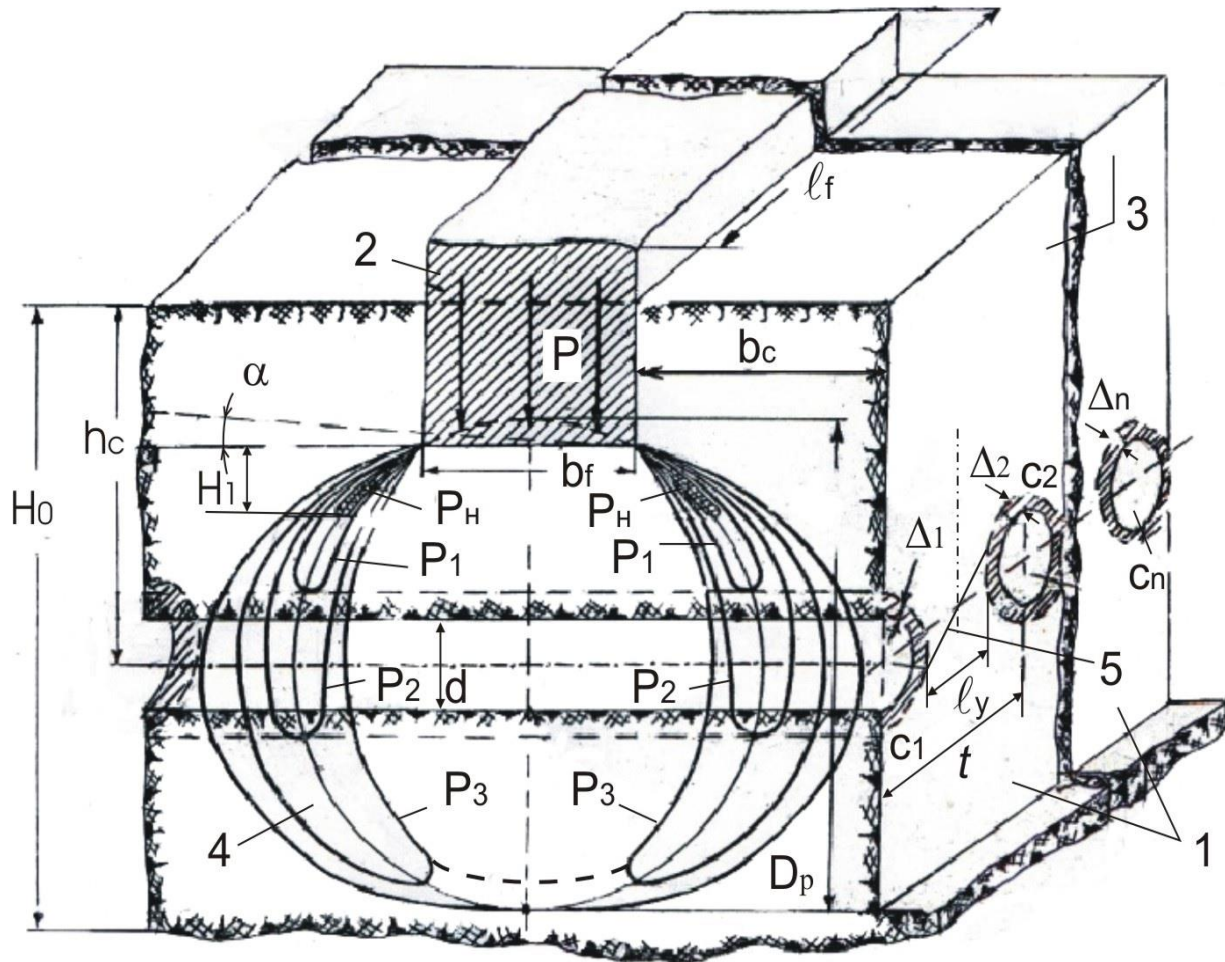


Рис. 2.22. Геомеханічна модель НДС підроблюваного ґрунтового масиву під підшовною стрічковим фундаментом з креном: 1 – ґрунтова основа; 2 – стрічковий фундамент; 3 – укіс котловану; b_f , l_f , α – ширина, довжина, кут нахилу фундаменту; P – початкове розподілене навантаження; b_c – товщина ґрунтової стінки; $C_1, C_2 \dots C_n$ – горизонтальні циліндричні свердловини; h_c , d , t – глибина закладення, діаметр та крок свердловин; H_0 – фізична глибина ґрунтового масиву; P_H – область зародження початкової пластичної деформації біля грані фундаменту; H_1 – висота початкових пластичних областей; P_1, P_2, P_3 – пластичні області, що виникають по лінії кола 4 діаметром D_p у ґрунтовому масиві зі збільшенням навантаження P ; $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n$ – ширина кільцевих пластичних областей навколо свердловин; 5 – лінія руйнування ґрунту тріщиною між поруч розташованими свердловинами; l_y – ширина пружної ділянки (цілика) ґрунту між свердловинами; K – точка з'єднання пластичних областей при повному руйнуванні ґрунту.

Отже, при ритті котловану не повинен бути порушений зовнішній контур пластичної області ґрунту. Глибина котловану призначається залежно від величини необхідного технологічного осідання та габаритних розмірів

бурового обладнання.

Одним з основних факторів, що впливають на характер НДС підроблюваного ґрунтового масиву, є ступінь взаємодії початкових пластичних областей біля граней фундаменту з пластичними областями, що виникли по контуру пробурених циліндричних свердловин. Для виключення руйнування ґрунту в процесі цієї взаємодії глибина закладення свердловин має бути більшою за висоту початкових пластичних областей. Безпосередньо в процесі усунення крену фундаменту характер розподілу навантаження за довжиною фундаменту стає більш рівномірним, що практично зводить до мінімуму можливість взаємодії між вищевказаними пластичними областями.

Крок і діаметр свердловин визначаються з урахуванням характеру розподілу величин технологічних осідань за довжиною фундаменту та розраховуються з урахуванням ширини кільцевих пластично деформованих областей, сформованих навколо свердловин. При цьому в області ґрунту між поруч розташованими свердловинами не повинно відбуватися взаємодії кільцевих пластичних областей.

Значною мірою характер напружено-деформованого стану досліджуваної системи при взаємодії з навантаженням залежить від товщини ґрунтового масиву, що стискається. У процесі усунення крену фундаменту безперервно відбувається перерозподіл смугового навантаження, а отже, і безперервна зміна напружено-деформованого стану ґрунтової основи, що підробляється. Тому при розробці розрахункової моделі ґрунтової основи можна використовувати принцип, в основу якого покладено апроксимацію контуру ґрунтової основи у вигляді прямокутника (плоска задача) або паралелепіпеда (просторова задача) [146–148].

Якщо в даній розрахунковій моделі врахувати фізичну товщину шару, що стискається, то вона наблизиться до реальної фізичної моделі системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном».

Пропонований варіант розрахункової моделі досліджуваної системи, що враховує фізичну товщину шару ґрунту, що стискається, наведено на рис. 2.23.

Практично більшість будівельних об'єктів має стрічковий фундамент, виконаний на ґрунтовій подушці. Це дозволяє використовувати розрахункову схему у формі одного шару. У цьому випадку розрахункова модель має вигляд розрахункової схеми, показаної на рис. 2.23.

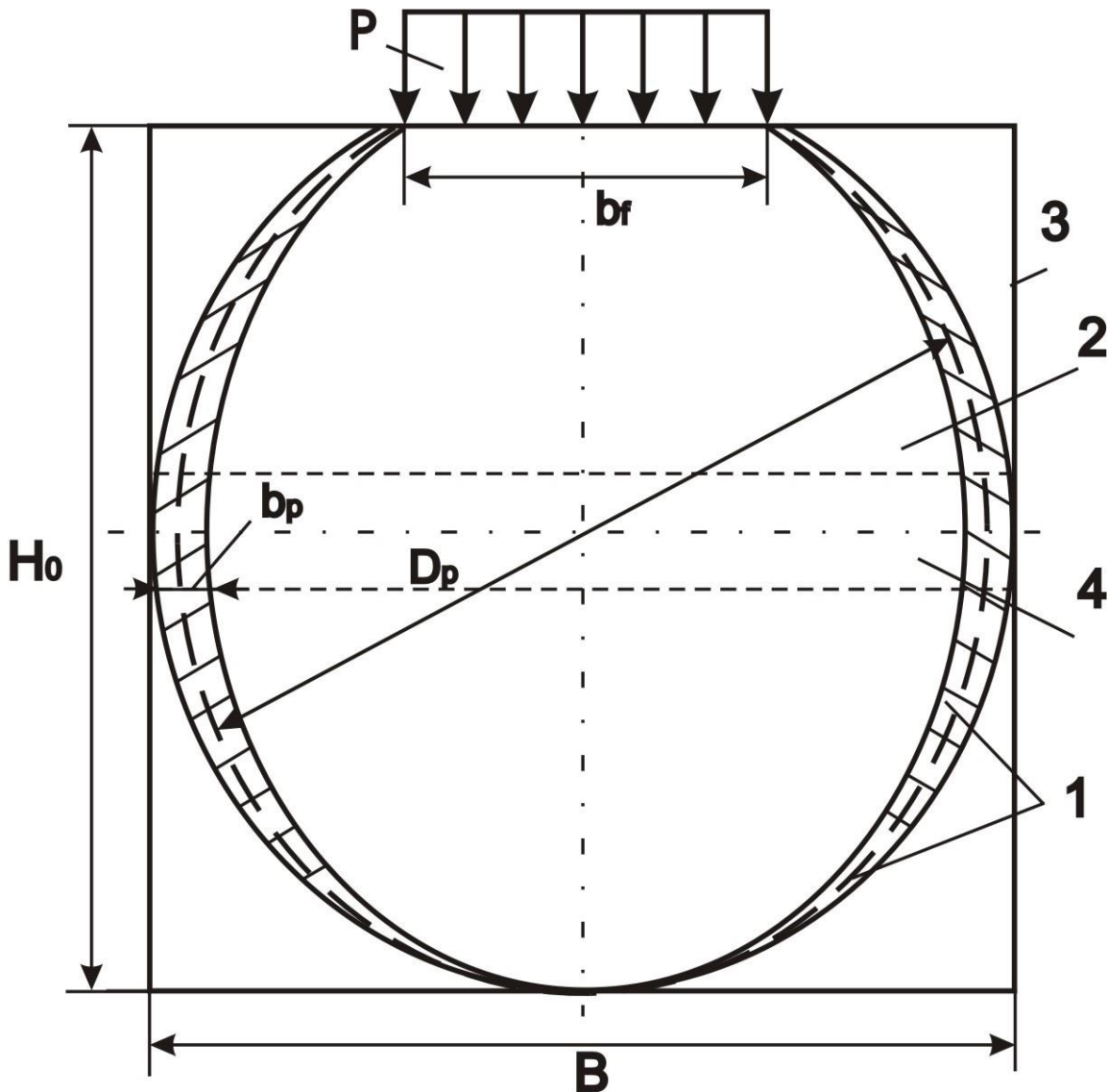


Рис. 2.23. Розрахункова схема системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном»: 1 – контур розвитку пластичних областей; 2 – область ґрунту, в якому буряться свердловини; 3 – горизонтальні циліндричні свердловини; D_p – діаметр кола розвитку пластичних областей; b_f – ширина фундаменту; B – ширина ґрунтового масиву у формі прямокутника; H_0 – фізична товщина шару ґрунту, що стискається; P – розподілене навантаження.

Наведена розрахункова схема ґрунтової основи (рис. 2.23), як показано в [149], може бути використана для оцінки параметрів ґрунтової основи для випадку, коли об'єм локальних пружних областей значно перевищує об'єм локальних пластичних областей. У цьому випадку стає можливим при розрахунках розглядати модель у вигляді прямокутника шириною B і товщиною H_0 .

2.5.2. Зворотній зв'язок в ІТДББ для контролю параметрів розрахункової моделі «підроблювана ґрунтова основа ББ – стрічковий фундамент з креном» при формуванні управлінських рішень ОПР

Запропонована геомеханічна модель ґрунтового масиву і розрахункова схема підроблюваної ґрунтової основи дозволяє визначити основні фізико-механічні, міцнісні та геометричні параметри системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном», які необхідно контролювати в процесі усунення крену будівельного об'єкта. В якості основних розрахункових параметрів приймаються: товщина ґрунтової основи; товщина ґрунтової стінки між стрічковим фундаментом та котлованом, глибина котловану; глибина закладання, крок, діаметр циліндричних свердловин; ширина пластичних кільцевих областей, що виникають навколо циліндричних свердловин після буріння. Визначимо фізичну товщину ґрунтової основи, з урахуванням крену будівлі, на основі методики, використаної при вирішенні задачі Ренкіна [147]:

$$H_0 = \frac{P \sin(\varphi - \delta)}{\gamma \sin(\alpha - \varphi)}, \quad (2.16)$$

де H_0 – фізична товщина ґрунтової основи; α – кут нахилу фундаменту; δ – кут між нормаллю до поверхні ґрунтової основи та напрямом дії зовнішнього смугового навантаження P ; γ , φ – питома вага та кут внутрішнього тертя ґрунту.

Ширина ґрунтової стінки визначається за формулою:

$$b_c > \frac{D_p + b_p - b_f}{2}, \quad (2.17)$$

де D_p – діаметр кола розвитку пластичних областей; b_p – ширина пластичної області у ґрунті в зоні риття котловану; b_f – ширина фундаменту.

Вихідною величиною для розрахунку діаметра горизонтальних циліндричних свердловин є еюра осідання стрічкового фундаменту, отримана за результатами геодезичної зйомки висотного положення будівлі до початку робіт з усунення її наднормативного крену.

Технологічні параметри системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном» взаємопов’язані між собою наступним основним співвідношенням:

$$d^2 = st, \quad (2.18)$$

де s – необхідне технологічне осідання; d , t – діаметр і крок горизонтальних циліндричних свердловин.

Для виключення взаємодії кільцевих пластичних областей, сформованих навколо пробурених горизонтальних циліндричних свердловин, вони повинні бути розділені ділянкою (ціликом) ґрунту, що працює в пружній фазі. Ширина цілика вибирається з умови, що при зовнішньому навантаженні у ньому мають виникати напруження, не більші величини розрахункового опору ґрунту.

З урахуванням вищезазначеного, крок свердловин у ряді визначається з умови:

$$t \geq d_{\text{var}} + 2\Delta_c + l_y, \quad (2.19)$$

де d_{var} – варійований діаметр свердловин; Δ_c – ширина пластичної кільцевої області ґрунту навколо свердловин; l_y – ширина пружної ділянки ґрунтового цілика в напрямку вертикальної осі асиметрії.

Знаючи крок свердловин і необхідну величину технологічного осідання, можна визначити з (2.18) необхідний діаметр свердловин:

$$d = \sqrt{S(d_{\text{var}} + 2\Delta_c + l_y)}, \quad (2.20)$$

і, відповідно, вибрати потрібний діаметр шнеків для механічного буріння.

Глибину закладення горизонтальних циліндричних свердловин приймаємо, виходячи з умови, що вони повинні розташовуватися в максимально стисненому шарі ґрунту, але при цьому не повинні перетинати початкові пластичні області, сформовані біля граней фундаменту (рис. 2.23):

$$h_c > H_1, \quad (2.21)$$

де h_c – глибина закладення свердловин; H_1 – висота початкових пластичних областей, що формуються біля грані фундаменту.

Для визначення поточного характеру напружено-деформованого стану підроблюваної ґрунтової основи введемо коефіцієнт ідентифікації:

$$K_i = \frac{V'}{V''}, \quad (2.22)$$

де: V' – сумарний об'єм областей у ґрунтовій основі, що перебувають у пружному стані; V'' – те ж, але у пластичному.

При виконанні умови $K_i \geq 10$, ґрунтова основа працює за пружно-деформованою лінійною моделлю [148], а отже, неможлива втрата стійкості фундаменту при виконанні робіт з усунення його наднормативного крену.

Для практичної реалізації способу ідентифікації НДС ґрунту, що підробляється, розроблений алгоритм визначення ширини пластичної зони навколо контуру циліндричної свердловини. Раніше [149] отримано аналітичне рішення задачі про розподіл напруг і деформацій навколо круглого отвору в ідеальному пружно-пластичному середовищі з критерієм пластичності Треска. Це аналітичне рішення є одним з найбільш точних, тому воно може бути використане на ділянці стрічкового фундаменту, де навантаження менше величини граничного опору ґрунту. При великих навантаженнях використовується чисельний метод визначення ширини пластичних зон навколо циліндричних свердловин.

При усуненні нахилу фундаменту буриться один або кілька рядів, що містять 1...n свердловин різного діаметру. Об'єм пластичних областей у

грунтовій основі буде дорівнювати:

$$V'' = (d + 2\Delta_c)nl \quad (2.23)$$

де d – діаметр циліндричних свердловин, Δ_c – ширина кільцевої пластичної області навколо свердловин; l , n – довжина та кількість свердловин.

Загальний об'єм ґрунту, виходячи з запропонованої розрахункової моделі, обмежений фізичною глибиною ґрунтової основи, довжиною свердловин і довжиною фундаменту. Для загального об'єму ґрунту запишемо:

$$V_0 = H_0 l_f l, \quad (2.24)$$

де H_0 – фізична глибина ґрунтової основи, l_f – довжина фундаменту, l – довжина свердловин.

З урахуванням формул (2.23), (2.24), отримаємо для пружно-деформованого об'єму ґрунту:

$$V' = V_0 - V'' = H_0 l_f l - (d + 2\Delta_c)nl. \quad (2.25)$$

2.5.3. Контроль параметрів розрахункової моделі підроблюваної ґрунтової основи та формування управлінських впливів

Виникають розбіжності у величинах фактичних та прогнозованих параметрів – наприклад, технологічного осідання та крену будівельного об'єкта. Тому передбачаємо технологічні прийоми регулювання осідань за розрахунковою епюрою, моніторинг у режимі реального часу та ін. (додаткові інженерні заходи). Що дозволить забезпечити рівність прогнозованих та фактичних деформацій системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном» на всіх етапах виконання робіт з усунення крену ББ.

Для запропонованої розрахункової моделі системи основними контрольованими параметрами є:

- товщина ґрунтової стінки між фундаментом та котлованом, глибина котловану;
- глибина закладення, діаметр, крок циліндричних свердловин;
- характер зміни технологічних осідань і крену фундаменту;
- коефіцієнт ідентифікації ґрунтової основи;
- величина випору ґрунту в зоні стрічкового фундаменту.

Для моніторингу вищевказаних параметрів розроблено структурну схему їх автоматизованого контролю, докладний опис якої наведено в розділі 3.

При побудові структурної схеми контролю поточних параметрів розрахункової моделі використано електромагнітні безконтактні вимірювальні перетворювачі. Це дозволяє визначати як абсолютну величину крену, так і його напрям. При вирішенні задачі, пов'язаної з контролем технологічних осідань ґрунту, що досягають декількох десятків сантиметрів, в процесі вирівнювання нахилу фундаменту використовується безконтактний прохідний електромагнітний датчик, поєднаний з феромагнітним поплавком. У конструкції індикатора контролю моменту виникнення випору ґрунту використані безконтактні індуктивні датчики зміщення, що складаються з двох феромагнітних частин, закріплених, відповідно, на поверхні ґрунту фундаменту та на бічній поверхні стрічкового фундаменту. Розміщення таких датчиків за довжиною фундаменту дозволяє контролювати початковий момент випору ґрунту, який відповідає переходу в пластичний стан.

Універсальна структурна схема містить як блок безперервного розрахунку НДС ґрунту в технологічному процесі усунення крену, так і блок формування поточних управлінських команд. Це сприяє локалізації областей ґрунту, що потребують втручання, наприклад зміни корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту та ін.

2.6. Розробка способу ідентифікації НДС ґрунтової основи

У процесі усунення крену фундаменту безперервно відбувається перерозподіл смугового навантаження, а отже, й безперервна зміна НДС ґрунтової основи, що підробляється. Тому при розробці розрахункової моделі ґрунтової основи використано принцип, в основу якого покладено апроксимація контуру ґрунтової основи у вигляді прямокутника (плоска задача) або паралелепіпеда (просторова задача). Однією з проблем при розрахунку параметрів НДС ґрунтової основи після його підробітку та в процесі усунення нахилу є визначення характеру НДС ґрунту, тобто оцінка залежності між зусиллями (напругами) та деформаціями. Якщо ця залежність лінійна, то параметри НДС розраховуються за теорією лінійних пружних деформацій, якщо – нелінійна, то зазвичай використовуються різні наближені методи, пов'язані найчастіше з апроксимацією нелінійної залежності осідань фундаментів від величини навантаження (рис. 2.24) [148]. Однак залишається невирішеною проблемою розрахунок параметрів НДС ґрунту в процесі усунення крену будівель, так як важко врахувати безперервну зміну характеру НДС ґрунтової основи при зміні крену за рахунок перерозподілу навантаження, що діє на фундамент, тому необхідне використання великої кількості різних розрахункових моделей для кожного значення кута нахилу фундаменту, складених як на основі теорії лінійних деформацій, так і пластичних (рис. 2.24).

Тому необхідний спосіб ідентифікації характеру НДС ґрунту в процесі усунення крену стрічкового фундаменту, що дозволить одночасно спростити вирішення задачі управління технологічним процесом усунення крену фундаменту на основі корекції фізико-механічних властивостей ґрунту в локальних областях контролю таким чином, щоб граничний опір ґрунту не перевищував встановленого нормативного значення, тобто НДС ґрунтової основи відповідав лінійній пружній ділянці до величини навантаження P_{C1} .

На наведеній залежності (рис. 2.24) $S = \varphi(P)$ можна виділити характерні області НДС: лінійна область до P_{C1} , нелінійна область до P_{C2} при навантаженнях, більших за $P_{л}$. При цьому в ґрунтовій основі відбувається виникнення безлічі локальних пластично деформованих об'ємів ґрунту, розподілених по об'єму ґрунтової основи (рис. 2.25).

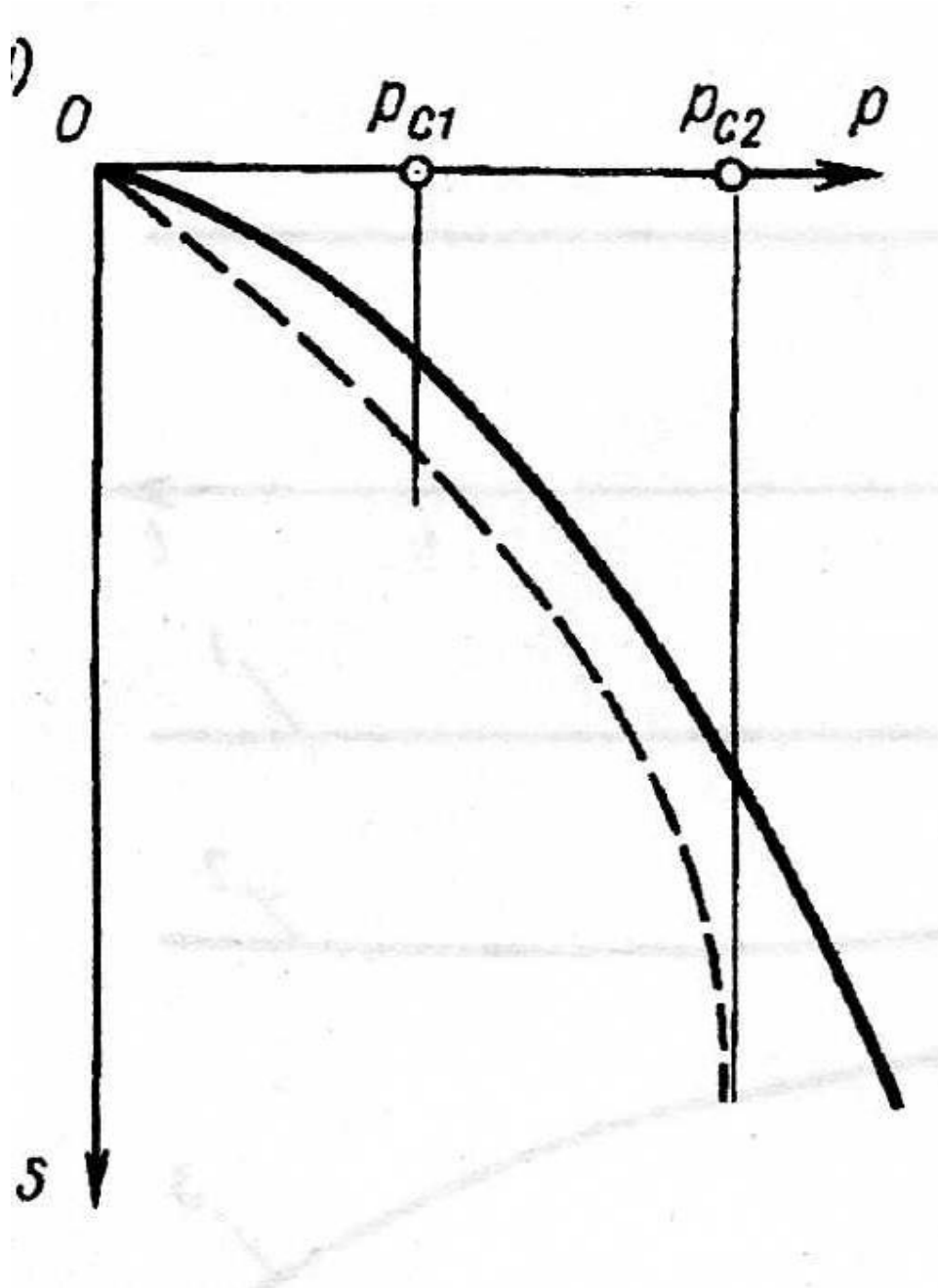


Рис. 2.24. Залежність осідання фундаменту S від тиску P при навантаженні без розвантаження. P_{C1} – перший критичний тиск; $P_{C1}-P_{C2}$ – ділянка фази зсувів.

При усуненні крену фундаменту відбувається перерозподіл навантаження, яке діє на фундамент, що призводить до зміни характеру НДС у ґрунтовій основі. Тому отримувати безперервно такі залежності у численних точках ґрунтової основи, наприклад під стрічковим фундаментом, нереально, оскільки потрібна побудова нової залежності $S = \varphi(P)$. В умовах вирівнювання крену фундаменту насамперед необхідно визначити, в якій області НДС знаходиться ґрунт основи, що дозволило би при розрахунку параметрів НДС використовувати відповідну розрахункову модель НДС ґрунту.

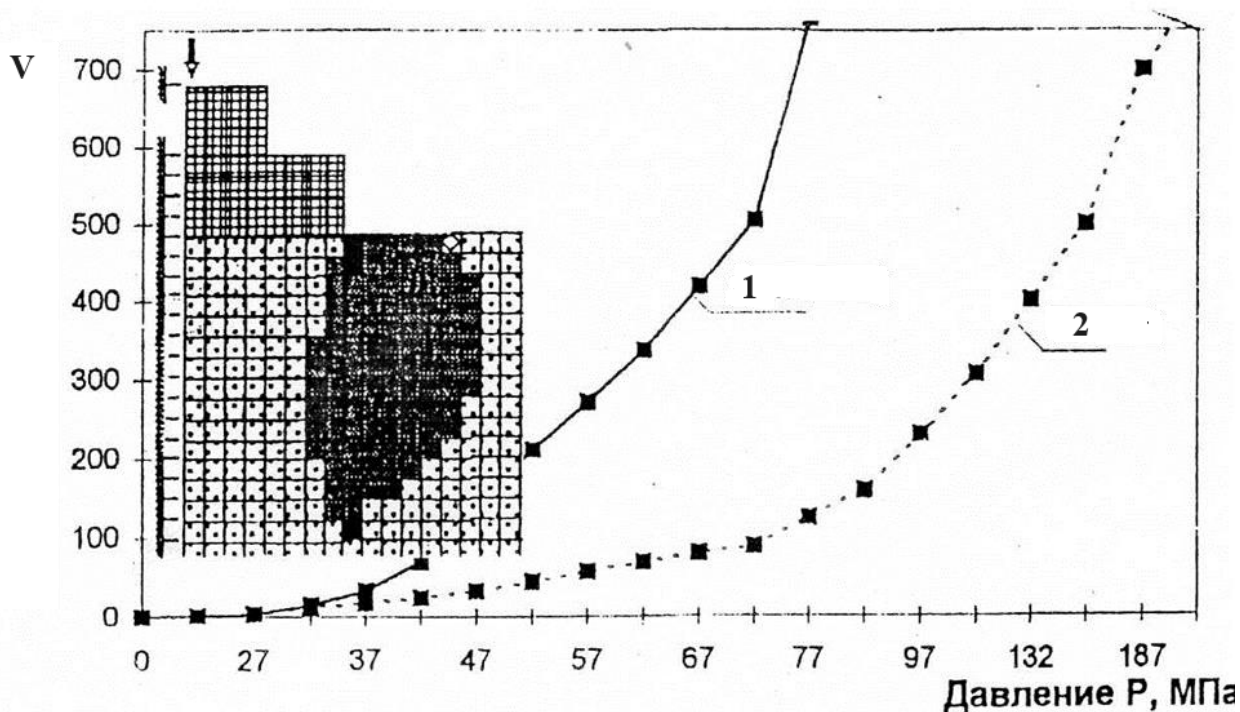


Рис. 2.25. Графіки зміни об'єму (V) зон (областей) пластичних деформацій при збільшенні тиску (P) на основу для жорсткого фундаменту (плоска задача МКЕ за програмою «Гідромеханіка»). На рисунку: 1 – суглинок; 2 – пісок.

Ця проблема може бути вирішена згідно з [150] на основі побудови залежності між об'ємом пластично деформованих областей $V_{\text{пр}}$, осідань S і величиною навантаження P . Наведена залежність дозволяє визначати величину осідань ґрунтової основи як при пружних, так і при пластичних деформаціях. При

виникненні в ґрунтовій основі граничного тиску $P_{\text{ГР}}$, об'єм зон пластичних деформацій досягає граничної величини $V_{\text{ГР}}$.

Таким чином, ідентифікацію НДС ґрунтової основи можна проводити на основі попередньо отриманих залежностей $S = \varphi(P)$ та $V_{\text{ГР}} = f(P)$, використовуючи коефіцієнт відношення об'єму локальних пластично деформованих областей V_1 до об'єму V_0 локальних пружних областей у ґрунтовій основі за формулою:

$$K_0 = \frac{V_1}{V_0} \quad (2.26)$$

Для визначення пластичних V_1 і пружних V_0 об'ємів можуть бути використані експериментальні дані, наприклад зміни геометричних розмірів свердловин, що відбуваються в процесі усунення крену (рис. 2.26) та на стадії стабілізації осідань (рис. 2.27).

До сьогодні завдання ідентифікації НДС ґрунтової основи не вирішено. Однак можна підійти до його вирішення на основі контролю деформацій контуру циліндричних свердловин, отриманих експериментально спільно з аналогічною розрахунковою залежністю, наприклад, отриманою на основі чисельного методу розрахунку (рис. 2.28) [149]. На рис. 2.28 наведені результати розрахунку деформацій контуру свердловин чисельним методом збільшення навантаження [149]. З рис. 2.28 випливає, що стає можливим, наприклад, за величиною деформації, що виникає у напрямі вертикальної осі, визначити відповідну їй величину механічних напруг на основі попередньо отриманої залежності механічних напруг від величини деформації.

Порівнюючи цю величину напруг з гранично допустимим значенням, можна провести ідентифікацію НДС ґрунтової основи. Якщо локальні значення напруг в окремих областях більші граничних, то вони шляхом зміни ФМВ ґрунту коригуються до значень, менших за граничні.



Рис. 2.26. Характер деформування контуру свердловини після її буріння.



Рис. 2.27. Характер деформування свердловин на стадії стабілізації осідань фундаменту.

2.6.1. Розрахунок параметрів системи «грунтова основа – стрічковий фундамент» при усуненні крену фундаменту

Після ідентифікації НДС ґрунтової основи, в лабораторних умовах визначаються міцнісні та фізико-механічні параметри ґрунту за однією з відомих методик [148, 151]. Одним з основних факторів, що впливає на

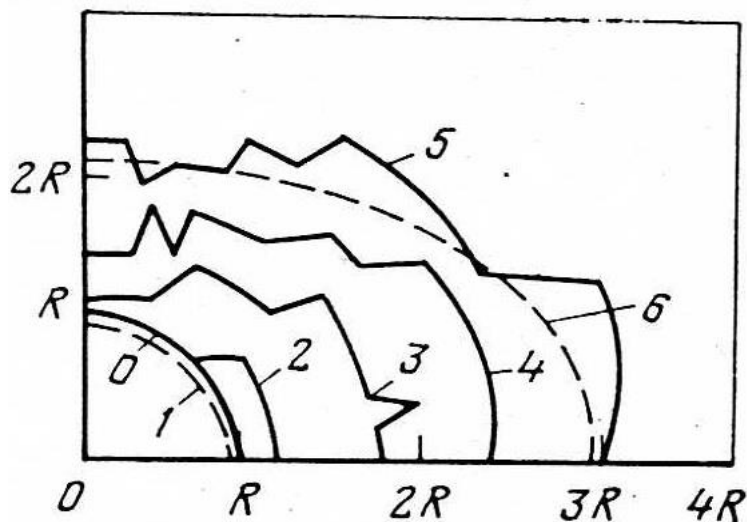


Рис. 2.28. Результати визначення чисельним методом меж пластичних зон зі збільшенням навантаження. 0 – вихідний контур отвору; 1, 2, 3, 4 – межі пластичних зон зі збільшенням навантаження; 5 – контур пластичної зони за аналітичним рішенням.

повинна бути не більшою $\frac{1}{4}$ ширини стрічкового фундаменту. Тому в процесі усунення крену фундаменту характер розподілу навантаження за довжиною фундаменту стає більш рівномірним, що практично зводить до мінімуму можливість взаємодії між цими пластичними областями в процесі усунення крену. Крок і діаметр свердловин визначається з урахуванням характеру розподілу технологічних величин осідань за довжиною фундаменту і розраховується з урахуванням ширини кільцевих пластично деформованих областей, сформованих навколо свердловин [148]. При цьому в області ґрунту між поруч розташованими двома свердловинами не має відбуватися взаємодія кільцевих пластичних областей.

характер НДС у підроблюваному ґрунтовому масиві, є ступінь взаємодії початкових пластичних областей біля граней фундаменту [152] з пластичними областями, що виникли по контуру свердловин [148]. Для виключення руйнування ґрунту в процесі цієї взаємодії глибина закладення горизонтальних свердловин

Значною мірою характер напружено-деформованого стану ґрунтового масиву при взаємодії з навантаженням залежить від його фізичної товщини, яка може бути розрахована за співвідношенням, наведеним у роботі [147].

На основі геомеханічної та розрахункової моделей, наведених на рис. 2.22 та рис. 2.23, основні параметри НДС ґрунтової основи, механічні напруги σ_x , σ_y , осідання фундаменту S_0 , S_m , зміщення ґрунтового масиву та крен в області пружних деформацій можуть бути розраховані на основі співвідношень, отриманих в [148].

$$\sigma_y(x, y) = \frac{qa}{l} + \frac{4q}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi a}{l}}{m} \times \frac{A-B}{sh \frac{2m\pi h}{l} + \frac{m\pi h}{l}} \times \cos \frac{m\pi x}{l}, \quad (2.27)$$

де

$$A = \left[\frac{m\pi h}{l} \times ch \frac{m\pi h}{l} + sh \frac{m\pi h}{l} \right] \times ch \frac{m\pi(y-h)}{l}; \quad B = \frac{m\pi(y-h)}{l} \times sh \frac{m\pi(y-h)}{l} \times sh \frac{m\pi h}{l};$$

$$\sigma_x(x, y) = \frac{qa\gamma}{l(1-\gamma)} - \frac{4q}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{m\pi a}{l}}{m} \times \frac{C-D}{sh \frac{2m\pi h}{l} + \frac{m\pi h}{l}} \times \cos \frac{m\pi x}{l}. \quad (2.28)$$

Тут

$$C = \left[\left(\frac{m\pi h}{l} \times ch \frac{m\pi h}{l} \right) - sh \frac{m\pi h}{l} \right] \times ch \frac{m\pi(y-h)}{l}; \quad D = \frac{m\pi(y-h)}{l} \times sh \frac{m\pi(y-h)}{l} \times sh \frac{m\pi h}{l}$$

Для розрахунку максимального осідання в центрі S_0 та середнього осідання S_m використовують співвідношення:

$$S_0 = \frac{qah(1+\nu)(1-2\nu)}{El(1-\nu)} + \frac{8(1-\nu^2)ql}{E\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \frac{\sin \frac{m\pi a}{l} \left(sh \frac{m\pi h}{l} \right)^2}{sh \frac{2m\pi h}{l} + \frac{2m\pi h}{l}} \quad (2.29)$$

$$S_m = \frac{qah(1+\nu)(1-2\nu)}{El(1-\nu)} + \frac{8(1-\nu^2)ql^2}{E\pi^3 a} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^3} \frac{\sin \left(\frac{m\pi a}{l} \right)^2 \left(sh \frac{m\pi h}{l} \right)^2}{sh \frac{2m\pi h}{l} + \frac{2m\pi h}{l}} \quad (2.30)$$

Отримані формули (2.27, 2.28, 2.29, 2.30) для розрахунку параметрів НДС

грунту додатково коригуються з урахуванням одержуваної інформації з датчиків крену, осідань і напруг. Наприклад, значення параметрів НДС для однієї з контрольованих областей можуть бути оцінені за формулами:

$\sigma_{хк} = \sigma_x K_0$; $\sigma_{ук} = \sigma_y K_0$; $\tau_{ук} = \tau_y K_0$; $S_{0к} = S_0 K_0$; $S_{мк} = S_m K_0$; $V(x,y) = V K_0$; $U(x,y) = U K_0$
де K_0 – коригуючий коефіцієнт, $K_0 = \varphi(K_1)$.

Скориговані формули для розрахунку параметрів НДС ґрунтової основи використовуються при проведенні моніторингу в процесі усунення крену стрічкового фундаменту як розрахункові, що використовуються при порівнянні з параметрами, одержуваними експериментально на основі використання датчиків крену, осідань і напруг. Ця інформація ІТДББ виступає як «зворотний зв'язок» для підтримки прийняття рішень ОПР в умовах ймовірності ґрунтових аварій та ризику внаслідок «невизначеностей» (багатьох параметрів, від яких залежить безпека процесу ліквідації наднормативного крену ББ без відселення мешканців та функціонування систем її життєзабезпечення).

При побудові структурної схеми контролю основних параметрів НДС системи «ґрунтова основа – стрічковий фундамент» у процесі усунення крену будівель використано електромагнітні безконтактні вимірювальні перетворювачі [153], які дозволяють визначати безпосередньо на будівельному об'єкті його крен, осідання та механічну напругу. Особливістю використаних датчиків є те, що вони дозволяють безперервно контролювати основні параметри НДС до 50 см, в т.ч. абсолютну величину та напрямок крену фундаменту. У конструкції індикатора контролю моменту виникнення випору ґрунту використані безконтактні індуктивні датчики зміщення, що складаються з двох феромагнітних частин, закріплених відповідно на поверхні ґрунту фундаменту та на бічній поверхні стрічкового фундаменту. Розміщення таких датчиків по довжині фундаменту дозволяє контролювати початковий момент випору ґрунту, який відповідає його переходу в пластичний стан.

2.7. Експериментальне обґрунтування вибору основного розрахункового параметра при підрітці ґрунтів під підшвою стрічкового фундаменту ББ

Для кругового виробітку є точні рішення пружно-пластичних задач розподілу напруги по контуру свердловин [154]. Однак для виробітків із контуром, відмінним від кругового, точні чисельні рішення відсутні [155]. Актуальним є дослідження впливу стану контуру свердловини на пружно-пластичний розподіл напруг навколо виробітку, контур якого максимально наближений до кругового. Така ідеалізація дозволяє зрозуміти фізику впливу стану некругових контурів свердловин (квадратна, овальна, трикутна, склепінчаста) на характер формованого НДС навколо свердловин як для ґрунту з ідеальним зчепленням, так і для ґрунтів з тертям і зчепленням.

Для аналізу пружно-пластичної задачі некругового контуру свердловини використовуємо такі припущення:

- в якості розрахункової схеми прийнято плоский деформований стан;
- в якості розрахункової схеми приймається невагома площина, ослаблена поперечним контуром свердловини [156];
- невагома площина завантажена на нескінченності навантаженням γh , де γ – об'ємна вага ґрунту; h – глибина підрітці свердловиною.

Типовий круговий контур горизонтальної свердловини з боку котловану, звідки проводиться буріння, наведено на рис. 2.29. При дослідженні впливу нерівностей контуру свердловин на характер формування та розподілу НДС ґрунту використана постановка розв'язання задачі як плоскої, при цьому початковий НДС ґрунту приймається гідростатичним, тобто $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma h$ [154], так як безпосередньо після буріння свердловини можна прийняти, що ґрунт пружний і може розглядатися як лінійно деформований.



Рис. 2.29. Характерний контур свердловини з боку котловану після буріння.

На рис. 2.30 наведені реальні контури горизонтального виробітку свердловинами (а і б) і аналітичні гіпотрохоїдальні криві, що описують їх (в і г). Наведені контури на рис. 2.30 не охоплюють весь реальний характер контурів як еліпса, криволінійного трикутника, криволінійного квадрата. Для отримання їх аналітичних аналогів у роботі [155] використана функція конформно відображає зовнішність одиничного кола на зовнішність реально отриманого при бурінні контуру свердловини.

Відображаюча функція представлена у вигляді

$$\omega(\xi) = R \left(\xi + \frac{C_1}{\xi^n} + \frac{C_2}{\xi^m} \right), \quad (2.30)$$

де n і C_1 – величини, що характеризують основний проєктний контур виробітку.

При $n = 0$ і $C_1 = 0$ основним контуром є коло;

при $n = 1$ і $0 < C_1 < 1$ – еліпс;

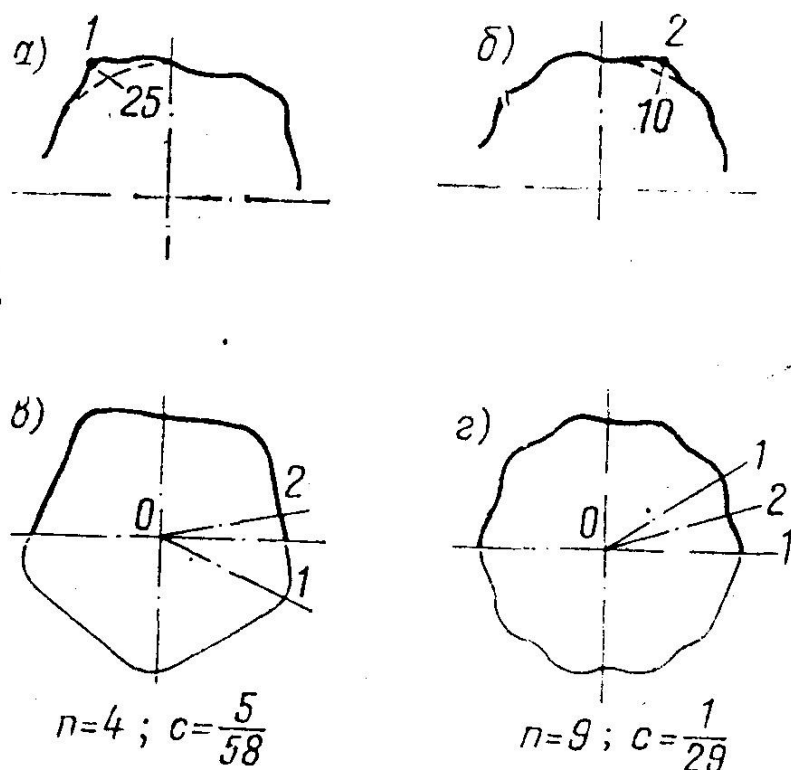


Рис. 2.30. Реальні контури та аналітичні криві для горизонтальних свердловин.

при $n = 2$ і $C_1 = 1/9$ – криволінійний трикутник за формою, близькою до контуру виробітку арочної форми;

при $n = 3$ і $C_1 = 1/9$ – криволінійний квадрат;

при $n = 4; 5; 6 \dots$; $0 < C_1 < 1/n$ – криволінійний багатокутник з числом сторін, рівним $n + 1$;

C_2 і m – величини, що характеризують відповідно амплітуду та кількість хвиль нерівностей на основному проєктному контурі.

Число хвиль нерівностей становить $m + 1$. Розмір m залежить від кількості осей симетрії основного контуру

$$m = k(n+1) - 1, \quad (2.31)$$

де $k = 1; 2; 3 \dots$ – ціле позитивне число.

Величина амплітуди нерівності може змінюватись у межах

$$0 \leq C_2 < \frac{1-nC_1}{m}, \quad (2.32)$$

при $C_2 > \frac{1-nC_1}{m}$ на контурі з'являються точки повернення.

На рис. 2.31 видно характерні «нерівні» контури свердловин після їх буріння, для яких характерні нерівності у вигляді западин і вивалів, нерівномірно розподілених по контуру.



Рис. 2.31. Характерні контури свердловин після їх буріння в процесі усунення нахилу будівель та споруд.

Аналіз наведених на рис. 2.30 реальних контурів після конформного відображення на них одиничного кола дозволив описати їх аналітично із симетричним розподілом нерівностей у вигляді западин та вивалів [155] (рис. 2.32.).

Використання функції 1 при отриманні розподілу напруги в ґрунті в області квадратного контуру наведено на рис. 2.33 [155].

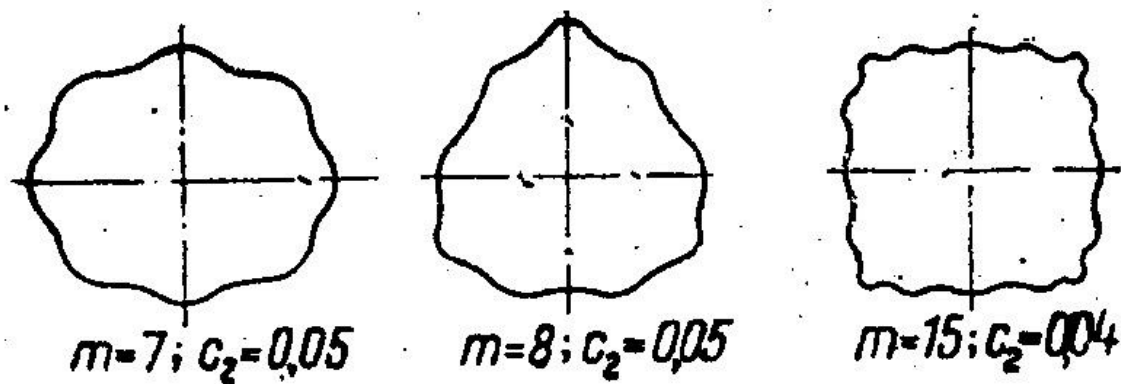


Рис. 2.32. Аналітичні контури у вигляді еліпса криволінійного трикутника та криволінійного квадрата, отримані для певної кількості нерівностей на основі функції (1).

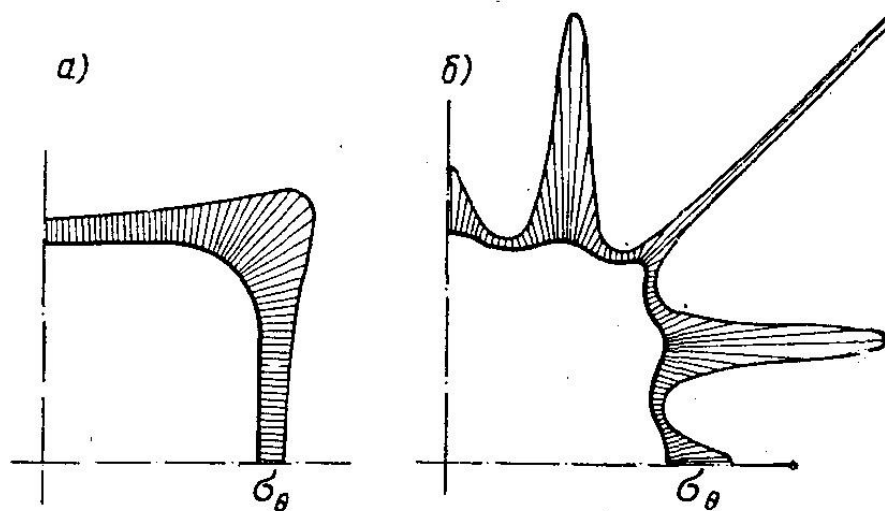


Рис. 2.33. Розподіл напруг на гладкому контурі квадратної свердловини (а) та реальному контурі свердловини (б).

В результаті дослідження характеру контуру свердловин після буріння їх під підшоною стрічкового фундаменту встановлено, що фізичний ефект, пов'язаний з формуванням нерівності контуру свердловин, зберігається і при розподілі навантаження з боку фундаменту, тому спосіб отримання аналітичних контурів може бути використаний у процесі усунення крену фундаментів, коли йде процес руйнування ціликів між свердловинами (рис. 2.34).



Рис. 2.34. Характер контурів свердловин у процесі технологічного осідання стрічкового фундаменту при усуненні крену будівлі.

2.8. Висновки до розділу 2.

1. Нормативний документ України ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» увібрав у себе всі основні теоретико-методичні вказівки та розробки з науково-методологічного обґрунтування та експериментального відпрацювання моніторингових систем для будівництва.

2. Обґрунтовано вибір найбільш раціонального способу усунення наднормативного крену ББ – підробітку ґрунтової основи шляхом буріння горизонтальних циліндричних свердловин.

3. Запропоновано геомеханічну та розрахункову моделі системи «підроблювана ґрунтова основа – стрічковий фундамент з креном» з урахуванням особливості технології усунення крену. Для запропонованої розрахункової моделі системи «підроблювана основа – стрічковий фундамент з креном» основними контрольованими параметрами є:

- коефіцієнт ідентифікації основи, що підробляється;
- глибина закладення котлована, діаметр, крок циліндричних свердловин;

- характер зміни технологічних осідань і крену фундаменту;
- зміни деформацій контуру свердловин у процесі усунення крену фундаменту.

4. Запропоновано спосіб ідентифікації напружено-деформованого стану підроблюваної ґрунтової основи, заснований на використанні основних параметрів НДС, отриманих теоретично та експериментально.

5. Для практичної реалізації усунення наднормативних кренів фундаментів будівель та споруд розроблено структурну схему контролю її основних параметрів НДС.

6. Розроблено для проведення безперервного автоматичного контролю основних параметрів НДС конструкції датчиків крену та розкриття тріщин.

7. Розроблено стенд для випробування та налаштування пристрою вимірювання кутів деформацій.

8. На практиці часто виникає розбіжність у прогнозованих і фактичних значеннях параметрів розрахункової моделі ґрунтової основи, що розраховуються, наприклад технологічних осідань і крену будівельного об'єкта і т.д. Тому в проектах необхідно передбачати інженерні заходи (моніторинг у режимі реального часу, технологічні прийоми регулювання осідань за розрахунковою епюрою та ін.), які на всіх етапах виконання робіт з усунення крену будівлі дозволять забезпечувати рівність прогнозованих та фактичних деформацій системи з креном.

Універсальна структурна схема ІТДББ повинна додатково містити блок безперервного розрахунку НДС фундаменту та верхньої будови в технологічному процесі усунення крену ББ, а також блок формування поточних управлінських команд. Це дозволить визначити локальні зони ґрунту, що вимагають додаткового управлінського впливу, наприклад на основі корекції технологічних осідань під подошвою стрічкового фундаменту ББ.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО РЕАЛІЗОВАНІ СКЛАДОВІ ІТДББ

3.1. Програма «Pendulum»

3.1.1. Опис програми

Програма «PENDULUM» призначена для розрахунку та візуалізації переміщень будівельних конструкцій. Вихідними даними для програми є результати вимірів, знятих із датчика УІД. 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 ближче відповідають усім чотирьом результатам даного вимірювання.

Для визначення координати котушки необхідно виконати базовий вимір. Координати котушки визначаються шляхом її зміщення вздовж лінії, що з'єднує пару протилежних котушок, таким чином, щоб індуктивність, отримана в результаті базового вимірювання, дорівнювала індуктивності, отриманій за моделлю поля індуктивностей. Координати маятника у базовому вимірюванні приймаються рівними нулю. Усі подальші вимірювання дають положення маятника відносно базового вимірювання.

Котушки позначаються за годинниковою стрілкою цифрами 1, 2, 3, 4 (Рис. 3.1).

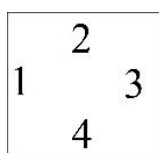


Рис. 3.1. Розташування котушок у датчику та позначення при виведенні на друк.

Для відображення результатів використовуються два методи:

Метод 1. Особливим чином (рис. 3.2) позначаються два вимірювання. Виводяться два вектори переміщення: від базового до другого поміченого вимірювання; від першого поміченого до другого поміченого вимірювання.

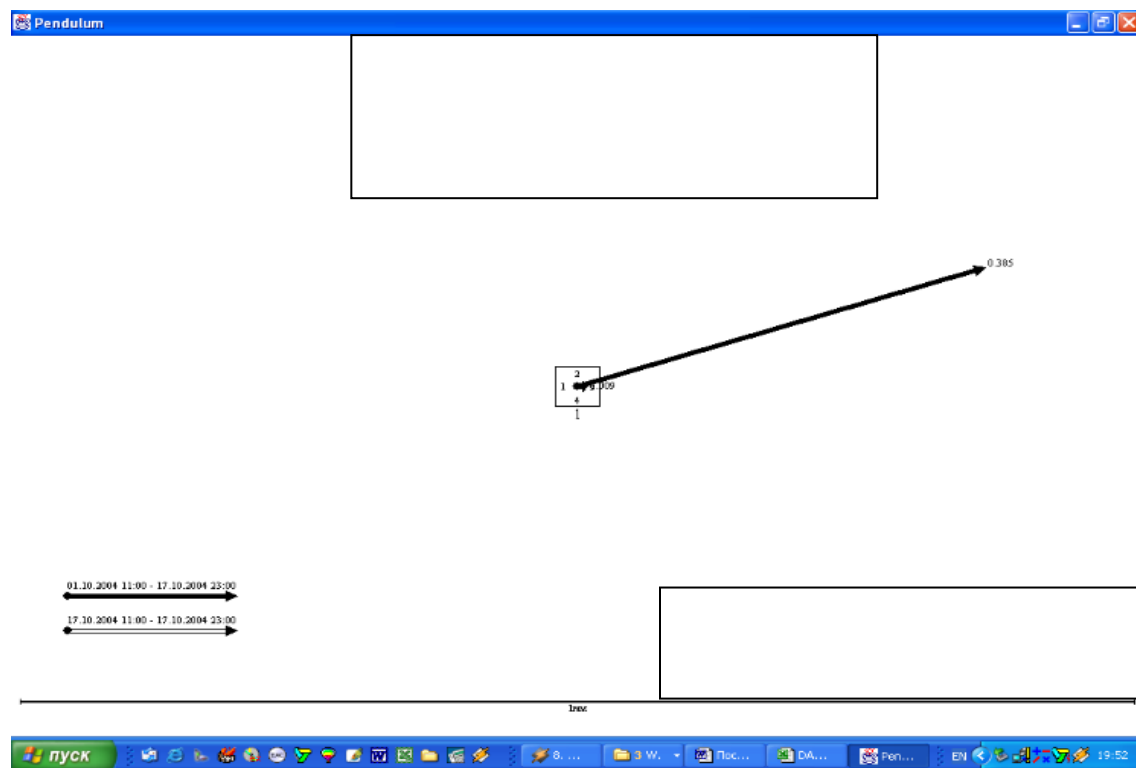


Рис. 3.2. Візуалізація результатів вимірювання (метод 1).

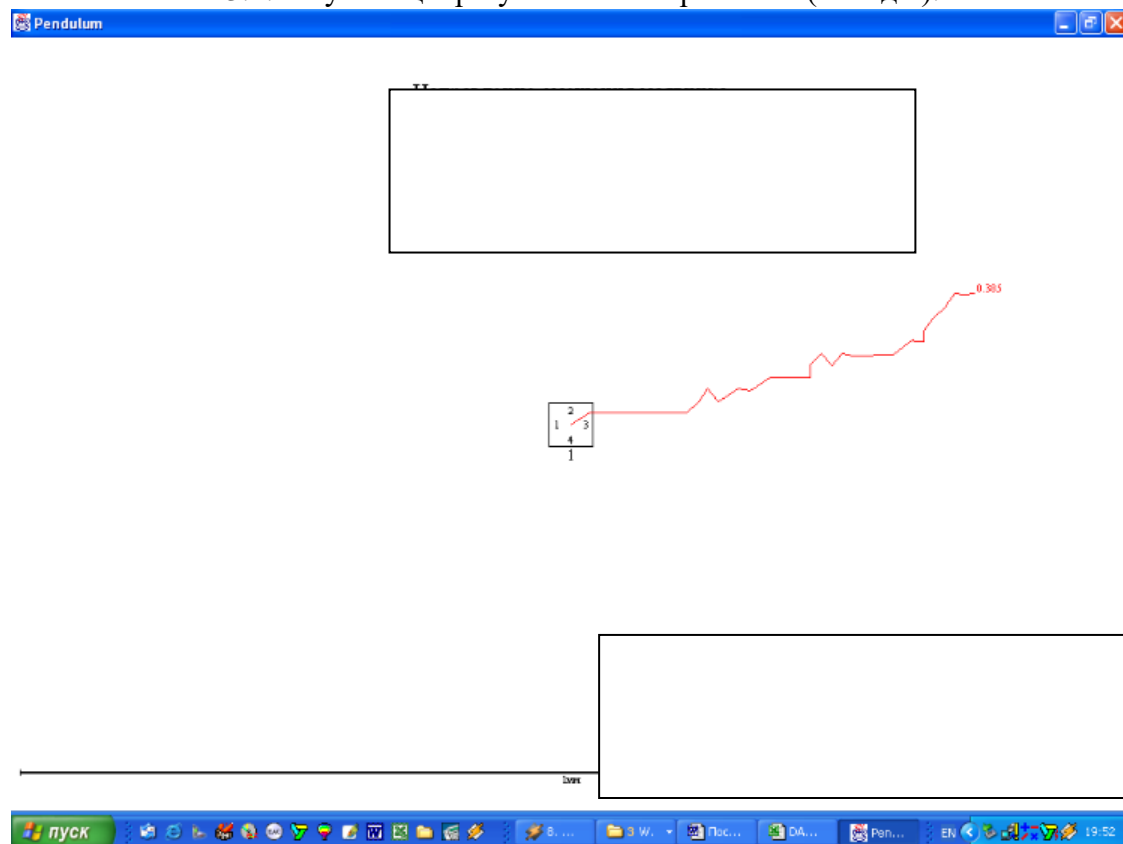


Рис. 3.3. Візуалізація результатів вимірювання (метод 2).

	A	B	C	D	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AU	
1	**											
2												
3	T	C,3,0,5,0,08	Направление смещения	матрика								
4	T	C,2,0,5,0,115	Запросный сечевой	кв.деп.ум, пр.Юбилейный, 19								
5	T	R,2,0,95,0,9	Подпись проверяющего									
6	T	C,3,0,5,0,190	←== Центральный вход ==>									
7												
8												
9	AI	L,1,0,05,0,8										
10	A2	L,1,0,05,0,85										
11	M	C,1,0,5,0,95										
12												
13	D		01.10.2004	11:00	15.10.2004	11:00	15.10.2004	23:00	16.10.2004	11:00	17.10.2004	23:00
14	*	№ датчика	№ кат.	измерения	измерения	измерения	измерения	измерения	измерения	измерения	измерения	
15		1	1	1746	1726	1725	1724	1724	1724	1724	1723	
16	270,0,5,0,5	2	2	1717	1720	1721	1721	1722	1722	1722	1722	
17		3	3	1710	1725	1726	1726	1725	1725	1727	1727	
18		4	4	1709	1704	1703	1703	1703	1703	1703	1703	
19												
20												

Рис. 3.4. Вихідні дані чотирьох індуктивностей. Пояснення: 1 – колонка базового вимірювання; 2 – колонка передостаннього вимірювання; 3 – колонка останнього вимірювання; 4 – текстова інформація; 5 – інформація про дату останнього та попереднього вимірювання, масштаб; 6 – дата вимірювання; 7 – орієнтація котушок у датчику та датчика на об'єкті; 8 – номери котушок; 9 – базове вимірювання; 10 – останнє вимірювання.

Метод 2. Особливим чином (рис. 3.3) позначаються всі вимірювання, що цікавлять. Виводиться лінія, що з'єднує положення маятника для всіх позначених вимірювань.

Вихідні дані програми готуються в MS Excel (рис. 3.4) і передаються у програму через Буфер Обміну (Clipboard).

Перший рядок і перший стовпчик таблиці містять спеціальні керуючі символи, що дозволяють задати всі вихідні дані: текстову інформацію, прив'язку об'єкта на місцевості, дату та час вимірювання, орієнтацію датчика на об'єкті, шрифти тощо.

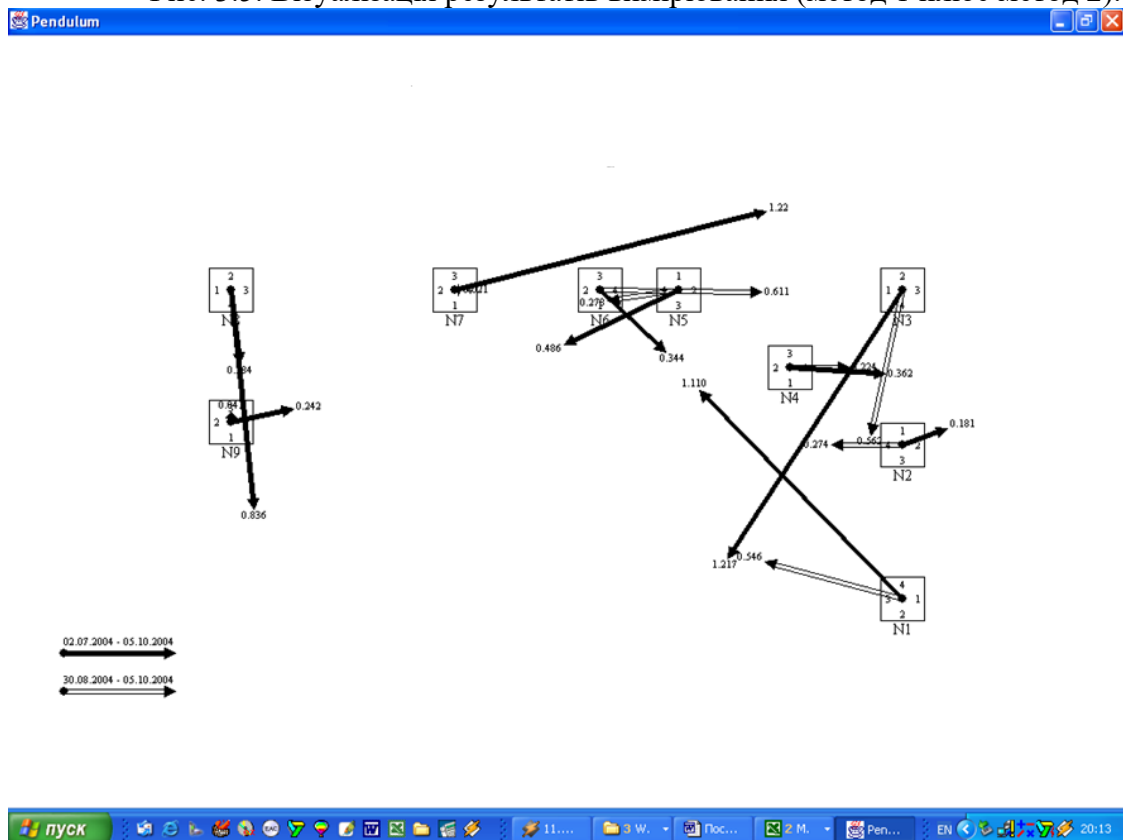
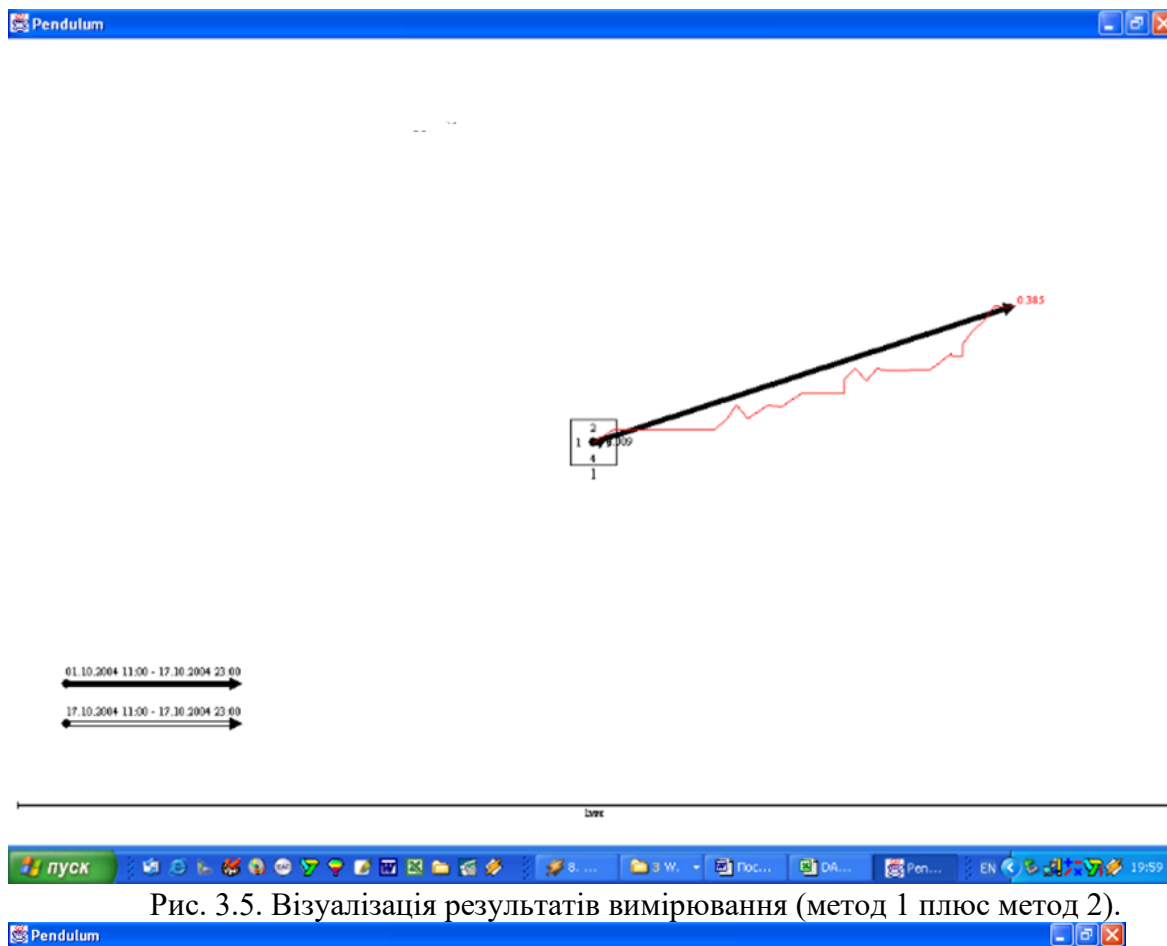
Одна чи дві зірочки в колонці задають колонку, що містить результати одного вимірювання. Перша позначена зірочкою колонка задає базове вимірювання.

Колонки, позначені двома зірочками, задають вимірювання, що використовуються для відображення за методом 1. Таких колонок має бути рівно дві. Перша задає попереднє вимірювання, друга – поточне вимірювання. Для кожного датчика програма виводить дві стрілки (рис. 3.2) – вектор переміщення від базового до поточного (суцільна стрілка) та вектор переміщення від попереднього до поточного (несуцільна стрілка).

При відображенні методом 2 використовуються всі помічені вимірювання. При цьому програма для кожного датчика виводить червону лінію, що з'єднує обчислені для кожного вимірювання положення маятника (рис. 3.3).

Натисканням клавіші F1 можна вибрати будь-який з методів або з'єднати зображення двох методів (рис. 3.5).

На лист можна виводити довільну кількість датчиків (рис 3.6) на конкретному об'єкті або кожен окремо, розміщуючи його в будь-якому зручному місці на листі. Практичний досвід показав, що, якщо кількість датчиків більша за 10, їх потрібно розміщувати по групах на кожному листі, переходячи на наступний лист клавішами Page Up – Page Down.



Програма постійно опитує Буфер Обміну і, як тільки його вміст змінюється, здійснює розрахунок та виведення інформації на екран.

Рекомендована технологія роботи така: відкрити одночасно Excel та програму Pendulum; зробити зміну в таблиці, внісши дані вимірювань; "Обрати все"; "Копіювати"; перейти в програму Pendulum – зміни будуть негайно відображені на екрані.

Щоб вивести поточну сторінку на друк, потрібно натиснути клавішу P (латинську) або З (українську).

Для перегортання сторінок – Page Up, Page Down.

Для зміни масштабу – стрілки курсору. При цьому величина стрілок векторів буде змінюватися пропорційно до величини масштабу (внизу зображення) (рис. 3.7).

Експерименти на моделі показали, що використовуваний метод розрахунку може визначати положення маятника за трьома і двома (непротилежними) котушками. Тому введено засіб для виключення котушки з розрахунку.

Для цього потрібно встановити індуктивність котушки поза допустимим діапазоном індуктивностей, наприклад 0.

Якщо натиснути клавішу F2, то програма додатково виводить на екран службову інформацію про останнє вимірювання (над датчиком) – так звану нев'язку.

Нев'язка – червоним кольором над датчиком виводиться Число, що характеризує, наскільки виміряні індуктивності узгоджені між собою. Значення від 0 до 4 можна розцінювати як похибку вимірювань (в мкГн). Якщо значення більше 4, то найімовірніше одна з індуктивностей виміряна неточно.

Якщо з розрахунку виключені дві протилежні котушки, значення нев'язки слід ігнорувати – воно завжди буде дуже близьке до нуля через відсутність "протидії" протилежних котушок.

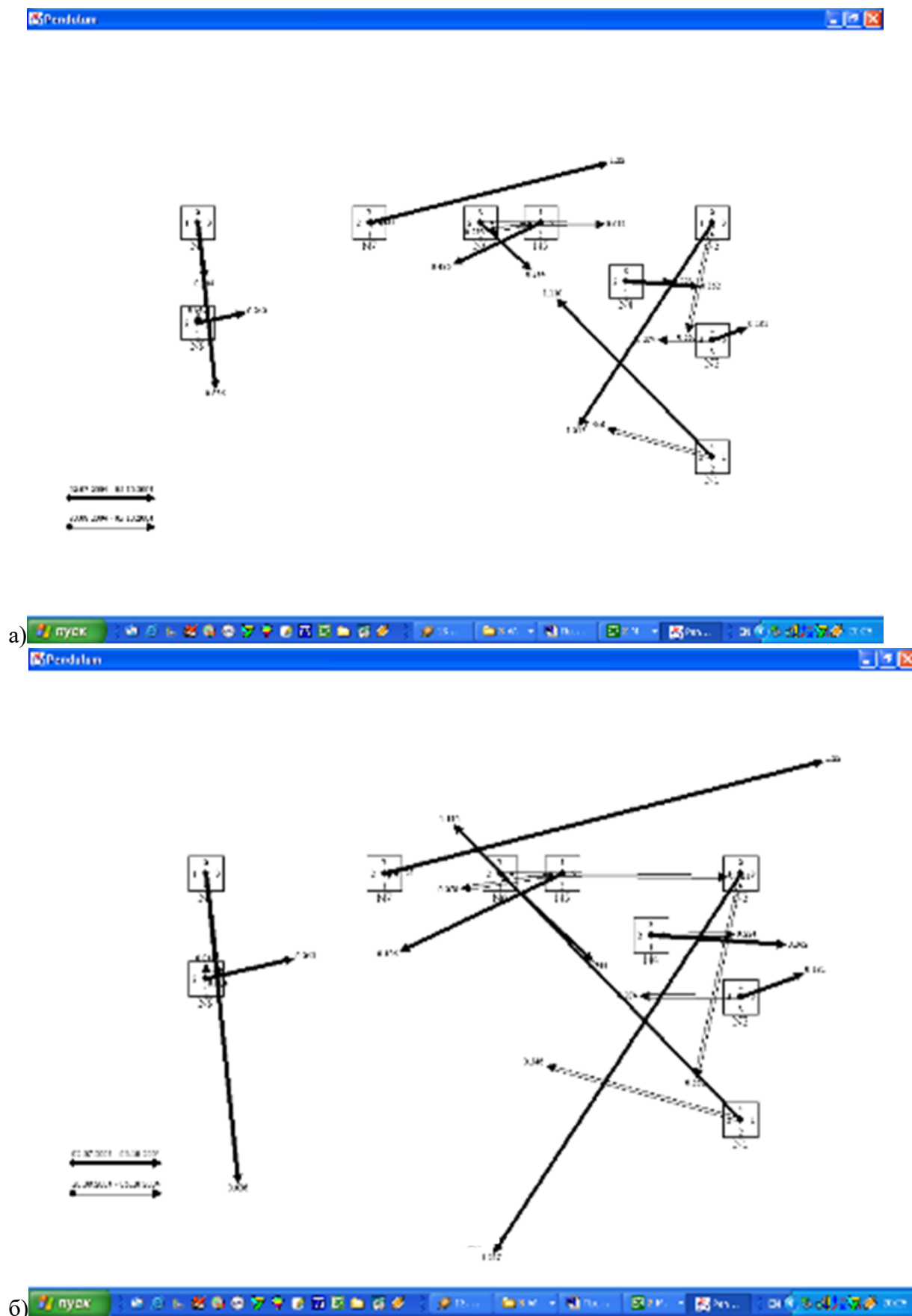


Рис. 3.7. Приклад зміни масштабу за однакових результатів вимірювань (а, б).

Якщо котушка виключена з розрахунку шляхом встановлення її індуктивності поза допустимим діапазоном, її номер виводиться синім кольором. Якщо виключених із розрахунку котушок немає, то програма проводить чотири додаткові розрахунки з послідовним виключенням кожної котушки. Якщо нев'язка при виключенні деякої котушки виходить різко меншою за середню, то номер цієї котушки виводиться червоним кольором.

3.1.2. Побудова моделі поля індуктивностей котушки

Модель поля індуктивностей – функція $L(x,y)$, значення якої – індуктивність котушки при заданому положенні (x,y) маятника. Для визначення положення маятника використовується метод, що полягає у знаходженні точки мінімуму функції-нев'язки $z(x,y)$, значення якої є сумою квадратів відхилень вимірних індуктивностей котушок від індуктивностей, які дає модель $L(x,y)$ у цій точці. Для знаходження мінімуму використовується метод якнайшвидшого спуску (за градієнтом). Тому дуже важливо, щоб модель $L(x,y)$ була за своєю природою гладкою функцією (мала неперервну першу похідну).

Система координат. Початок координат знаходиться у центрі датчика. Досліджувана котушка знаходиться в точці $(0, -(R+A))$, де $R = 7.5$ – радіус маятника, $A = 2.552683897 + 0.262425447$ – напівсторона квадрата – робочої зони датчика. Для побудови моделі було представлено понад 1300 вимірних значень індуктивності котушки за різних положень маятника. Ці дані містяться у файлі `model.data`. У цьому файлі рядок "#цифра" задає початок групи точок, розташованих на прямій, що проходить через початок координат під кутом $\langle \text{цифра} \rangle * 10$ градусів до осі абсцис. Далі в цьому файлі в першій колонці – індуктивність, у другій колонці – відстань від початку координат (негативні значення – у бік котушки, позитивні – у бік від котушки).

Для кожної групи точок даного напрямку за методом найменших квадратів був побудований апроксимуючий поліном. Далі шляхом лінійної інтерполяції значень апроксимуючих поліномів по дугах кіл з центром на початку координат було побудовано приблизне схематичне зображення поля індуктивностей. Точками показані вихідні точки тарувальної таблиці. Індуктивність кодується кольором (рис. 3.8).

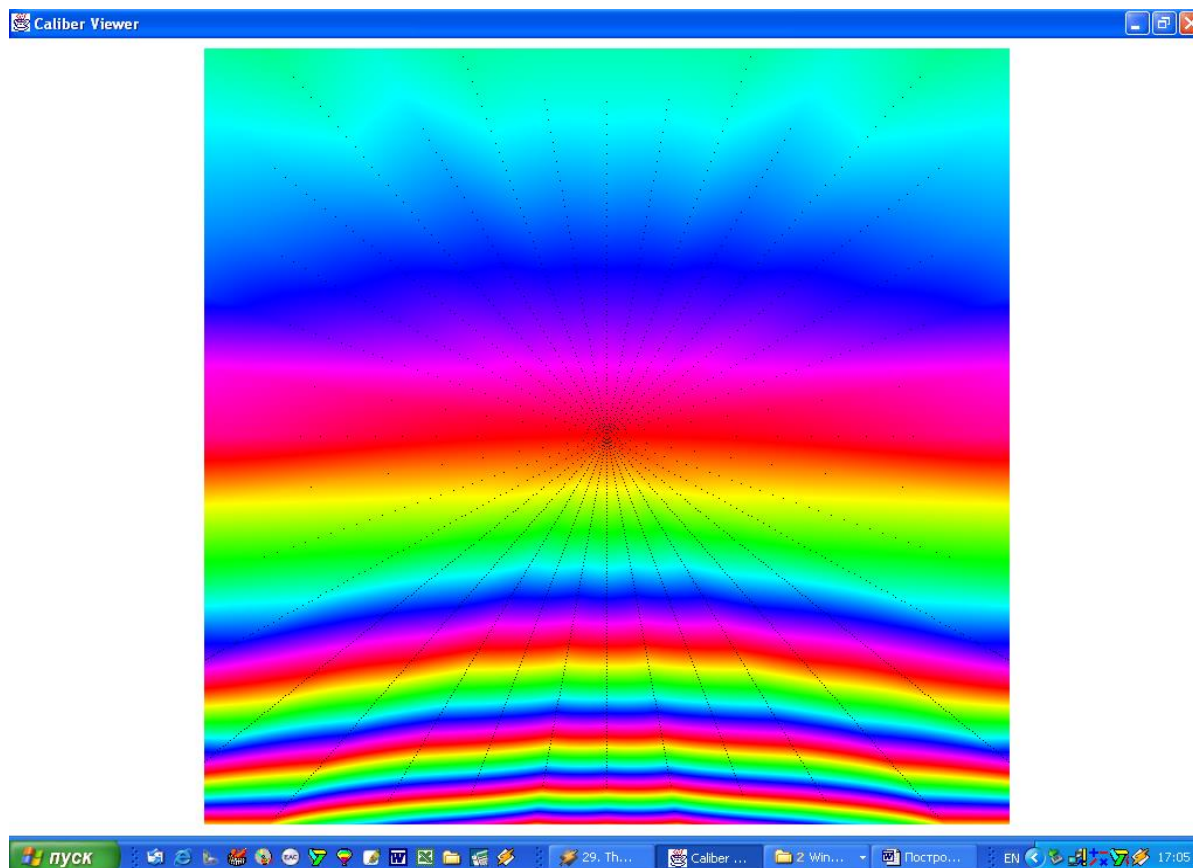


Рис. 3.8. Схематичне зображення поля індуктивностей (модель).

Аналіз цього зображення (рис. 3.8) дозволив припустити, що модель близька до концентричної з центром в котушці. Тобто точки з однаковою індуктивністю розташовуються приблизно на одному колі (рис. 3.9). Для перевірки цієї гіпотези було побудовано сімейство кривих – залежність лінійно-інтерпольованої індуктивності від кута відхилення точки від осі ординат за різних значень відстані до котушки (рис. 3.10).

По осі абсцис – кут відхилення точки від осі ординат. По осі ординат – лінійно-інтерпольована індуктивність. Відстань до котушки кодується кольором. Аналіз цього сімейства кривих показав, що модель помітно відхиляється від концентричної в зоні великих кутів і малих відстаней від котушки (рис. 3.11).

Тому було вирішено прийняти концентричну модель із поправкою:

$r = \sqrt{x^2 + (y+R+A)^2}$ – відстань до котушки

$f = \pi/2 - \text{atan}((y+R+A)/|x|)$ – кут відхилення від осі ординат

$f_0 = k_1 \cdot (r-R)$ – кут, починаючи з якого включається поправка:

якщо $f < f_0$, то $L = L_0(r)$, інакше $L = L_0(r) + k_2 \cdot (f-f_0)^{k_3}$.

Тут $L_0(r)$ – значення індуктивності в точці, що лежить на осі ординат на тій самій відстані від котушки, що й ця точка.

Коефіцієнти k_1 , k_2 , k_3 підбиралися таким чином, щоб мінімізувати сумарну розбіжність між вимірними значеннями індуктивностей та індуктивностями, які в тих самих точках дає модель (для мінімізації також використовувався метод градієнтного спуску).

В результаті середня розбіжність між вимірними та модельними індуктивностями склала 1.053 мкГн, що відповідає точності вимірювання індуктивності (рис. 3.12).

Аналіз даних проведено з деяким запасом за площею вимірюваного поля індуктивності. Зони слабкої чутливості котушок лежать поза квадратом та ігноруються при визначенні величини зміщення маятника (рис. 3.13). При цьому виводиться напис «Значення поза полем таблиці тарування». Якщо взяти до уваги конструкцію датчика, то фізичне поле при взаємодії циліндричного маятника і 4-х котушок індуктивності набуде вигляду кола, а отже, реально вимірюване поле буде таким, як показано на рис. 3.14.

Зрозуміло, що при цьому точність розрахунків зростає і поле індуктивностей за побудованою моделлю практично повністю збігається з полем лінійно-інтерпольованих індуктивностей.

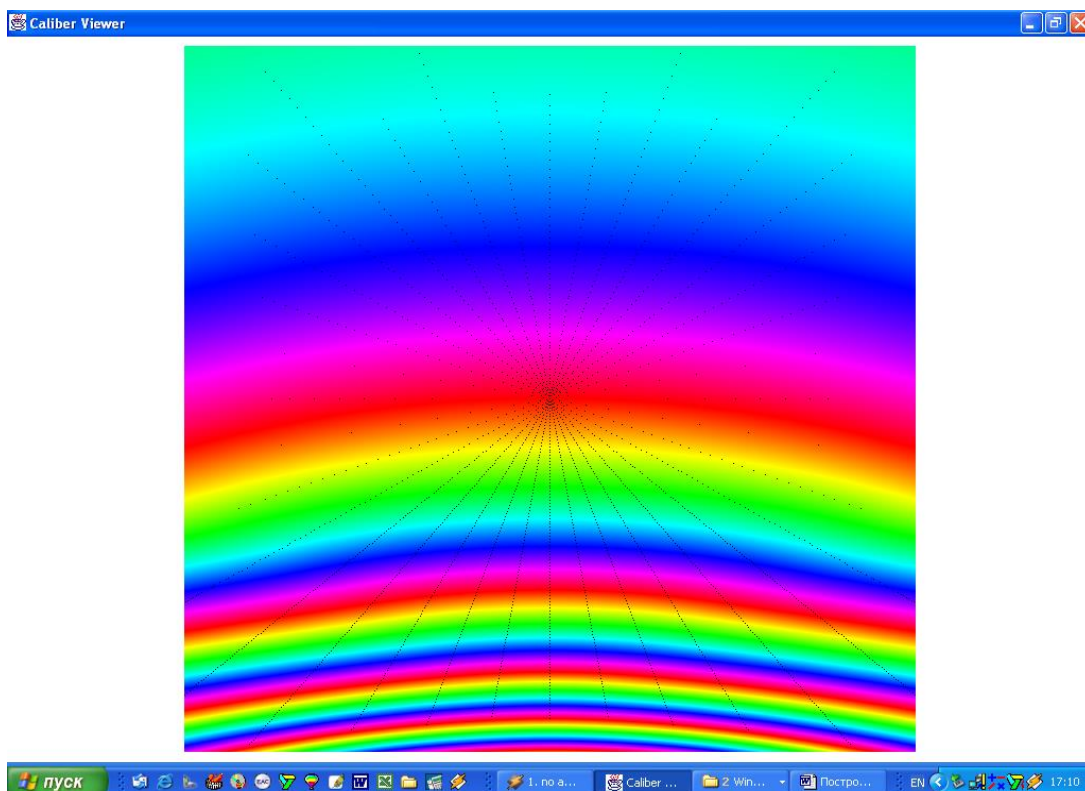


Рис. 3.9. Поле індуктивності за побудованою моделлю.

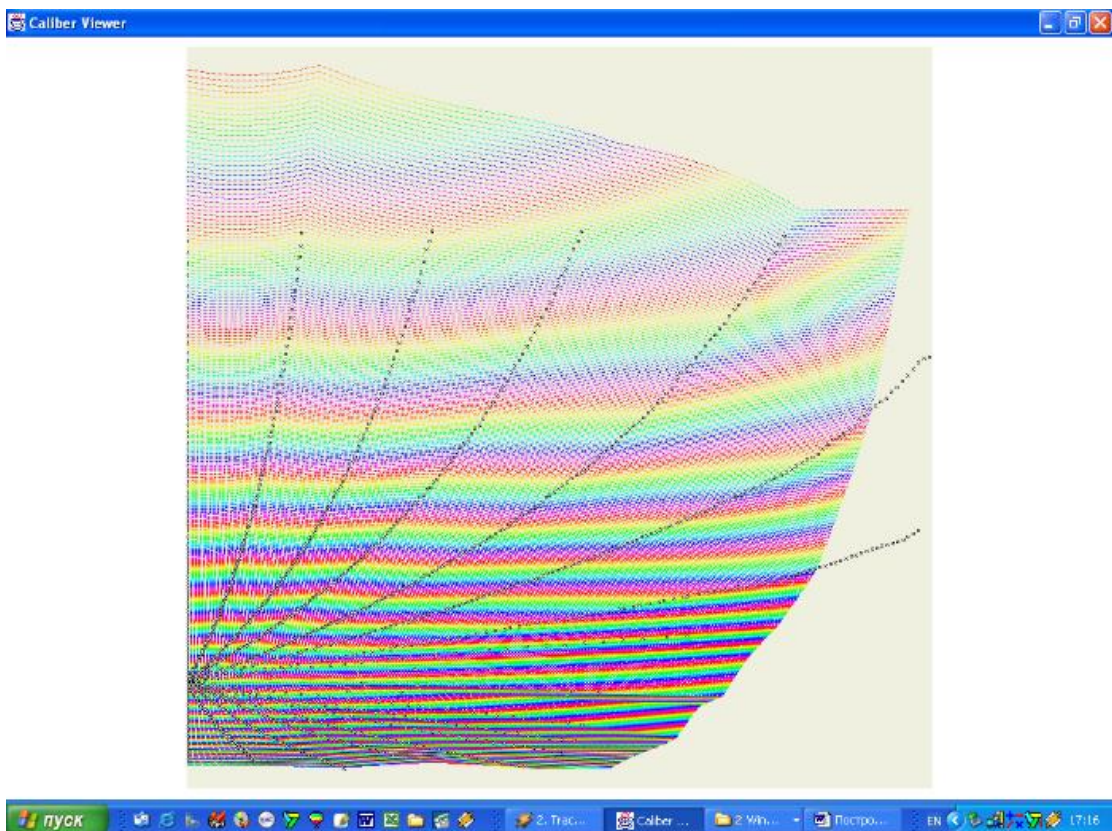


Рис. 3.10. Сімейство кривих залежностей лінійно-інтерпольованої індуктивності від кута відхилення точки від осі, яку дає побудована модель.

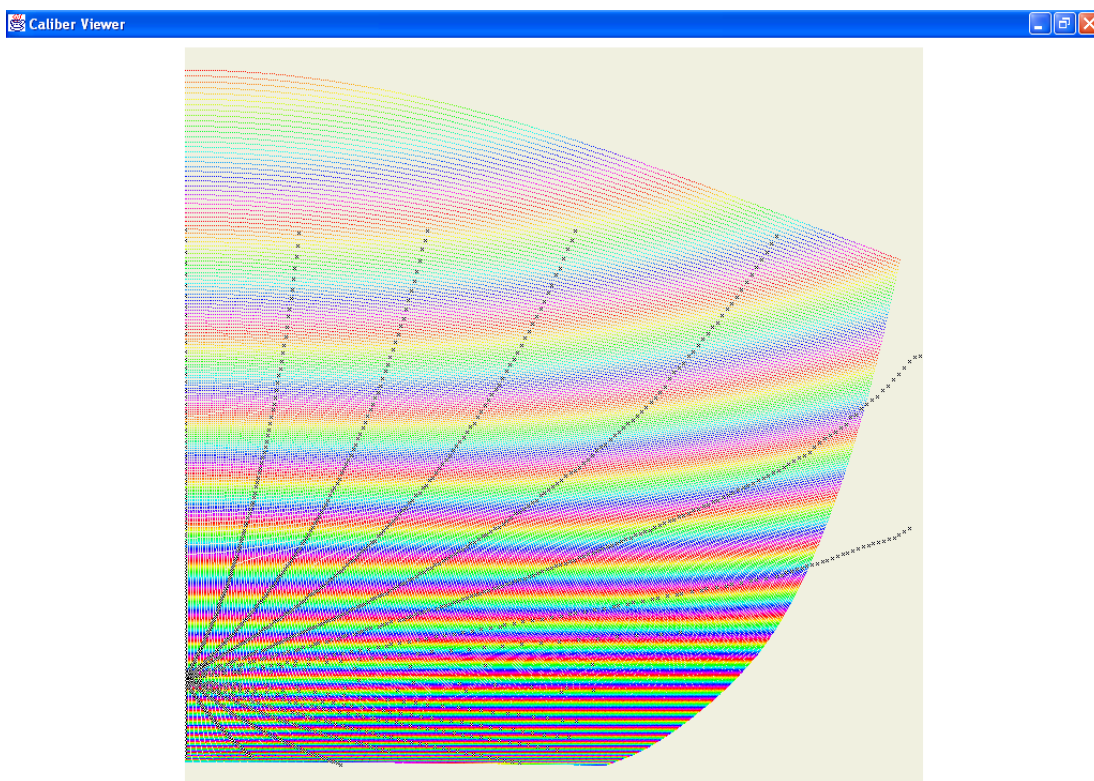


Рис. 3.11. Сімейство кривих – залежність індуктивності ординат за різних значень відстані до котушки.

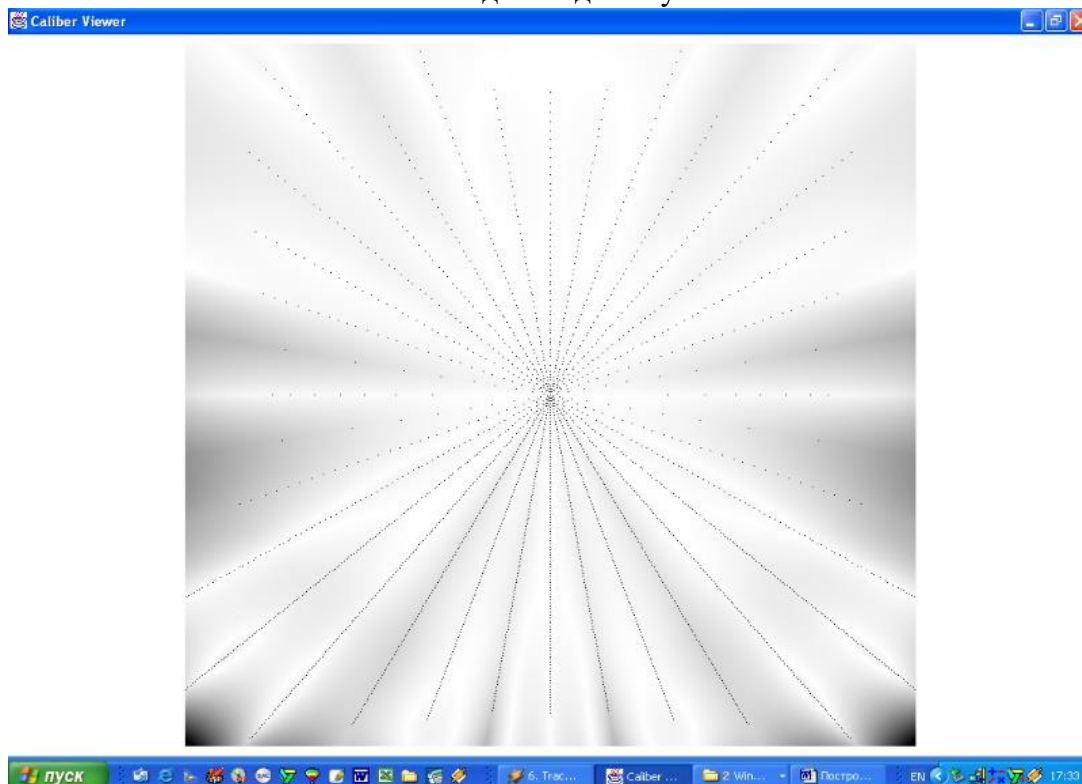


Рис. 3.12. Різниця між лінійно-інтерпольованими індуктивностями та моделлю.

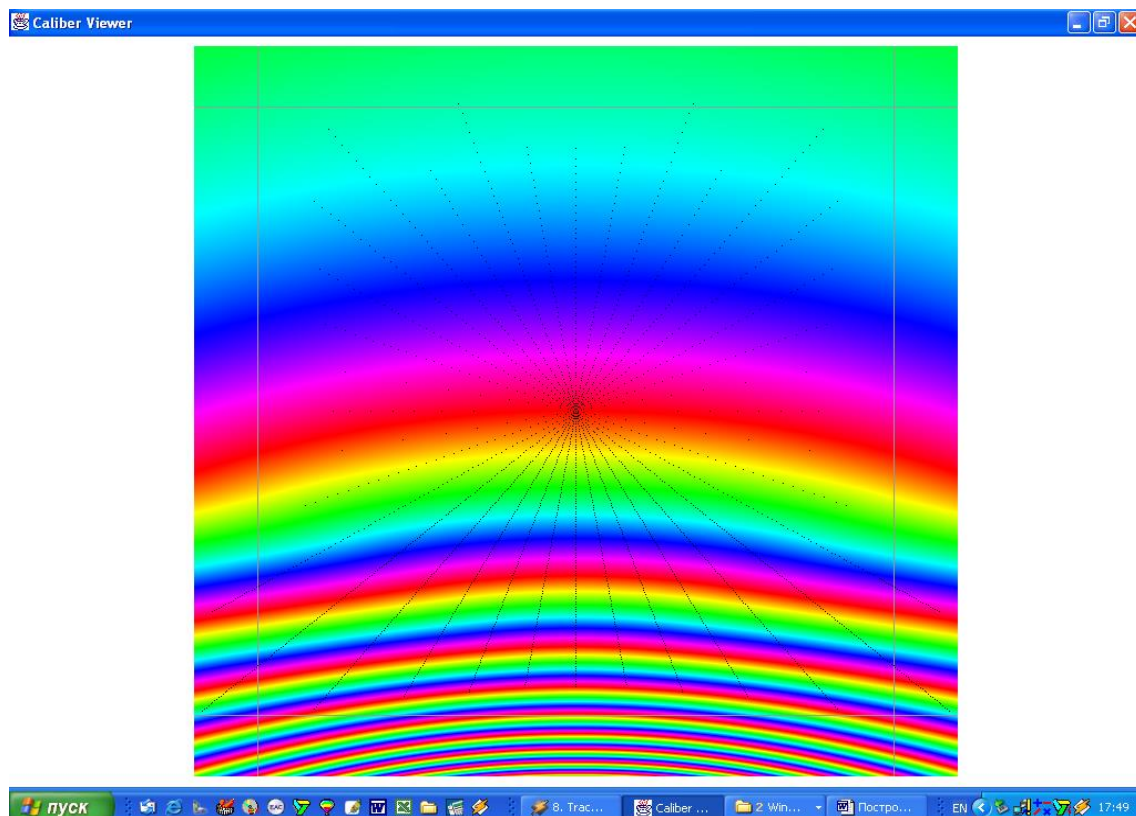


Рис. 3.13. Розрахункове поле індуктивності (всередині квадрата) за побудованою моделлю.

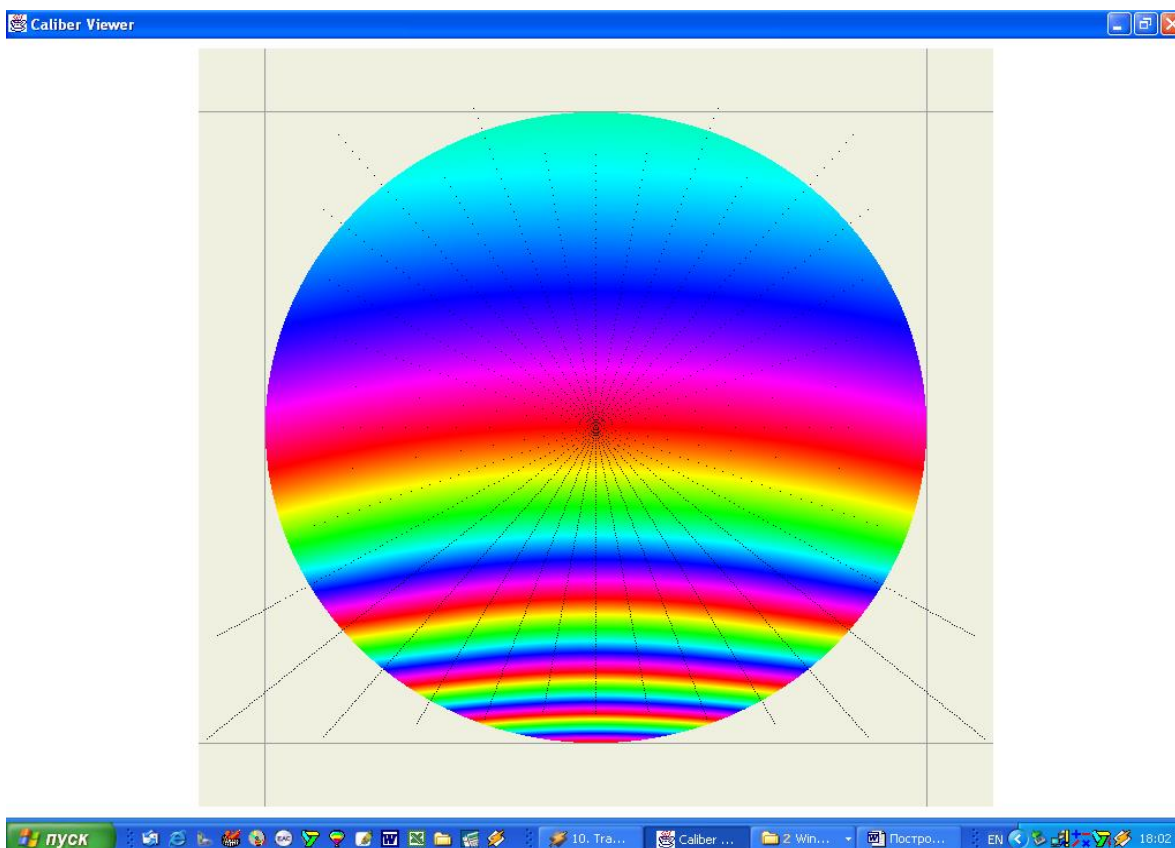


Рис. 3.14. Реально вимірюване поле індуктивностей за побудованою моделлю.

Для зручності користування програмою та виведення інформації на друк, усі зображення можна масштабувати, користуючись курсором (стрілки «вгору – вниз»). Порівняння моделей проводиться клавішами Page Up, Page Down, що дозволяє візуально оцінити отримані результати.

Нижче наведено таблицю 3.1 розбіжностей вимірних значень індуктивності та моделі (для зміщення маятника під кутами 0° і 10°). Тут 1 колонка представляє відстань до центру датчика; колонки 2-4 – вказують вимірюване значення індуктивності; 5 колонка – квадрант, де знаходиться точка; 6 колонка – виміряне значення індуктивності; 7 колонка – значення апроксимуючого полінома (зірочками позначені точки з відхиленням більше одиниці); 8 колонка – значення індуктивності за моделлю; 9 колонка – відхилення між моделлю та вимірною індуктивністю (виводиться, якщо більше одиниці), XXX – немає значень.

Таблиця 3.1.

Розбіжність моделі та вимірної індуктивності

1	2	3	4	5	6	7	8	9
-2.147	1693.000	1693.054	1692.394	-2.099	1710.000	*1712.383	1706.056	3.944
-2.004	1694.000	1693.893	1693.326	-1.551	1709.000	1709.259	1706.131	2.869
-1.813	1695.000	1695.010	1694.492	-1.169	1708.000	1707.087	1705.471	2.529
-1.622	1696.000	1696.064	1695.566	-0.883	1707.000	*1705.457	1704.604	2.396
-1.431	1697.000	1697.011	1696.540	-0.620	1706.000	*1703.963	1703.543	2.457
-1.193	1698.000	1698.011	1697.607	-0.453	1705.000	*1703.012	1702.742	2.258
-0.907	1699.000	1698.926	1698.652	-0.286	1704.000	*1702.062	1701.849	2.151
0.000	1700.000	1700.061	1700.116	-0.167	1703.000	*1701.383	1701.156	1.844
0.907	1699.000	1698.926	1698.652	-0.072	1702.000	*1700.840	1700.572	1.428
1.193	1698.000	1698.011	1697.607	-0.024	1701.000	1700.568	1700.270	XXX
1.431	1697.000	1697.011	1696.540	0.000	1700.000	1700.061	1700.116	XXX
1.622	1696.000	1696.064	1695.566	0.048	1699.000	*1700.160	1699.804	XXX
1.813	1695.000	1695.010	1694.492	0.143	1698.000	*1699.617	1699.161	1.161
2.004	1694.000	1693.893	1693.326	0.262	1697.000	*1698.938	1698.324	1.324
2.147	1693.000	1693.054	1692.394	0.429	1696.000	*1697.988	1697.093	1.093
0.596	1695.000	XXX	XXX	XXX	XXX	*1697.037	1695.797	XXX
0.859	1694.000	XXX	XXX	XXX	XXX	*1695.543	1693.646	XXX
1.145	1693.000	XXX	XXX	XXX	XXX	1693.913	1691.160	1.840
1.527	1692.000	XXX	XXX	XXX	XXX	1691.740	1687.668	4.332

Аналіз всіх вимірних значень, включно з областю поза розрахунковим полем, (рис. 3.15) показав, що середня розбіжність у розрахунку на одну точку становить 1,053.

Якщо виключити з розгляду точки, що лежать поза колом радіусу A , можна побудувати модель із середньою розбіжністю 0.960. Однак, враховуючи відносно невелике збільшення близькості моделі до вимірних даних, було вирішено залишити трохи гіршу модель, але яка покриває весь квадрат.

3.2. Інформаційно-вимірювальна система «Моніторинг»

3.2.1. Опис системи

Автоматизована інформаційно-вимірювальна система «Моніторинг» призначена для контролю напрямів та кутів нахилу будівельних об'єктів та їх елементів в онлайн-режимі для забезпечення безаварійної ліквідації наднормативних кренів ББ. Виконана на основі індуктивних перетворювачів та підтримує дистанційне знімання, обробку та передачу інформації з чутливих елементів.

Технічні засоби, що входять до ІВМС, представлені на рис. 3.15:

- пристрої вимірювання кутових деформацій (УІД) та розкриття тріщин;
- вимірювач індуктивності;
- блок збору та передачі інформації;
- лінії зв'язку.

Інформація передається мережами мобільного зв'язку у вигляді SMS-повідомлень або через Інтернет на скриньку електронної пошти з подальшою обробкою на комп'ютері. Система працює в автоматичному режимі з можливістю програмування періоду увімкнення. Робота здійснюється від мережі ~ 220 В, система оснащена безперебійним блоком живлення (1000 год – черговий режим,

48 год – режим вимірювання). Автоматично кожні 12 годин здійснюється перевірка заряду акумулятора мобільного телефону та тестування всієї системи, контролюється також хід часу та календаря.

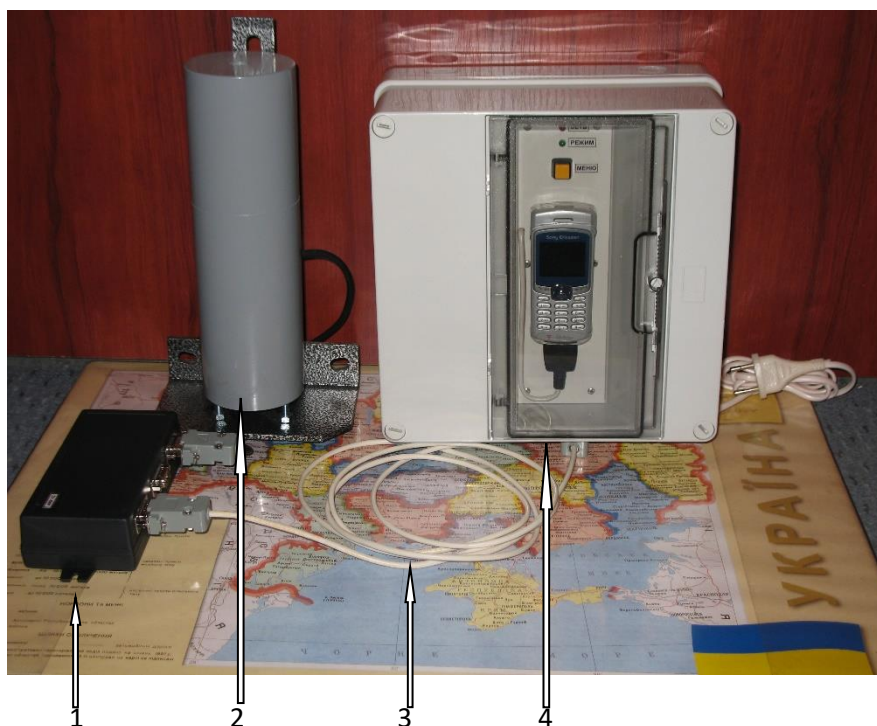


Рис. 3.15. Технічні засоби, що входять до ІВМС-системи. 1 – універсальний індуктивний датчик; 2 – датчик розкриття тріщин; 3 – вимірювач індуктивності; 4 – блок збору та передачі інформації; 5 – лінії зв'язку.

Після опитування датчиків (час вимірювання 99 датчиків – 12 сек) система переходить у режим енергозбереження. У процесі роботи над системою розроблено оригінальний вимірювач індуктивності, встановлений у датчиках. Чутливість вимірювача – до 0,5 мкГн при похибці вимірювань у всьому використовуваному діапазоні 0,2%. При цьому точність вимірювань зміщення становить 0,001 мм, а розрахункова похибка визначення крену становить 0,05%.

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

Блок збору інформації забезпечує такі функції:

- Забезпечує живлення системи від мережі ~ 220 В або вбудованого акумулятора.
- Забезпечує заряд акумулятора безперебійного блоку живлення.
- Забезпечує живлення датчиків по лінії зв'язку.
- Збирає інформацію від датчиків.
- Забезпечує заряд акумулятора мобільного телефону.
- Керує роботою мобільного телефону під час 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 220 В.
- Блок збирання інформації підключається до лінії зв'язку через роз'єм DB9.

Опис призначення контактів і роз'ємів блоку збору інформації показано на рис. 3.16 та рис. 3.17.

Лінія зв'язку складається з чотирьох дротів, якими забезпечується живлення датчиків і обмін даними між датчиками та Блоком збору інформації. Довжина лінії зв'язку може перевищувати 100 м (рис. 3.19).

Робота ІВМС. Після налаштування та запуску ІВМС вона працює таким чином:

1. ІВМС знаходиться в режимі енергозбереження.
 - Лінія зв'язку знеструмлена, датчики знаходяться у вимкненому стані.
 - Мобільний телефон вимкнено.
 - Кожні 12 годин перевіряється заряд акумулятора мобільного телефону і за потреби вмикається заряджання.
 - За наявності мережі ~ 220 В виконується заряд акумулятора безперебійного блоку живлення.
 - Контролюється перебіг часу та календаря.

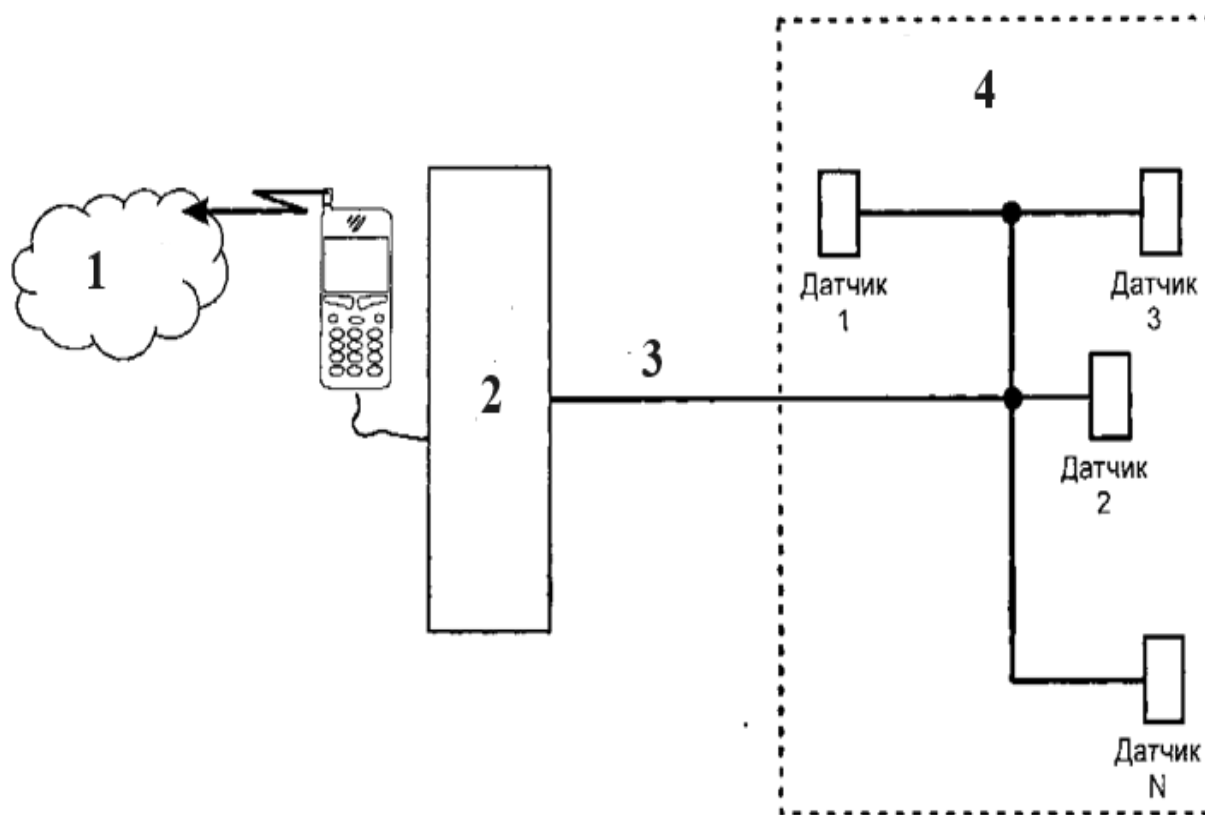


Рис. 3.16. Опис системи. На рисунку: 1 – інтернет (e-mail); 2 – блок збору інформації; 3 – лінія зв'язку; 4 – об'єкт вимірювання.

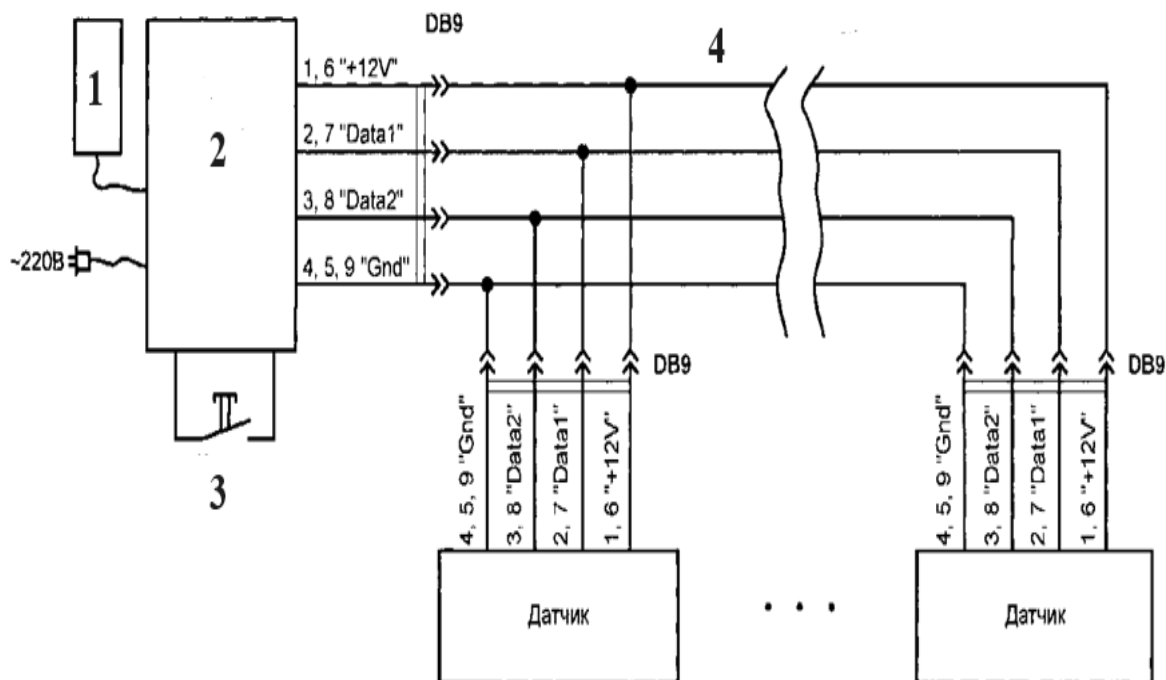


Рис. 3.17. Опис призначення контактів та роз'ємів блоків збору інформації. На рисунку: 1 – мобільний телефон; 2 – блок збору інформації; 3 – кнопка-вмикач; 4 – лінії зв'язку.

2. При настанні моменту вимірювання:

- ІВМС подає живлення на лінію зв'язку*.
- Послідовно опитуються датчики.
- Після опитування всіх датчиків лінія зв'язку знеструмлюється.
- ІВМС вмикає мобільний телефон та передає результати вимірювань.

Мобільний телефон вмикається, ІВМС переходить у режим енергозбереження до наступного моменту вимірювання. При виявленні перевантаження живлення лінії зв'язку, автоматично відбувається відправлення повідомлення про аварію *"Interface failure! Can't access to sensors"*. ІВМС переходить у режим енергозбереження до наступного моменту вимірювання.

Структура повідомлень, що надсилаються. Для надсилання повідомлень система використовує службу коротких повідомлень – SMS. За стандартом в одному SMS може бути передано не більше 160 символів. Тому система може передати в кожному повідомленні інформацію про 4 датчики. Розбиття всієї інформації на SMS відбувається автоматично.

Приклад повідомлення:

Рядок	Довжина рядка (+1 символ нового рядка)	Опис
E-mail@e-mail	32	Адреса електронної пошти
23.03.04 11	11	Дата та час відправки
02/04	5	Номер повідомлення / загальна кількість повідомлень
05 : 16505 , 16501 , 16502 , 16503	26	Номер датчика: значення індуктивностей L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄
06 : 16505 , 16501 , 16502 , 16503	26	Номер датчика: значення індуктивностей L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄
07 : 16505 , 16501 , 16502 , 16503	26	Номер датчика: значення індуктивностей L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄
08 : 16505 , 16501 , 16502 , 16503	26	Номер датчика: значення індуктивностей L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄

У повідомленні можуть бути такі значення індуктивностей:

Значення	Опис
-----	"Прочерки" – датчик не дав відповіді
00000	Замикання відповідної котушки
99999	Обрив відповідної котушки
16515	Інші числа – індуктивність котушки в мкГн x 10, тобто у прикладі 1651,5 мкГн

3.2.2. Структурна схема ІВМС

На рис. 3.18 зображена структурна схема ІВМС.

Датчики кутових деформацій. Кожен датчик забезпечує такі функції:

- Здійснює вимірювання 4-х індуктивностей за командою від Блоку збору інформації.
- Здійснює попередню обробку виміряних даних.
- Здійснює передачу результатів по лінії зв'язку за командою від Блоку збору інформації.
- У паузах між вимірюваннями переходить у режим енергозбереження.

Датчик підключається до лінії зв'язку через роз'єм DB9. Призначення контактів роз'єму показано на рисунку 4. Усі датчики підключаються до лінії зв'язку паралельно.

3.2.3. Принцип дії вимірювача індуктивності

До структурної схеми вимірювача індуктивності (рис. 3.19) входять:

Мікроконтролер, що забезпечує генерацію тестового сигналу для вимірювання індуктивності, управління всіма комутаційними вузлами, математичну обробку отриманих даних і обробку сигналів інтерфейсу;

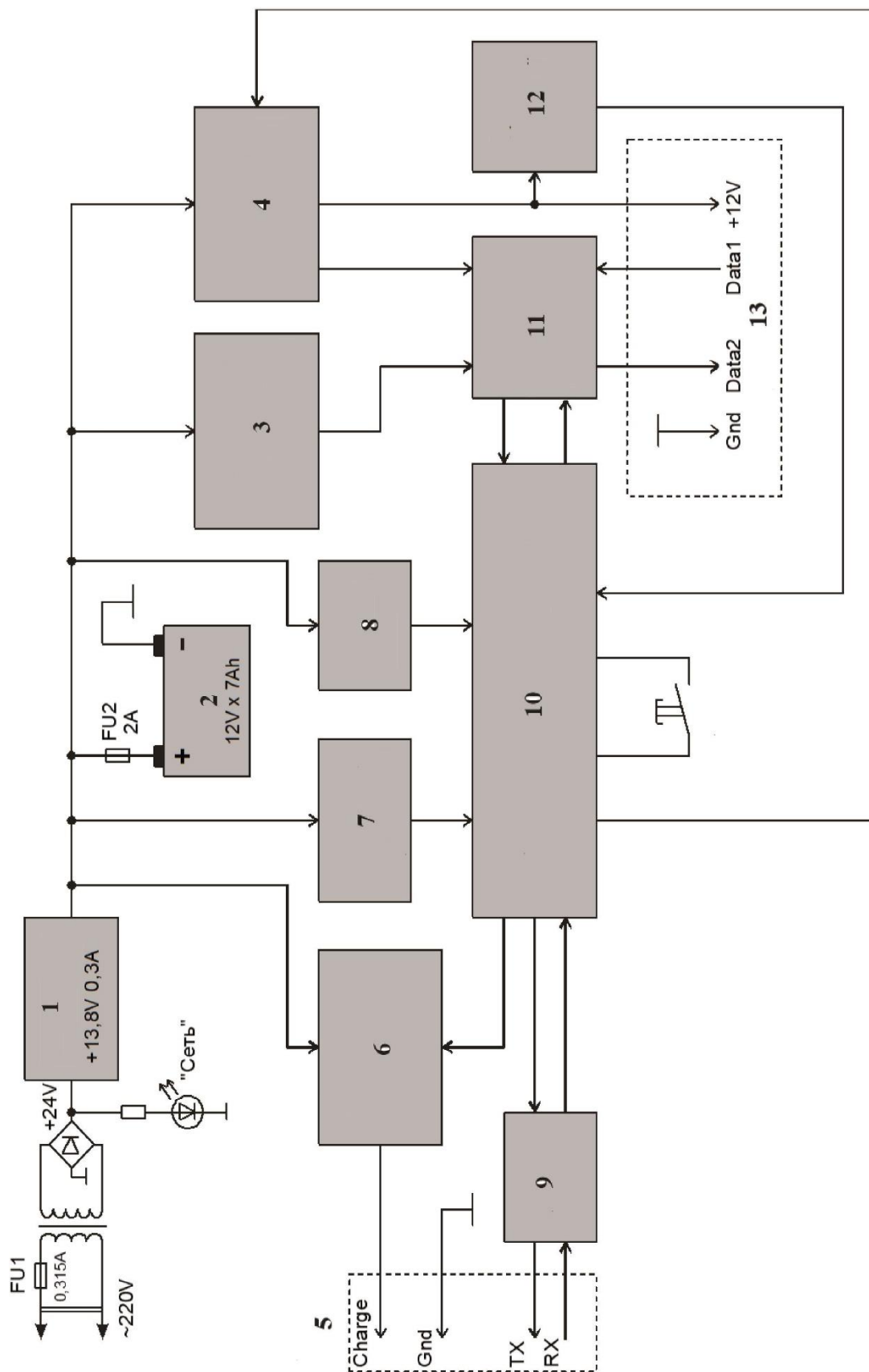


Рис. 3.18. Структурна схема ІВМС. На рисунку: 1 – імпульсний стабілізатор +13,8 V 0,3 A; 2 – акумулятор 12 Vx7Ah; 3 – імпульсний перетворювач для інтерфейсу; 4 – комутагатор живлення інтерфейсу із захистом струму; 6 – імпульсний перетворювач зарядного струму мобільного телефону; 7 – датчик напруги на акумуляторі; 8 – блок живлення процесора; 9 – перетворювач рівнів; 10 – мікроконтролер; 11 – формувач сигналів інтерфейсу; 12 – датчик напруги на інтерфейсі; 13 – інтерфейс.

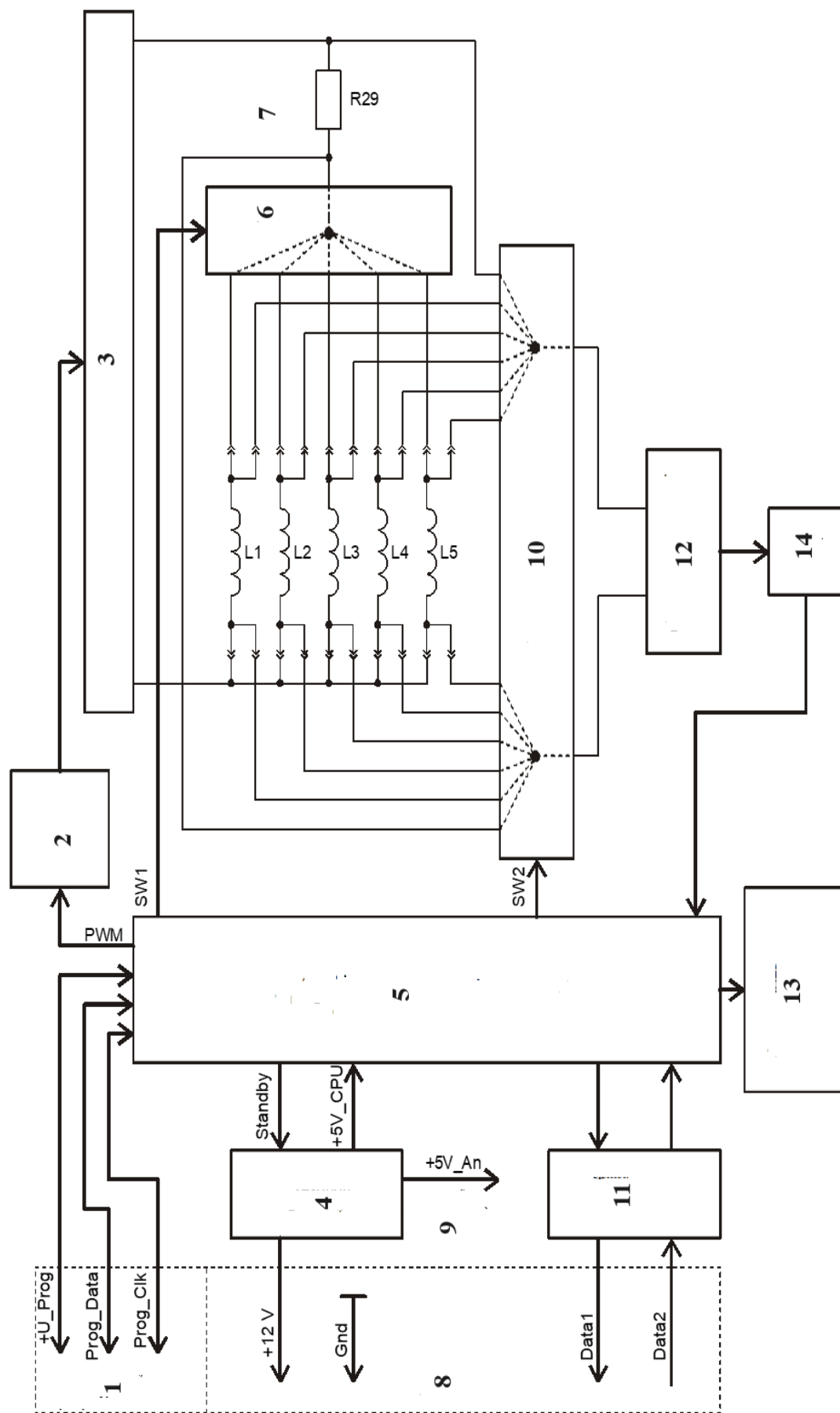


Рис. 3.19. Структурна схема вимірювача індуктивності. На рисунку: 1 – сигнали програмування; 2 – фільтр низьких частот; 3 – перетворювач напруга – струм; 4 – кероване джерело живлення; 5 – мікроконтролер; 6 – комутатор 1; 7 – зразковий резистор; 8 – інтерфейс; 9 – живлення аналогової частини; 10 – комутатор 2; 11 – формувач сигналів інтерфейсу; 12 – буферний підсилювач; 13 – формувач негативної напруги; 14 – аналого-цифровий перетворювач.

ФНЧ, призначений для виділення основної гармоніки тестового сигналу з широтно-імпульсно модульованого сигналу, що видається мікроконтролером;

Перетворювач напруга – струм, що забезпечує перетворення напруги тестового сигналу в струм вимірювання;

Комутатор 1, призначений для комутації струму вимірювання на відповідну котушку;

Комутатор 2, призначений для комутації АЦП до вимірюваної напруги;

Буферний підсилювач, призначений для запобігання впливу вхідного опору АЦП на напругу, що вимірюється;

АЦП (аналогово-цифровий перетворювач), призначений для перетворення вимірюваної напруги на цифровий код;

Формувач негативної напруги, що формує негативну напругу, необхідну для нормальної роботи комутаторів;

Формувач сигналів інтерфейсу, що забезпечує узгодження рівнів сигналів інтерфейсу з рівнями сигналів мікроконтролера;

Кероване джерело живлення, що забезпечує живлення всіх блоків приладу з можливістю переходу в режим зниженого споживання енергії.

В якості мікроконтролера (DD1) у приладі використаний RISC-контролер PIC18F252 виробництва фірми Microchip, що забезпечує продуктивність 10 MIPS (мільйонів інструкцій на секунду). Широтно-імпульсно модульований сигнал з мікроконтролера, що має частоту дискретизації 50 кГц, надходить на ФНЧ п'ятого порядку зі зрізом на частоті порядку 2,5 кГц і забезпечує виділення тестового сигналу, що має частоту 2 кГц. Фільтр реалізований на елементах R16, R17, R21, R23, R28, R30, C18, C23, C25, C29, C31, DA4.1, DA6. Після фільтрації тестовий сигнал через розділовий конденсатор C28 надходить на перетворювач напруга – струм, реалізований на елементах R24-R27, R29, R31-R35, C26, C27, DA5, DA8.

Вихідний струм перетворювача через зразковий резистор R29 надходить на вхід комутатора 1, реалізованого на мікросхемі DD2, і після відповідної комутації

надходить на вимірювану котушку. Напруга з резистора і вимірюваної індуктивності за допомогою комутатора 2, реалізованого на елементах DD3, DD4, після відповідної комутації подається на вхід буферного підсилювача з високим вхідним опором. Буферний підсилювач реалізовано на мікросхемі DA7. Сигнал з виходу буферного підсилювача через інтегровальний ланцюжок R36, R37, C34 надходить на вхід АЦП (DA3), дані з якого за послідовним SPI-інтерфейсом надходять для обробки в мікроконтролер.

Формувач негативної напруги являє собою амплітудний детектор на елементах R18, R19, C16, C17, C19, C21, VD3, VD4 і забезпечує напругу 4,5 В, необхідну для нормальної роботи мікросхем комутаторів.

Обмін даними між платою вимірювача та блоком збору інформації здійснюється за дуплексним асинхронним послідовним інтерфейсом, аналогічним RS-232 (відмінність тільки в рівнях сигналів). Обмін даними проводиться на швидкості 1024 біти за секунду. Сигнали, що надходять від блоку збору інформації (XS1.3), узгоджуються з рівнями мікроконтролера за допомогою резистивного дільника R7, R13, зашунтованого конденсатором C12 для усунення імпульсних перешкод. Дані мікроконтролера перетворюються на сигнал інтерфейсу за допомогою керованого джерела струму, реалізованого на елементах R9, R10, VT1. Паралельно джерелу струму підключено захисний ланцюг R8, VD2.

Живлення всіх елементів схеми здійснюється від інтерфейсу через стабілізатори напруги DA1, DA2, що володіють зниженим споживанням і мають входи управління, що дозволяє знеструмити більшу частину схеми на час перебування в черговому режимі. Паралельно лінії живлення (XS1.5, XS1.6) підключено захисний ланцюжок R11, VD1. Для нормальної роботи аналогових мікросхем від однополярного живлення створюється потенціал аналогової землі, що дорівнює половині живлення (+2,5 В) на елементах R14, R15, R20, C15, C22, DA4.2.

3.3. Автоматична обробка результатів вимірювань датчиків ІТДББ та її точність

3.3.1. Автоматична обробка результатів вимірювань датчиків ІТДББ

Для підвищення точності вимірювань у приладі реалізовано такі підходи:

- проводиться прогрів перед початком вимірювання (близько 75% від усього часу вимірювання);
- здійснюється усереднення результатів 9 вимірювань;
- проводиться нормування результатів вимірювань по вимірній індуктивності зразкової котушки (L5).

Застосування нормування обумовлено тим, що індуктивність котушок з феромагнітними осерддями значною мірою залежить від величини струму через котушку через нелінійність кривої намагнічування феромагнетиків. Застосування зразкової котушки також покликане компенсувати температурну залежність як властивостей вимірюваних котушок, так і властивостей елементів схеми. Для правильної та максимальної компенсації нестабільності властивостей необхідно, щоб «зразкова котушка» була такого ж типу, як і вимірювані.

Вимірювач передає блоку збору інформації як нормовані, так і ненормовані результати вимірювання, що дозволяє проконтролювати правильність нормування (див. Інструкцію з експлуатації).

3.3.2. Точність результатів

Для моделі, оптимізованої по всіх точках всередині квадрата, середня розбіжність по всіх точках всередині квадрата – 1.053. Середня розбіжність по всіх точках усередині кола – 1.009

Для моделі, оптимізованої по всіх точках усередині кола, середня розбіжність по всіх точках усередині 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 усередині кола – 1.18.

3.4. Автоматичний пристрій для контролю параметрів розрахункової моделі та ідентифікації НДС ББ в ґрунтовій основі

Основними контрольованими параметрами для розрахункової моделі є:

- товщина ґрунтової стінки між фундаментом та котлованом, глибина котловану;
- глибина закладення, діаметр, крок циліндричних свердловин;
- характер зміни технологічних осідань і крену фундаменту;
- коефіцієнт ідентифікації ґрунтової основи, що підробляється;
- величина випору ґрунту в зоні стрічкового фундаменту.

Для моніторингу вищезазначених параметрів розроблена структурна схема їх автоматизованого контролю (рис. 3.20).

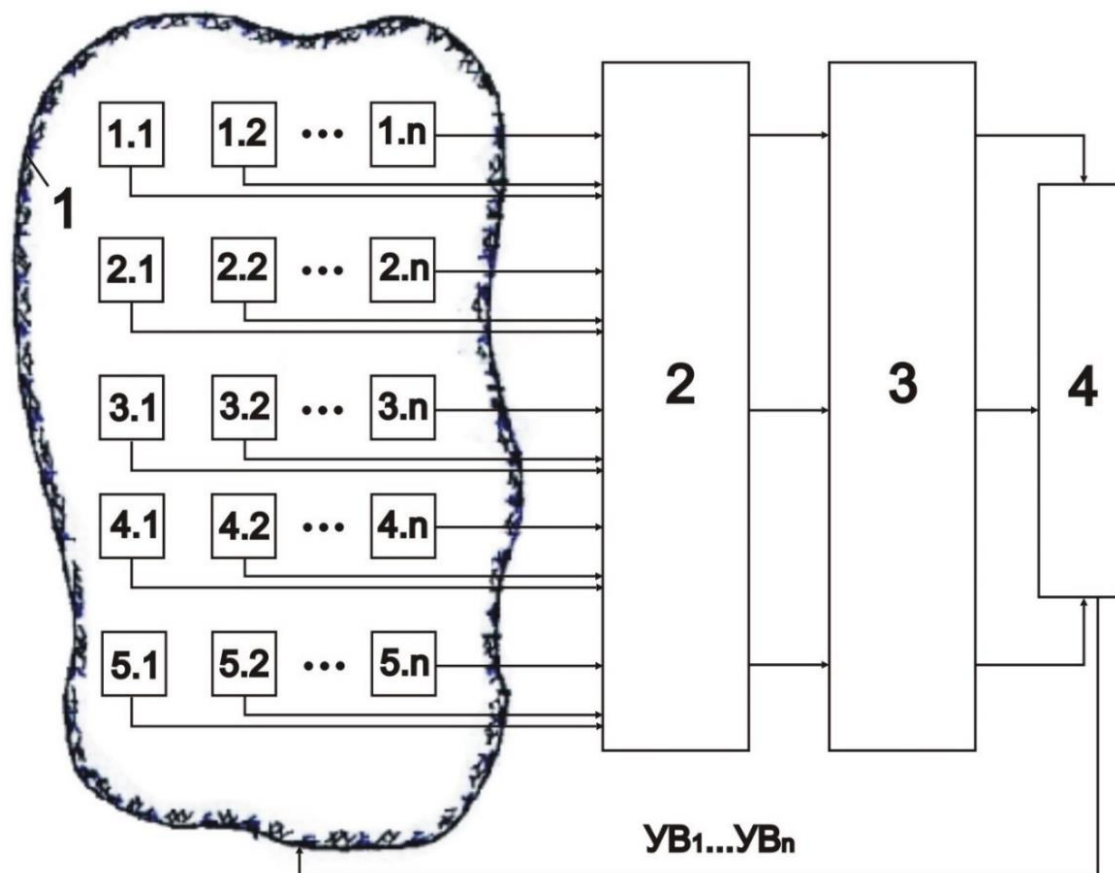


Рис. 3.20. Структурна схема автоматичного пристрою для контролю параметрів розрахункової моделі та ідентифікації характеру НДС у ґрунтовій основі включає: 1 – будівлю з креном; 2 – блок вимірювання та обробки сигналів; 3 – блок розрахунку геометричних, фізико-механічних параметрів ґрунтової основи та її ідентифікації за напружено-деформованим станом; 4 – блок формування керуючих впливів $УВ_1...УВ_n$ для корекції технологічного процесу усунення нахилу; 1.1...1.n; 2.1...2.n; 3.1...3.n; 4.1...4.n; 5.1...5.n – відповідно, вимірювальні перетворювачі товщини ґрунтової стінки, діаметра свердловин, осідання, нахилу фундаменту та випору ґрунту.

Універсальна структурна схема включає блок безперервного розрахунку НДС ґрунту в технологічному процесі усунення крену та блок формування поточних управлінських команд.

При побудові структурної схеми контролю основних параметрів НДС системи «ґрунтова основа – стрічковий фундамент» у процесі усунення крену будівель використано електромагнітні безконтактні вимірювальні перетворювачі, які дозволяють визначати безпосередньо на будівельному об'єкті його крен, осідання та механічну напругу (Патент /58/6. /90, G01M19/00). Особливістю використаних

датчиків є те, що вони дозволяють безперервно контролювати основні параметри НДС у діапазоні: осідання до 50 см, механічну напругу в межах ділянки Гука, а також абсолютну величину та напрямок крену фундаменту. У конструкції індикатора контролю моменту виникнення випору ґрунту використані безконтактні індуктивні датчики зміщення, що складаються з двох феромагнітних частин, закріплених, відповідно, на поверхні ґрунту фундаменту та на бічній поверхні стрічкового фундаменту. Розміщення таких датчиків по довжині фундаменту дозволяє контролювати початковий момент випору ґрунту, який відповідає його переходу в пластичний стан.

Автоматизована інформаційно-вимірювальна система для контролю параметрів розрахункової моделі та ідентифікації характеру НДС у ґрунтовій основі 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. У конструкцію вимірювача розкриття тріщин, в порівнянні з датчиками крену, внесені деякі конструктивні нововведення. 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 має високу надійність. Принцип його роботи заснований на зміні індуктивності котушки при переміщенні феромагнітного сердечника уздовж осі котушки.

3.5. Хмарна технологія передачі результатів вимірювань ІТДББ

В автоматизованій системі інформація передається по мережах мобільного зв'язку у вигляді SMS-повідомлень або через Інтернет на скриньку електронної пошти з подальшою обробкою на комп'ютері. Система працює в автоматичному режимі з можливістю програмування періоду вмикання. Система працює від мережі ~ 220В і оснащена безперебійним блоком живлення (1000 год – черговий режим, 48 год – режим вимірювання). Автоматично кожні 12 годин проводиться перевірка заряду акумулятора мобільного телефону і тестування всієї системи. Після опитування система переходить в режим енергозбереження. При цьому всі налаштування зберігаються в незалежній пам'яті. В процесі роботи над системою розроблений оригінальний вимірювач індуктивності, який встановлений в датчиках. Чутливість вимірювача – до 0,1 мкГн при похибці вимірювань у всьому використовуваному діапазоні 0,2%. При цьому точність вимірювань горизонтального зміщення становить 0,001 мм, а розрахункова похибка визначення крену становить 0,05%.

Можливе ручне знімання інформації з датчиків за допомогою вимірювача індуктивності ВІ-1 (локальна інформаційно-вимірювальна система). Локальна інформаційно-вимірювальна система виконана відповідно до ДСТУ Б В.2.6 - 25 - 2003 [157].

Для візуалізації контрольованих параметрів об'єкта і розрахунку додаткових кутів нахилу і відносного осідання використовується комп'ютерна програма Pendulum (рис. 3.18.). Нова версія програми Pendulum дозволяє розраховувати не тільки напрямок, величину зміщення (за останній інтервал і за весь період вимірювань), хід руху маятника за весь час вимірювання, а й показує точну величину в градусах по осях X, Y в мм, а також крен. Всі дані виводяться у вигляді таблиць і графіків. Обмін інформацією між датчиком та блоком збору інформації здійснюється за послідовним двонаправленим інтерфейсом. Швидкість обміну

становить 1024 біти за секунду.

Дані від блоку збору інформації (*XS1.3 "Data2" – контакти 3,8 роз'єму DB9*) передаються рівнями напруги: логічний 0 – менше 4,5 В; логічний 1 – більше 10,5 В.

Вхідний опір за цим виводом становить 100 кОм і допускає подачу сигналу амплітудою до 100 В.

Дані від датчика (*XS1.4 "Data1" – контакти 2,7 роз'єму DB9*) передаються значеннями струму відповідної лінії інтерфейсу: логічний 0 – менше 3 мА; логічний 1 – понад 7 мА.

Вихідний формувач цього сигналу є керованим джерелом струму на 10 мА і допускає подачу напруги від 5 до 18 В.

Живлення датчика здійснюється через контакти гнізда інтерфейсу *XS1.5, XS1.6 "+12V" - контакти 1,6 гнізда DB9*.

Діапазон робочих напруг живлення – 6...18 В. Споживаний струм у черговому режимі становить не більше 1 мА і не більше 50 мА – в режимі вимірювання.

Загальним провідником є контакти *XS1.1 та XS1.2 "Gnd" – контакти 4,5,9 роз'єму DB9*.

Контакти *XS1.7 – XS1.10* використовуються для програмування мікроконтролера датчика під час виробництва чи заміни програмного забезпечення. При роботі в системі необхідно залишати непід'єднаними.

3.6. Корикування розрахункових моделей ББ у процесі усунення їх наднормативних кренів за результатами ІТДББ у ПК ЛПА 9.6.

На стадії проєктування будівельного об'єкта прогнозуються його нерівномірні осідання та крен

$$i = \frac{\Delta S}{L}, \quad (3.1)$$

де i – крен; $\Delta S = S_2 - S_1$ – нерівномірне осідання; L – довжина фундаменту (ділянки

фундаменту).

На надійність прогнозу НДС системи «основа – фундамент – верхня будова» впливають різні чинники, серед яких можна виділити: обсяг та якість інженерно-геологічних вишукувань, правильний вибір розрахункових моделей, а також методів чисельного моделювання напружено-деформованого стану ґрунтової основи. Однак будівельна практика досить часто фіксує розбіжність між прогнозованими і фактичними значеннями нерівномірних осідань і кренів будівель і споруд, і, як наслідок, непроєктних зусиль, що виникають в несучих конструкціях [144, 158]. Якщо нахил будівельного об'єкта перевищує граничне значення, може статися вичерпання несучої здатності будівельних конструкцій.

Спостереженнями за деформаціями більше 50 будівель у процесі їх монтажу та в перші роки експлуатації встановлено, що чим більше їх абсолютне осідання, тим більшим може бути й нерівномірне осідання (рис. 3.21).

Відповідно до досліджень низки вчених, частка нерівномірного осідання від максимального може коливатися від 33 до 75%. Допустимі максимальні осідання будівель та споруд встановлені в Україні в досить широких діапазонах – 8...40 см. На основі чисельного розрахунку системи «основа – фундамент – верхня будова», на сприйняття нерівномірних осідань, призначаються відповідні конструктивні заходи, але в низці випадків це може бути економічно не вигідно. Тому при проєктуванні будівель та споруд доцільно було б знизити граничні осідання основ, а при виникненні в ході будівництва в конструкціях граничних зусиль – зменшувати їх за рахунок регулювання планово-висотного положення будівельного об'єкту шляхом впливу на підсистеми «фундамент – верхня будова» або «основа – фундамент».

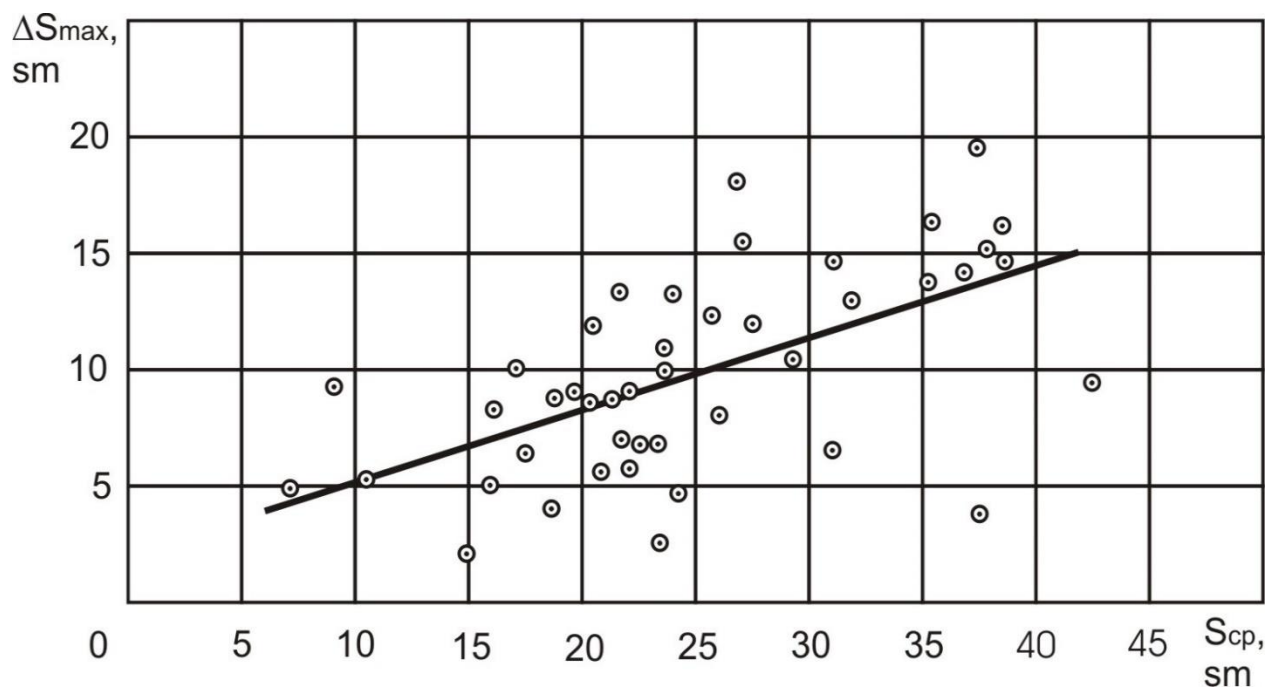


Рис. 3.21. Залежність максимальних нерівномірних осідань (S_{\max}) від середніх (S_{cp}), отримана для 9-поверхових великопанельних будівель, зведених на обводнених лесових ґрунтах (53% осідань реалізується в процесі монтажу будівель; 83% – у перший рік їх експлуатації; 90% – у другий).

3.6.1. Методика коригування розрахункових моделей будівель у процесі усунення їх наднормативних кренів при застосуванні ІТДББ

Для розрахункового обґрунтування проєктних рішень будівель та споруд сьогодні є великі можливості чисельного моделювання з використанням різних розрахункових моделей. Але для кожного будівельного об'єкта може мати місце неприпустима невідповідність прогнозованих (проєктних) та фактичних даних НДС системи «основа – фундамент – верхня будова». Виходом із такої ситуації може бути надання можливості коригування НДС будівельних конструкцій у процесі зведення об'єкта. *Для реалізації такого підходу необхідно виконати розрахунок прогнозованих нерівномірних осідань та визначити економічно доцільне гранично допустиме осідання для кожного конкретного об'єкта. Після досягнення будинками та спорудами в процесі їх зведення прийнятих граничних осідань*

проводиться усунення нерівномірних осідань, що з'явилися.

Кількість циклів компенсації нерівномірних осідань будівельного об'єкта визначається зі співвідношення:

$$n = \frac{S - S_u}{S_u}, \quad (3.2)$$

де S – потенційна (прогнозована) величина осідання; S_u – прийнята гранично допустима величина осідання.

Момент початку регулювання планово-висотного положення будівлі для кожного циклу визначається з умови:

$$S' = S_u - S'', \quad (3.3)$$

де S' – фактична максимальна величина нерівномірних осідань будівлі, що виникає в процесі їх зведення; S'' – додаткове осідання, яке відбудеться за час вирівнювання будівлі.

У процесі будівництва будівлі може виконуватися часткове перетворення ґрунтів з метою забезпечення дотримання умови:

$$S_o < S_u, \quad (3.4)$$

де S_o – залишкова деформація основи на момент завершення будівництва.

Для реалізації методики зведення будівель та споруд з інтерактивною компенсацією нерівномірних осідань найбільш доцільно використовувати адаптаційні системи (домкратні чи конструктивні), а також підріток ґрунтів основи. В останньому випадку при влаштуванні фундаменту в його тіло по всій площі закладається мережа вертикальних і похилих каналів, наприклад труб, що проходять через всю товщину фундаменту. Крок, діаметр та кут нахилу труб визначається за розрахунком. Регулювання висотного положення фундаменту здійснюється шляхом видалення розрахункової кількості ґрунту з основи через ці канали (рис. 3.22).

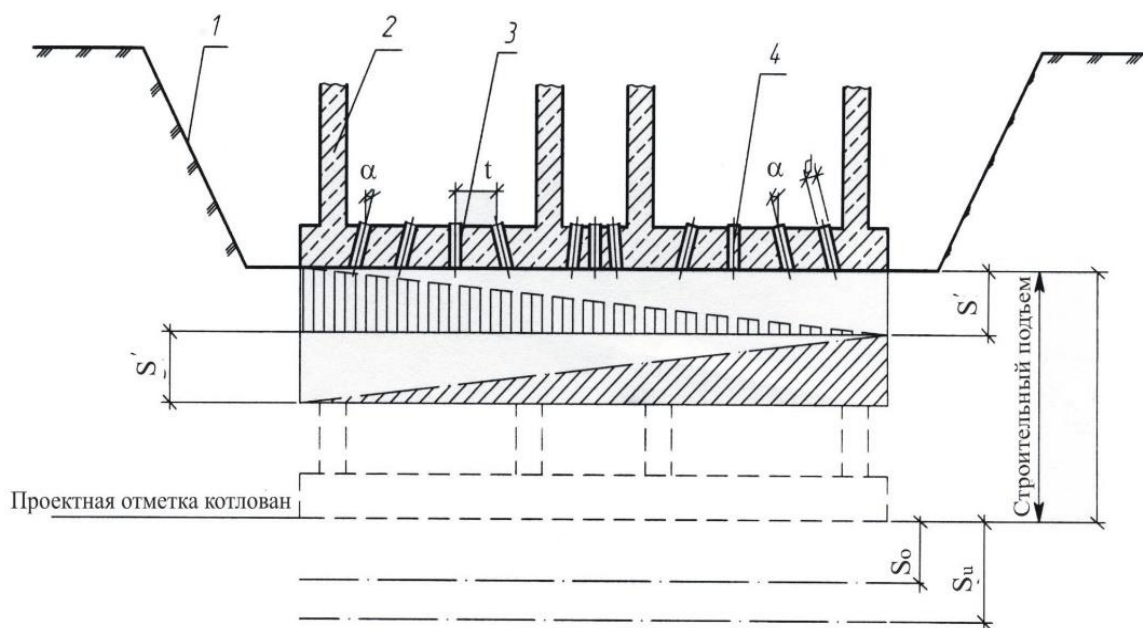


Рис. 3.22. Схема зведення будівлі із застосуванням інтерактивної компенсації нерівномірних осідань: 1 – котлован; 2 – фундамент; 3, 4 – відповідно, вертикальна та похила свердловини; d , t , α – діаметр, крок та кут нахилу свердловин; S_u – прийняте гранично допустиме осідання; S_0 – залишкове осідання на момент завершення будівництва.

При вирівнюванні будівлі, яка отримала поздовжній, поперечний або складний крен (крен по діагоналі), у процесі експлуатації котлован відкопують із зовнішньої сторони будинку.

Моніторинг НДС будівлі при усуненні її крену містить виконання базового алгоритму у вигляді послідовного вирішення комплексу завдань, об'єднаних у вигляді наступних блоків:

1. Науково-дослідний.
2. Вимірювально-інформаційний.
3. Допусково-контрольний.
4. Розрахунково-аналітичний.
5. Проектно-технологічний.

Особливістю розробленого базового алгоритму моніторингу НДС будівель при усуненні нахилу є використання інформаційної системи з реалізацією допускового

режиму роботи (рис. 3.23). В цьому випадку, згідно з [159], вимірювана величина може бути оцінена за виразом

$$\lambda^* = R_u [P(\lambda), \lambda_0], \quad (3.5)$$

де P – оператор, який представляє алгоритм вимірів; $P(\lambda)$ – сигнал, що несе інформацію про величину вимірюваного параметра; λ_0 – міра, зразкова величина (допускове значення), яка використовується в операції порівняння.

В основу розробленої методики покладено послідовність виконання наступних робіт:

1. Складається розподіл у межах об'єму контрольованого об'єкта конструкцій з вираженим проявом деформаційних процесів у вигляді тріщин, руйнувань, кренів, осідань, деформацій з координатною їх прив'язкою до об'єкта.

2. Відповідно до нормативної документації, експертною оцінкою обираються та призначаються допускові значення контрольованих параметрів.

3. Складається система з безлічі однотипних контрольованих параметрів, значення яких, наприклад модуль, наближаються до допускових значень:

$$\left. \begin{array}{l} \{|i_1|; |i_2|; \dots; |i_{j-1}|; |i_j|\} \\ \{|s_1|; |s_2|; \dots; |s_{k-1}|; |s_k|\} \\ \{|\Delta_1|; |\Delta_2|; \dots; |\Delta_{n-1}|; |\Delta_n|\} \\ \dots \\ \{|\sigma_1|; |\sigma_2|; \dots; |\sigma_{i-1}|; |\sigma_i|\} \end{array} \right\}, \quad (3.6)$$

де $\{|i_1|; \dots; |i_j|\}; \{|s_1|; \dots; |s_k|\}; \{|\Delta_1|; \dots; |\Delta_n|\}; \{|\sigma_1|; \dots; |\sigma_i|\}$ – відповідно, множини контрольованих параметрів: крени (i), осідання (s), розкриття тріщин (Δ), концентратори механічних напруг (σ).

Залежно від характеру НДС об'єкта, система може включати різне число множин.

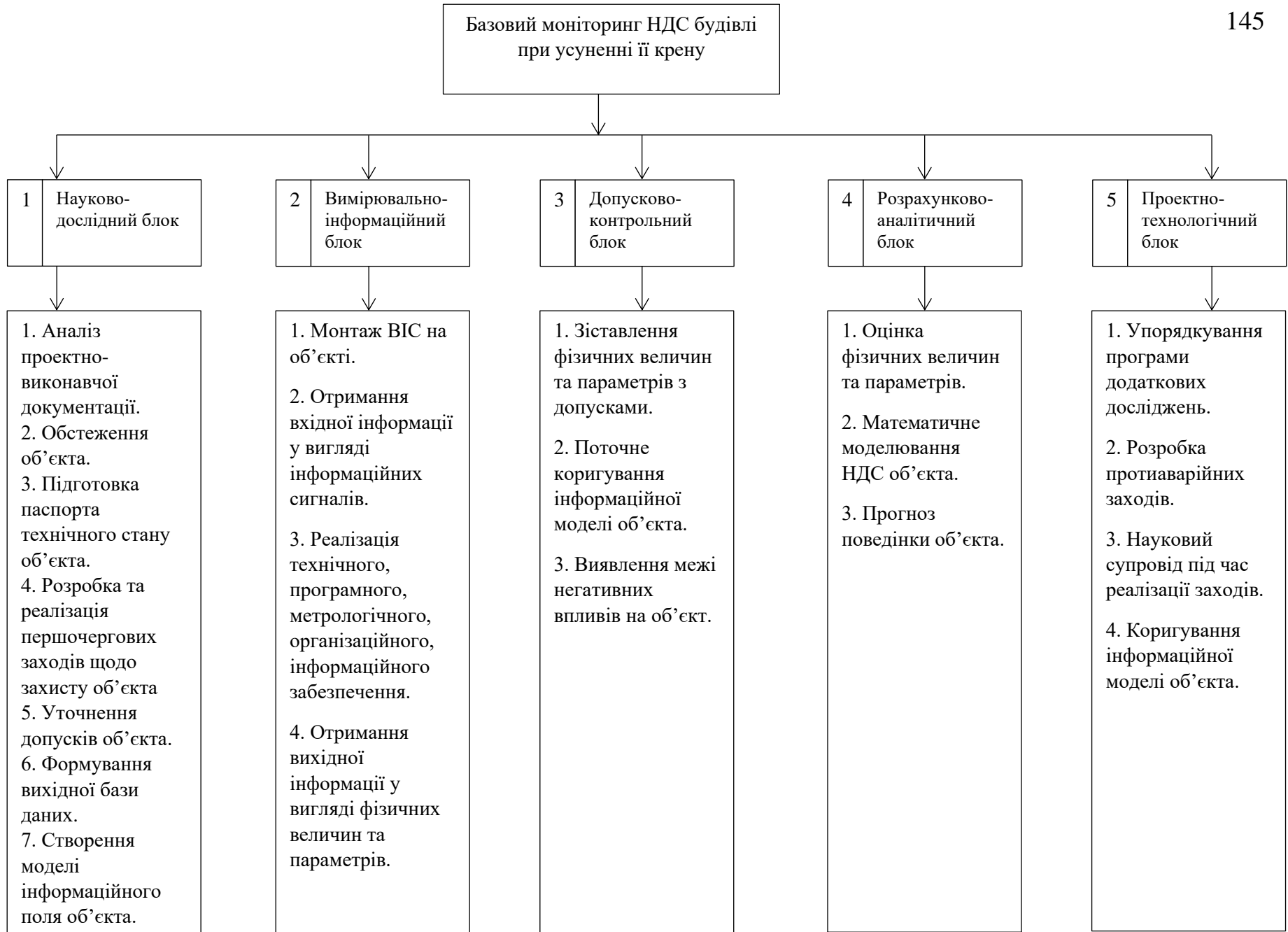


Рисунок 3.23. Складові блоки базового моніторингу будівлі при усуненні її крену

4. Відповідно до числа множин, що входять до системи 3.6, та числа вхідних однотипних параметрів, визначається тип датчиків та їх число.

5. 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 3.6.

6. Проводиться розробка алгоритму контролю обраної множини контрольованих параметрів НДС, який містить послідовність контролю множин однотипних параметрів. 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. Наприклад, в якості критерію вагового значення множин однотипних параметрів $\{|i_1|; \dots |i_j|\}; \{|s_1|; \dots |s_k|\}; \{|\Delta_1|; \dots |\Delta_n|\}; \{|\sigma_1|; \dots |\sigma_i|\}$, що входять до складу системи 3.6, може бути використана кількість зафіксованих параметрів.

За результатами контролю параметрів за вибраним алгоритмом проводиться оцінка ролі параметрів у формуванні НДС об'єкта та коригується алгоритм контролю.

Моделювання системи «основа – фундамент – верхня будова» при усуненні наднормативного крену будівлі здійснюється в наступній послідовності:

- створюється просторова модель будівлі у програмному комплексі ЛІРА САПР [160–163] з урахуванням нелінійної роботи матеріалів конструкцій, податливості стиків, одностороннього характеру зв'язків конструкцій фундаментів із основою;

- визначаються додаткові впливи на будівлі за період будівництва, як деформаційні (крен, перекося, дефекти), так і силові, на які виконується розрахунок моделі;

- перевіряється адекватність розрахункової моделі шляхом зіставлення

результатів натурних спостережень та результатів розрахунку;

- за даними ІТДББ виконується оцінка НДС системи, що розглядається, як у процесі зведення об'єкта, так і при коригуванні його планово-висотного положення;
- виконується комплексний аналіз отриманих результатів з метою виявлення конструкцій, що працюють у граничному стані, та здійснюється коригування роботи, а також приймаються інші управлінські рішення.

3.6.2. Регулювання осідань фундаментів багатоповерхової будівлі при усуненні крену

При вирівнюванні будівлі шляхом буріння горизонтальних свердловин в її основі потрібно керувати жорсткістю основи, тобто змінювати її таким чином, щоб підсумовування кососиметричних епюр осідань забезпечило рівноординатну прямокутну епюру. У практиці часто виникають ситуації, коли в межах однієї будівлі, що накренилася, через різні характеристики ґрунтів її основи виникає істотна різниця осідань при бурінні горизонтальних свердловин в різних зонах.

Відставання або випередження осідань однієї частини фундаментів будівлі щодо іншої призводить до вигинів або прогинів фундаментів і, як наслідок, погіршення напружено-деформованого стану будівельних конструкцій:

$$\frac{f}{L} = \frac{(2S_2 - S_1 - S_3)}{2L}, \quad (3.7)$$

де f/L – відносний прогин або вигин, відношення стріли прогину або вигину до довжини ділянки будівлі, що однозначно згинається; S_1 і S_3 – осідання кінців ділянки однозначно викривлення; S_2 – найбільше чи найменше осідання на тій же ділянці; L – відстань між точками, що мають осідання S_1 і S_3 .

Дослідження та практика ліквідації кренів ББ свідчать про те, що буріння горизонтальних свердловин може провокувати осідання фундаментів до 50–70% від максимальних, необхідних для відновлення ББ у вертикальне

положення. Це пов'язано з істотними відмінностями характеристик ґрунтів у шарі основи, що послаблюється.

Процес реалізації решти осідань фундаменту у часі $S=S(t)$ описується монотонно наростаючою функцією (асимптотично загасаючий процес), що характеризується властивістю: зі збільшенням аргументу X інтенсивність наростання функції $Y=f(X)$ падає і для великих X крива набуває майже постійної величини та рухається паралельно осі X .

Час умовної стабілізації нахилу фундаменту будівлі визначається за формулою

$$T = \frac{tg \rho}{V_{yc}}, \quad (3.8)$$

де V_{yc} – величина умовної стабілізації крену; t_{gp} – коефіцієнт пропорційності

$$tg \rho = \frac{i - i_n}{\frac{\ln t}{t_n}}. \quad (3.9)$$

Приймаючи i_n і t_n – крен фундаменту та час у процесі буріння горизонтальних свердловин – визначаємо коефіцієнт пропорційності та час настання умовної стабілізації. За необхідності проводиться регулювання крену фундаменту будівлі.

Викладене вище свідчить про те, що регулювання процесу осідання фундаментів є основним моментом при вирівнюванні будівель. Тому розробка ефективних способів регулювання осідань будівель і споруд є необхідним і дуже актуальним питанням управління просторовим положенням будівель при усуненні їх кренів.

Прискорення процесу осідань фундаментів виконується шляхом зниження фізико-механічних характеристик ґрунтів їх зволоженням навколо скважин. При цьому суттєве значення має плавна, поступова, поетапна зміна вологості ґрунтів, що викликає, відповідно, плавні зміни осідань фундаментів. Коригуванням процесу зволоження ґрунтів домагаються прямолінійної закономірності зміни осідань по довжині всіх граней будівлі. Підвищення

температури води з 15° до 70° дозволяє підвищити швидкість осідань у 1,5–2 рази.

У практиці вирівнювання будівель і споруд часто виникають ситуації, коли на деяких ділянках необхідно призупинити інтенсивність осідань фундаментів для того, щоб вирівняти швидкості осідань на навколишніх ділянках. Це характерно для випадків, коли в ґрунтовій зоні впливу ББ є локалізовані ділянки основи із сильно замоченими ґрунтами через витoki з трубопроводів гарячої чи холодної води, а частіше – через порушення герметизації каналізаційних випусків.

У таких ситуаціях знизити швидкість осідань можна;

- шляхом закріплення ґрунту бурозмішувальним способом;
- тампонуванням необхідної зони пробурених свердловин.

Тампонування виконують шляхом транспортування ґрунту в порожнині свердловин колоною шнеків за допомогою зворотного обертання верстатів горизонтального буріння. Тампонування частини свердловин здійснюється також поетапно.

У практиці вирівнювання будівель, що накренилися, зустрічаються основи, складені ґрунтами, які погано розмокають при зволоженні, наприклад мергелистими ґрунтами. Ці ґрунти мають підвищену міцність і після буріння горизонтальних свердловин осідання фундаментів на основах таких ґрунтів досягають лише 10–15% від необхідних, оскільки цілики ґрунтів при перфорації шару основи під фундаментами розрахунковими діаметрами практично не руйнуються. Прискорення осідань фундаментів на таких ґрунтах здійснюється шляхом руйнування частини ціликів ґрунту між свердловинами без винесення зруйнованого ґрунту на поверхню. Руйнування ціликів здійснюється спеціальним пристроєм. Пристрій складається з корпусу, всередині якого розміщені ножі для різання ґрунту. Корпус пристрою кріпиться до бурової штанги. При обертанні колони бурових штанг за годинниковою стрілкою ножі перебувають у закритому положенні всередині корпусу і вільно входять у свердловину. При повороті корпусу з буровими штангами проти годинникової

стрілки ножі розкриваються, виходять за межі корпусу і при одночасному обертанні проти годинникової стрілки та осьовому переміщенні бурових штанг та розкритих ножів відбувається часткове руйнування ціликів ґрунту. При руйнуванні ціликів ґрунт обсипається в порожнину свердловини.

При зменшенні перерізу ціликів напруга в них збільшується, досягає межі міцності ґрунту і цілики частково руйнуються, зумовлюючи збільшення осідань.

3.6.3. Оцінка НДС ББ у процесі усунення її наднормативного крену

Наведемо приклад оцінки НДС 9-поверхового великопанельного будинку в м. Запоріжжі з розмірами в осях 23,30 x 11,62 м при усуненні його крену. Конструктивна схема будівлі – безкаркасна з поздовжніми несучими стінами. Фундаменти – стрічкові залізобетонні зі збірними бетонними стінами підвалу. В якості підготовки основи виконана ґрунтова подушка. Просторова жорсткість забезпечується несучими поздовжніми та поперечними стінами з керамзитобетону товщиною 350...450 мм, а також залізобетонними дисками-перекрыттями.

У процесі експлуатації будинок піддавався впливу просадних деформацій, при цьому поздовжні та поперечні крени досягли наднормативних значень. В результаті розрахунку моделі будівлі на впливи та навантаження, що виникли в процесі експлуатації, отримано деформовану схему від сумарної дії зовнішніх навантажень і просадних деформацій, переміщення вузлів розрахункової моделі для кожного із завантажень. При розрахунку аналізувалися головні напруги в елементах будівлі, за якими можна судити про міцність матеріалу конструкцій. На рис. 3.24 представлені зміни переміщень вузлів та розподілу головних напруг в елементах будівлі при впливі просадних деформацій в процесі експлуатації будівлі.

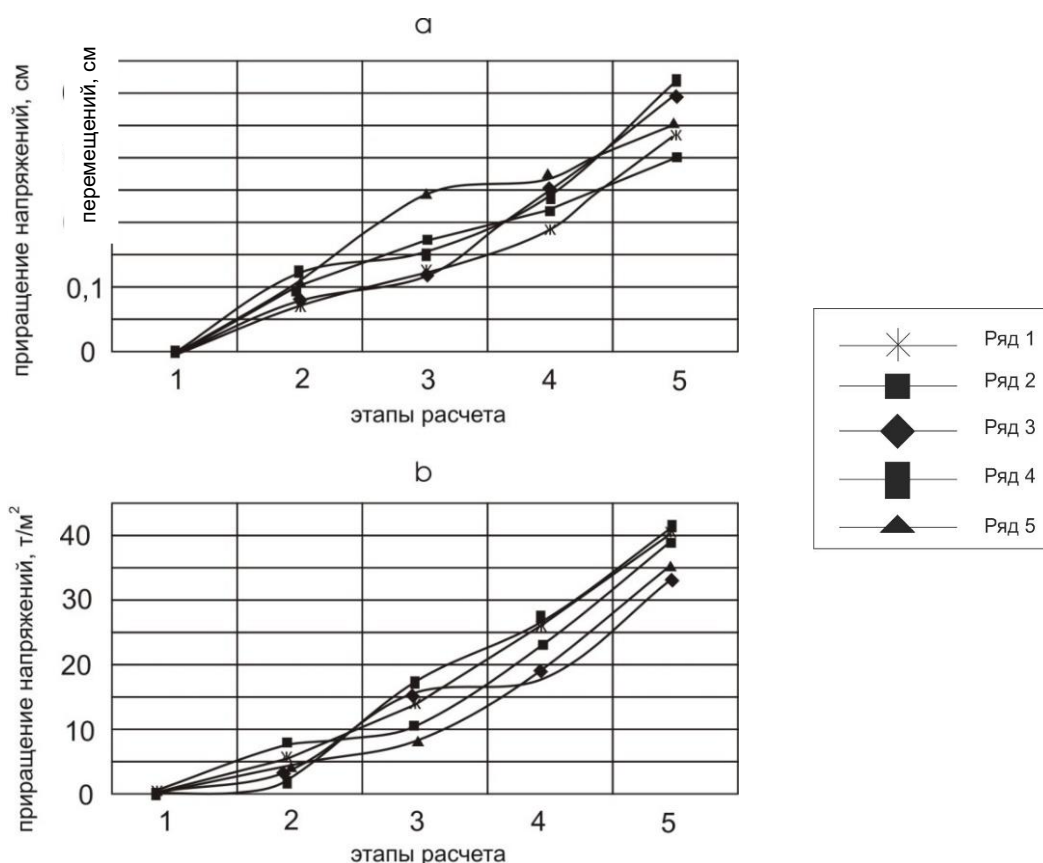


Рис. 3.24. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головних напруг (б) у поздовжніх стінах будівлі при впливі просадних деформацій у процесі її експлуатації.

В елементах будівлі виникли напруги, які перевищують розрахункові опори матеріалів конструкцій, що призвело до утворення тріщин та інших дефектів, які були виявлені під час обстеження 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 відповідає умовам нормальної експлуатації через наднормативні крени внаслідок просадних деформацій, було ухвалено рішення про необхідність усунення її наднормативного крену.

На основі створеної просторової моделі будівлі з урахуванням нелінійної роботи матеріалів конструкцій, податливості стиків, одностороннього характеру зв'язків конструкцій фундаментів із основою, а також додаткових впливів на будівлі (крен), було виконано 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, також на рівні першого поверху було облаштовано 13

цокольних марок для геодезичного моніторингу (рис. 3.25, 3.26).

Усунення крену будівлі здійснювалося шляхом вибурювання розрахункової кількості ґрунту з-під подошви фундаменту. Для цього вздовж фасаду будівлі було вирито котлован на глибину один метр нижче подошви фундаменту (рис. 3.27). Ослаблення шару основи (ущільненого лесового суглинку) здійснювалося шляхом буріння двох рядів горизонтальних циліндричних свердловин довжиною до 15 метрів зі змінним діаметром 160...220 мм.

Отримання вхідної інформації у вигляді інформаційних сигналів здійснювалося не рідше 1 разу на добу. При цьому здійснювали реалізацію технічного, програмного, метрологічного, організаційного та інформаційного забезпечення. Вихідна інформація у вигляді фізичних величин і параметрів зіставлялася з допусками (прогин, вигин, крен, осідання, напруга).

Зволоження стін свердловин дозволило прискорити процес розвитку технологічних осідань до необхідної величини. Робота з формування контркрону будівлі тривала 14 днів. У поздовжньому напрямку було досягнуто нерівномірних осідань будівлі 41...55 мм, а в поперечному напрямі – 192...178 мм (рис. 3.27).

Для визначення НДС будівлі за залишковими деформаціями та зіставлення їх із величинами, визначеними за даними ІВМС, необхідно виконати розрахунок системи, що моделює процес вирівнювання. Розрахункова модель зазначала деформаційних впливів по етапах відповідно до результатів спостережень за поведінкою будівлі.

У процесі усунення крену будівлі деформаційні та силові характеристики стабілізувалися, напруги в системі досягли безпечних значень. На рис. 3.28 представлені зміни переміщень вузлів та розподілу головних напруг у будівлі при її вирівнюванні.

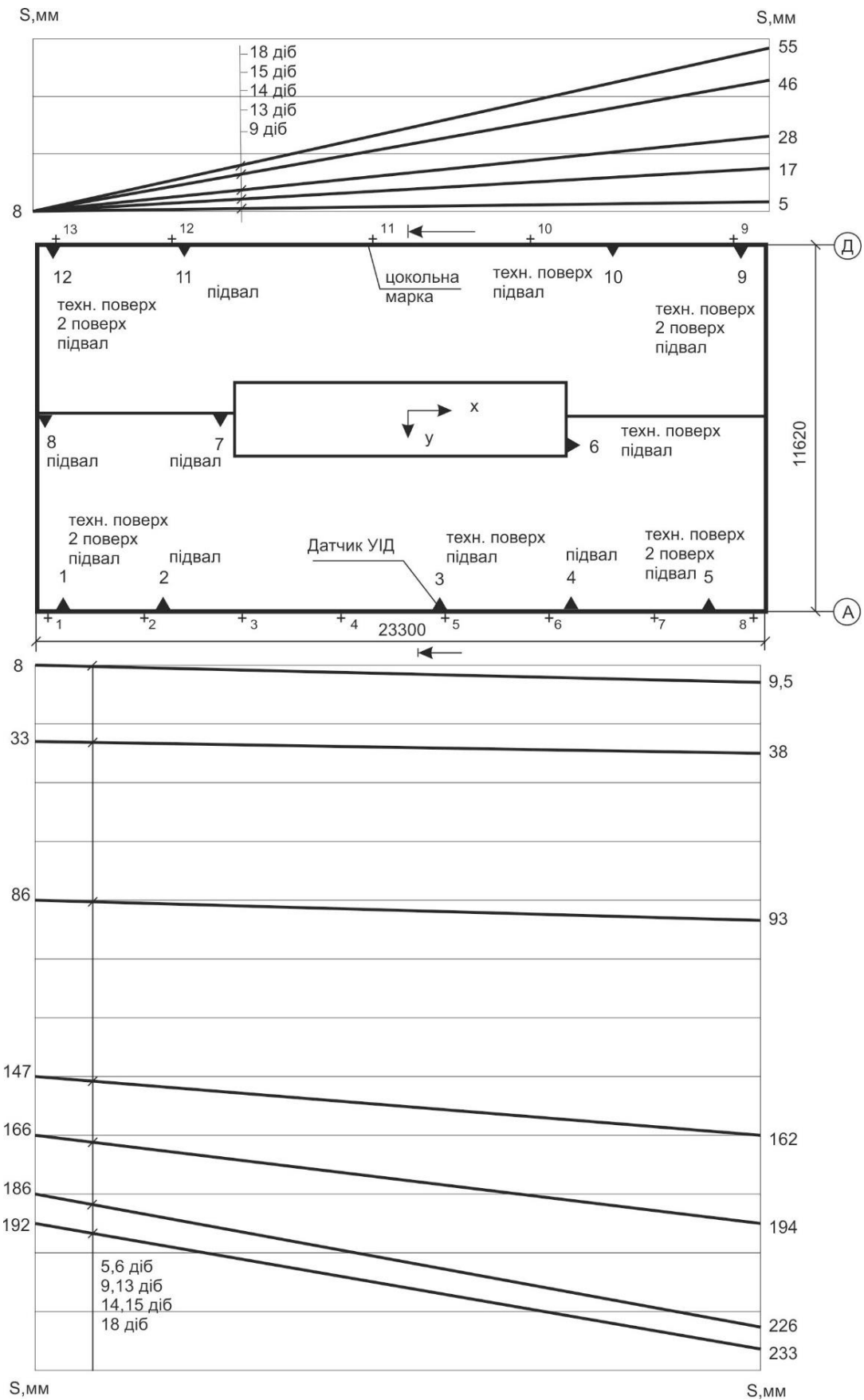


Рис. 3.25. Епюри осідань фундаментів при усуненні крену 9-поверхового житлового будинку в м. Запоріжжі та місця встановлення цокольних марок, а також датчиків УІД: у підвалі, на 2 поверсі та технічному поверсі.

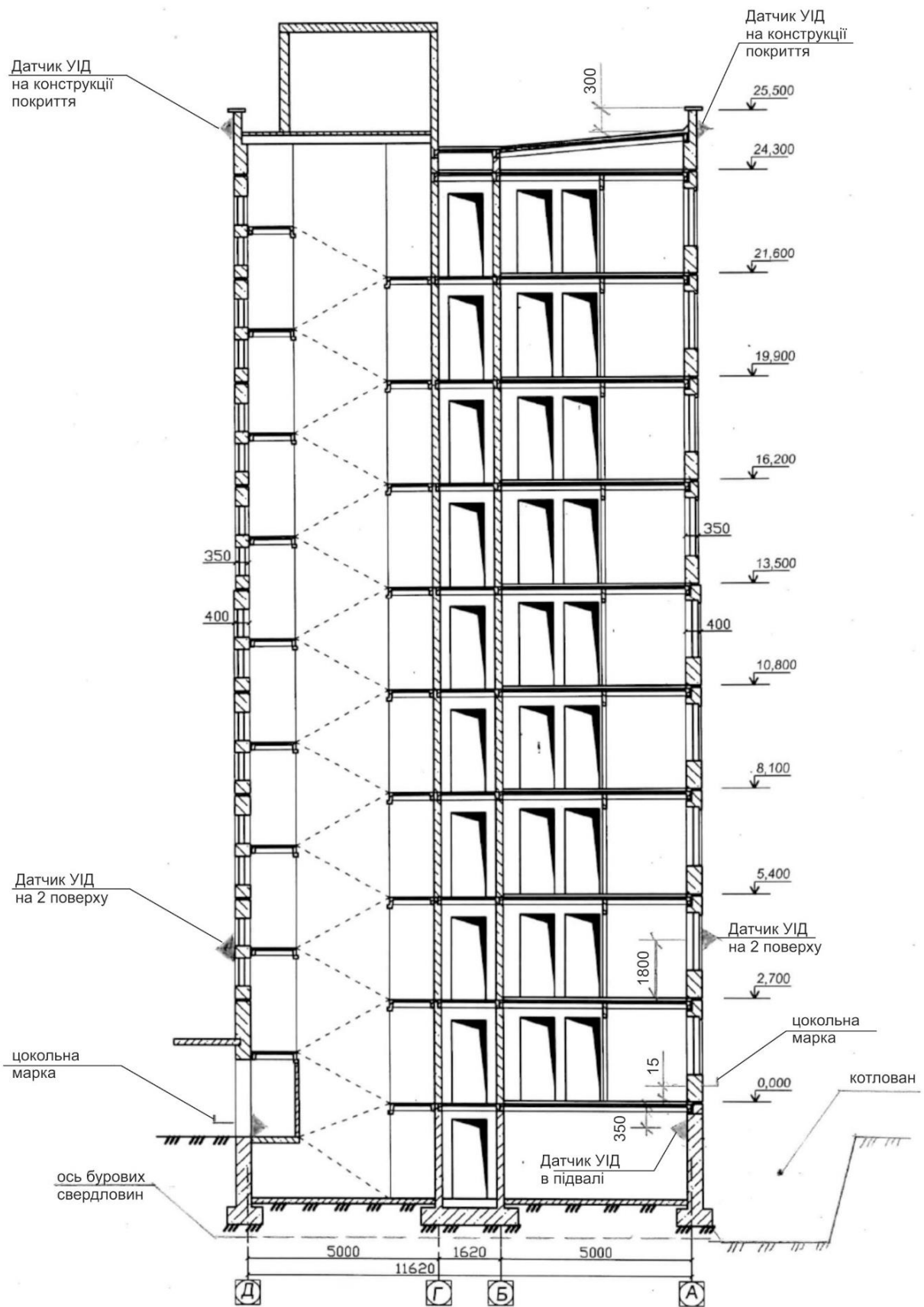
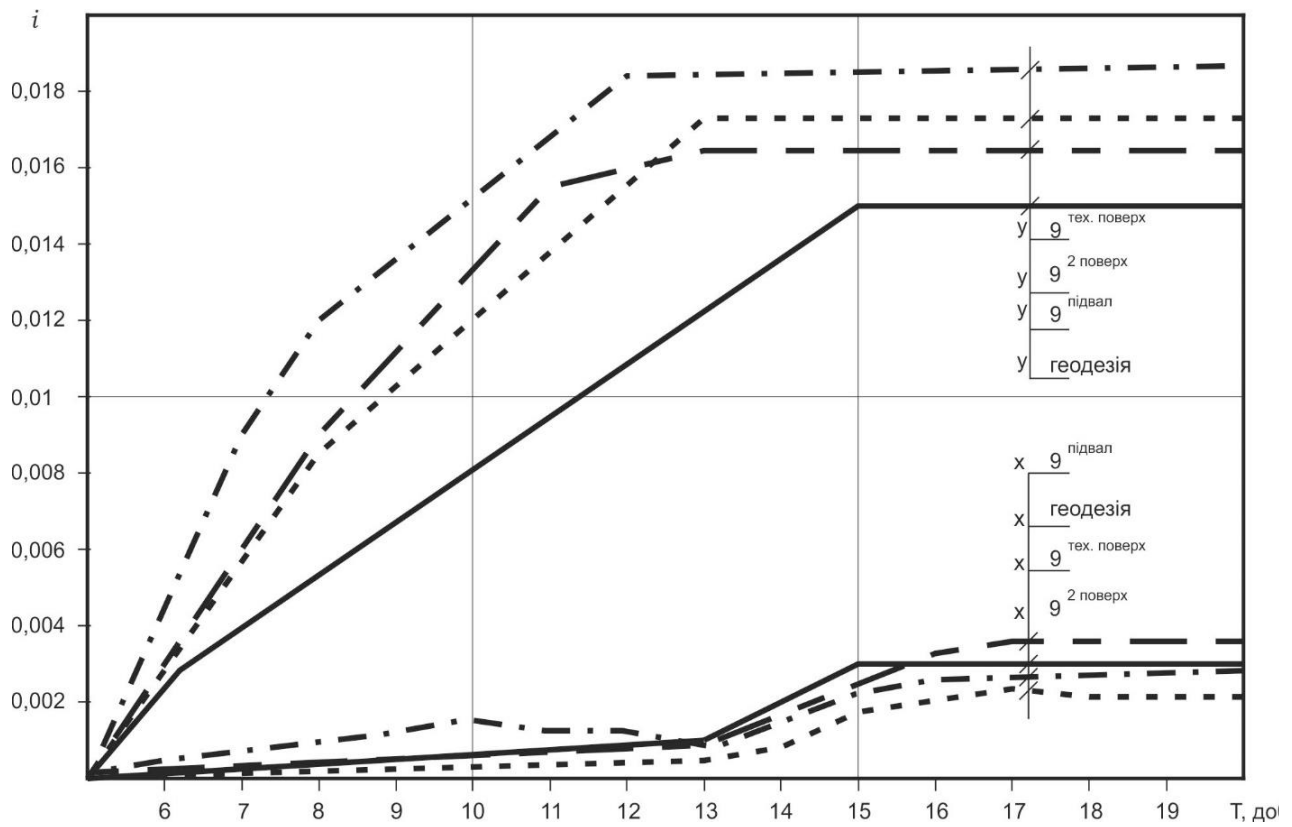
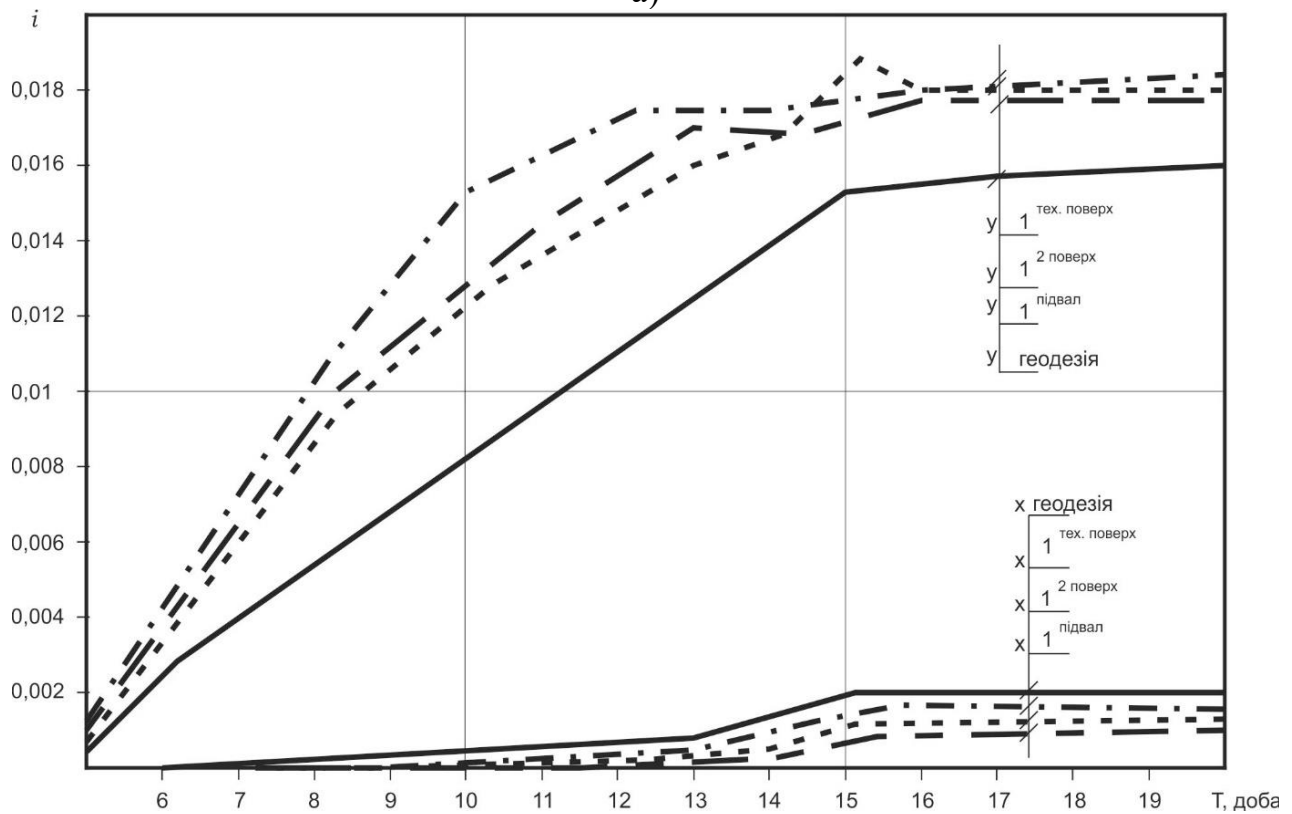


Рис. 3.26. Поперечний розріз будівлі за осями А–Д.



а)



б)

Рис. 3.27. Характер розвитку кренів по x , y датчиків №№9 (а) та №№1 (б), встановлених у підвалі, на 2 поверсі та технічному поверсі та за результатами геодезичної зйомки (цокольні марки 9, 10 (а) та 1, 2 (б)).

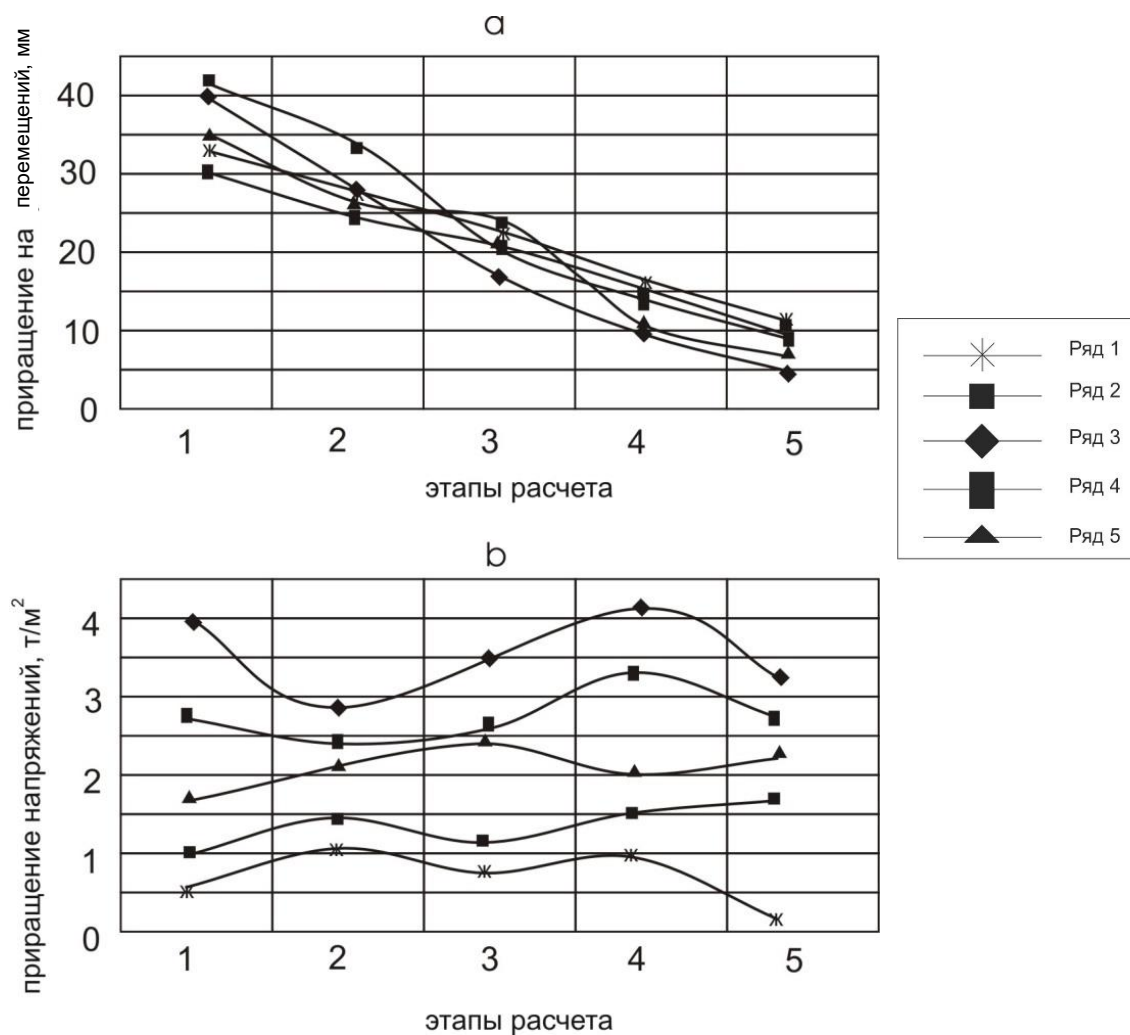


Рис. 3.28. Зміна переміщень вузлів (а) та розподіл головної напруги (б) у поздовжніх стінах будівлі при її вирівнюванні.

В результаті проведених досліджень зміни НДС будівлі в процесі усунення її крену, можна зробити висновок про те, що в процесі вирівнювання будівлі локальним підробітком ґрунтової основи шляхом буріння горизонтальних циліндричних свердловин напруги, що виникають у несучих елементах, не завжди знижуються і інколи перевищують гранично допустимі значення для матеріалу конструкцій. Це пояснюється складною реакцією просторової системи на зовнішні впливи, нерівномірним розподілом жорсткостей елементів будівлі, наявністю дефектів і зон граничних напруг. Розроблена методика коригування розрахункових моделей дозволяє контролювати та коригувати параметри НДС будівель на підставі зворотного зв'язку – результатів моніторингу за допомогою ІТДББ.

3.7. Висновки до розділу 3.

1. Розроблена програма «Pendulum», призначена для розрахунку та візуалізації перемішень будівельних конструкцій. В основу програми покладено модель поля індуктивності. Вихідними даними для програми є результати понад 1300 вимірювань значень індуктивності котушок датчика за різних положень маятника.

2. Реалізовано моніторингову систему з безперервним збором вимірювальної інформації контрольованих фізичних величин з подальшими її передачею за допомогою хмарних технологій, оперативною обробкою та забезпеченням у відповідних БД.

Переваги вимірювальної моніторингової системи: вимірювання крену в азимутальній площині 360° ; можливість отримання великої кількості вимірів за короткий термін з інтервалом вимірів від 1 години до 8760 годин; підвищення точності вимірювань – середнє від 9 вимірювань із нормуванням за зразковою індуктивністю; виключення впливу температури за рахунок монтажу зразкової індуктивності в кожен датчик та персонального калібрування; можливість віддаленого отримання інформації на мобільний телефон (за необхідності оперативного контролю) або з інтернету, внаслідок цього – можливість отримання даних при встановленні датчиків у важкодоступних місцях; можливість профілактичних робіт без зняття первинних джерел інформації зі збереженням легенди вимірів; менша вартість порівняно з вітчизняними та зарубіжними аналогами.

3. Розроблений та експериментально реалізований на практиці метод коригування моделей будівель у процесі усунення їх наднормативних кренів при застосуванні ІТДББ, який містить такий комплекс робіт:

3.1. Аналіз проєктної документації, обстеження будівельних конструкцій будівлі, уточнення їх можливих граничних станів, створення моделі інформаційного поля об'єкта, розробка інтерактивного проєкту усунення наднормативного нахилу будівельного об'єкта.

3.2. 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.

3.3. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану будівлі з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР [160–163]:

$$\sigma_{i=n}^{x,y} = \int (\varepsilon_{i=n}^{x,y}), \quad (3.10)$$

де σ – напруги у будівельних конструкціях, ε – деформації.

$$\varepsilon_{i=n} = \int_0^t (i, f, \theta) dt, \quad (3.11)$$

де i – крен, f – прогин (вигин), θ – кут закручування фундаменту.

3.4. Зіставлення фізичних величин і параметрів із допустимими відповідно до норм, перевірка умов міцності, поточне коригування інформаційної моделі об'єкта.

3.5. Коригування технологічних осідань, наприклад шляхом розпушування (закріплення) ґрунту і т.д.

РОЗДІЛ 4. ЛІКВІДАЦІЯ НАДНОРМАТИВНИХ КРЕНІВ ББ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ ҐРУНТОВИХ АВАРІЙ В М. ЗАПОРІЖЖІ НА ОСНОВІ ІТДББ

Науково-технічний супровід необхідно виконувати для контролю НДС блок-секції будівлі, що вирівнюється, в процесі виконання всього комплексу робіт із ліквідації кренів блок-секції ББ з метою прийняття правильних інженерних рішень в умовах ризику ґрунтових аварій та невизначеності в процесі регулювання планово-висотного положення блок-секцій [164–171]. Для усунення наднормативних кренів блок-секції у 2014 р. був розроблений робочий проєкт вирівнювання блок-секції № 1 житлового будинку № 25 по пр. Інженера Преображенського в м. Запоріжжі. Крім вирівнювання блок-секції, проєкт передбачав ремонт конструкцій блок-секції з подальшим утепленням її фасадів.

Метою роботи було забезпечення безпечного усунення наднормативного крену блок-секції № 1 при одночасному забезпеченні надійного функціонування ББ протягом всього процесу вирівнювання без зупинки функціонування інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців. Вирівнювання блок-секції № 1 повинно було забезпечити зняття напружень в її будівельних конструкціях та запобігти руйнацій в блок-секціях, що спірались одна на одну (рис. 4.10).

У зв'язку з відсутністю фінансування, роботи з реалізації проєкту в 2015–2018 рр. не проводилися. В подальшому, при формуванні списку «Перелік об'єктів до титульного списку капітального ремонту житлового фонду Запорізької міської ради на проведення моніторингу за деформаціями житлових будинків, усунення їх наднормативного крену», вищевказані блок-секції будівель житлових будинків по пр. Інженера Преображенського, 23 та 25 у м. Запоріжжі були внесені до нього. При поверненні у 2019 р. до планування проведення робіт з усунення наднормативних кренів ББ проєкт було додатково відкориговано. Коригування проєкту проводилось у зв'язку зі зміною завдання

на проєктування та вимог нових нормативних документів в будівництві. Але враховуючи різні фактори, до реалізації відкоригованого проєкту [172] приступили лише у 2021 р., при цьому проєкт був додатково відкоригований [173].

Програмою науково-технічного супроводу робіт на об'єктах передбачалося виконання наступного обсягу робіт.

До початку виконання робіт з вирівнювання деформованої блок-секції виконати:

- візуальний огляд багатопверхового житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя;

- інженерно-геологічні дослідження вологісного режиму ґрунтів основи та якості підготовки основи;

- уточнення фактичних кренів будівлі;

- встановлення ІТДББ (облаштування блок-секцій інклінометричними датчиками та деформаційними марками, реперами на майданчику розташування будівлі, системою збору, накопичення та передачі інформації за допомогою хмарних технологій (IoT) з використанням програмного комплексу ЛПРА САПР [160–163] для обчислення НДС ББ протягом процесу ліквідації її крену в онлайн-режимі, програми обробки експериментальної та розрахункової інформації (Pendulum та ін.) для підтримки прийняття рішень ОНР в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій ББ) – фактичне створення **ДТ ББ** (що зазнала крену та вирівнюється), що функціонує в онлайн-режимі;

У ході здійснення робіт з вирівнювання деформованої блок-секції передбачалися:

- геодезичний моніторинг за деформаціями ББ;

- контроль за станом конструкцій ББ при її вирівнюванні на основі результатів роботи ІТДББ;

- роботи з коригування закладених у проєкті технологічних параметрів вибурювання ґрунтів на основі результатів роботи ІТДББ в умовах невизначеності та ризику будівельних аварій при одночасному забезпеченні

надійного функціонування ББ протягом всього процесу вирівнювання без зупинки функціонування інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців;

Після закінчення вирівнювання деформованої блок-секції передбачалися:

- обстеження будівельних конструкцій блок-секції;
- контроль якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану, відриного для виконання робіт з вирівнювання блок-секції, з урахуванням роботи ІТДББ після закінчення процесу вирівнювання.

Результати робіт з візуального огляду багатопверхового житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя наведено в додатку Г2.

Результати геодезичного моніторингу *до початку процесу вирівнювання ББ та протягом процесу вирівнювання* наведено в додатку Г3.

4.1. Облаштування блок-секції ББ інклінометричними датчиками, деформаційними марками та реперами на майданчику розташування будівлі

Відповідно до програми науково-технічного супроводу, на блок-секції № 1 житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 була облаштована ІТДББ, призначена для віддаленого знімання, обробки та передачі інформації.

Для контролю деформацій блок-секції № 1, що вирівнювалася, у підвалі будівлі на його стінах у верхній частині стінових панелей були встановлені 16 універсальних індуктивних датчиків крену (УІД), блок збору та передачі інформації. Зовнішній вигляд датчика УІД, встановленого на стіні в підвалі, наведено на рис. 4.1. Зовнішній вигляд блоку збору та передачі інформації на стіні в підвалі блок-секції № 1 наведено рис. 4.2.



Рис. 4.1. Зовнішній вигляд датчика УІД, встановленого на стіні в підвалі об'єкта.



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд блоку збору та передачі інформації.

ІТДББ працювала безперервно, а періодичність знімання інформаційного сигналу інформаційно-вимірювальної системи «Моніторинг» складала один раз на добу. Схема розташування датчиків УІД наведена на рис. 4.3. 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.

Технічні засоби ІТДББ, що використовувалася для контролю деформацій на блок-секції, що вирівнювалася, містили: універсальні індуктивні датчики крену; засіб збирання та передачі інформації – блок із мобільним телефоном; комп'ютерна програма «Pendulum» для розрахунку та візуалізації деформацій контрольованого об'єкта та ін.

Більш повна інформація про технічні характеристики інформаційно-вимірювальної системи «Моніторинг» наведена у додатку Г.

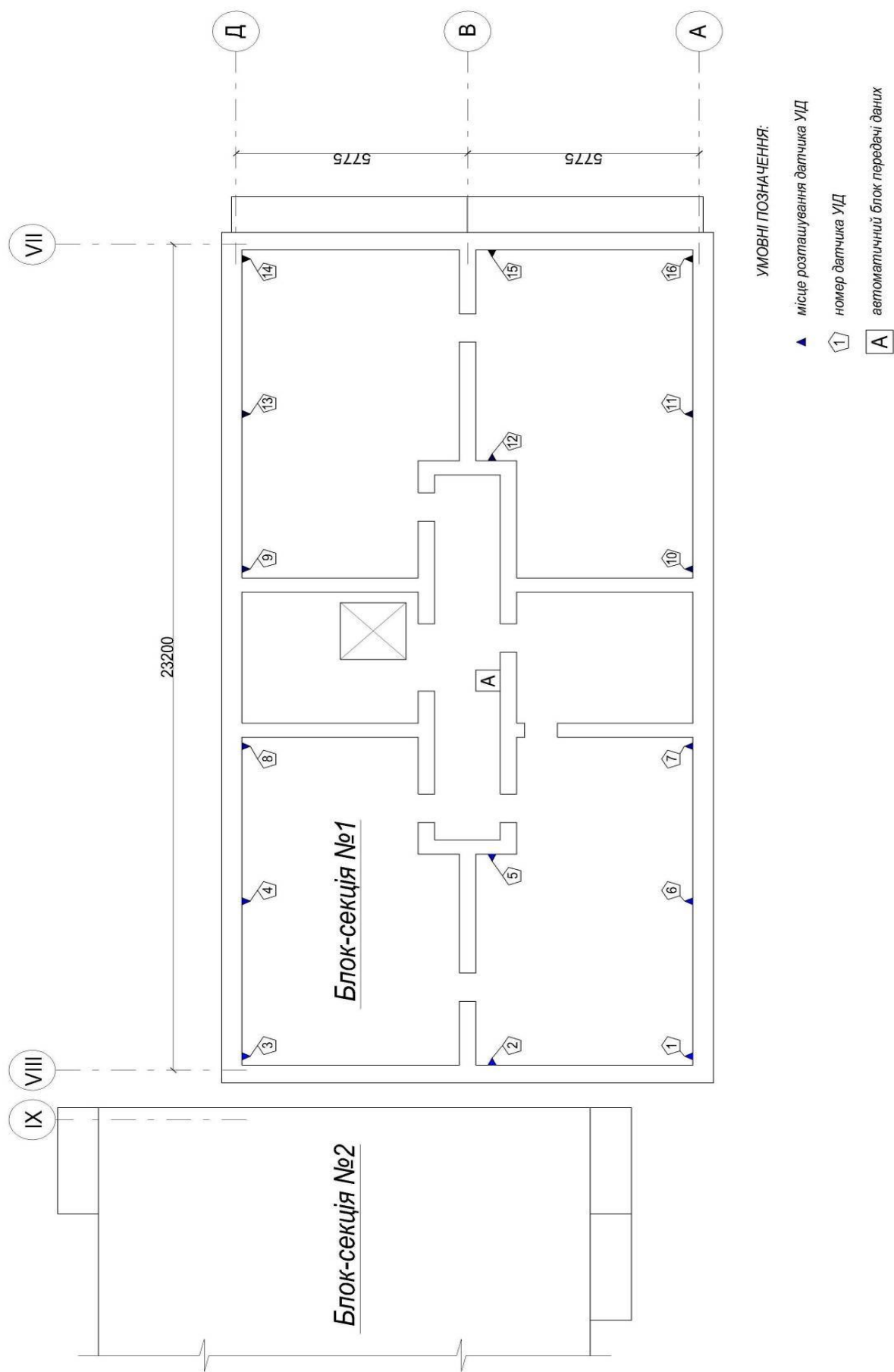


Рис. 4.3. Схема розташування датчиків (УІД) ІТДББ в підвалі блок-секції № 1.

4.2. НТС у процесі виконання підготовчих та земляних робіт

У процесі виконання підготовчих робіт на початок відкопування котловану було виконано: огороження майданчика; зрізання дерев, викорчування пнів; демонтаж плити піддашку входу до під'їзду з залізобетонними та сталевими конструкціями, які підтримували його; демонтаж залізобетонних плит, що накривали деформаційні шви між блок-секціями; демонтаж захисної сталеві обшивки (сталевих листів), що закривала деформаційний шов; демонтаж існуючого асфальтобетонного покриття вимощення на ділянках влаштування котловану; адаптація випуску труб каналізації та газопроводу; шурфування на ділянках знаходження інженерних мереж.

На будівлі були облаштовані деформаційні марки, на прилеглій території – репери. З моменту проведення обстеження будівлі [175] та розробки проєкту [174] пройшло більше шести років. За цей час крен блок-секції міг змінитися, що потребувало коригування проєктних рішень.

Також слід зазначити, що під час вимірювань, які виконувались у 2014 р., деформаційні шви та кути будинків по пр. Інженера Преображенського, 25 були закриті залізом сталеві обшивки. Це могло вносити помилки в результати вимірювання. Для оцінки фактичних кренів кутів блок-секції станом на початок виконання робіт, були виконані вимірювання величин відхилень верхів кутів зовнішніх стін об'єкта від вертикалі.

Виконання вимірів відхилень кутів від вертикалі було обмежене технічними можливостями. Вимірювання відхилення кута «Д/VII», у зв'язку з тим що він ліг на сусідню блок-секцію, взагалі неможливо було виконати. Через листя дерев не було можливості виміряти відхилення кута «А/VII» у поздовжньому напрямку та кута «А/VIII» у поперечному напрямку. Кут «Д/VIII» неможливо було виміряти через побудовану зі зміщенням блок-секцію № 2 житлового будинку № 25. Отримані результати вимірювань наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Величини відхилень та кренів блок-секції № 1 станом на травень 2021 р.

Ряд	Вісь	Напрямок відхилення	Відхилення, мм	Крен і	$\frac{i_{\text{факт}}}{i_{\text{норм}}}$
А	VIII	У площині поздовжньої стіни	162	0,0067	1,34
Д	VIII	У площині поздовжньої стіни	230	0,0095	1,90

Порівнюючи відхилення кутів блок-секції № 1 станом на травень 2021 р. з раніше виконаними вимірюваннями у 2014 р., можна зробити висновок, що за останні 6,5 років крен кутів блок-секції № 1 майже не змінився. Додаткова інформація щодо науково-технічного супроводу в процесі виконання підготовчих та земляних робіт наведена у додатку ГЗ.

4.3. НТС у процесі вирівнювання блок-секції №1 на основі ІТДББ

4.3.1. Вибурювання ґрунту з основи менш деформованої частини фундаментів блок-секції №1

Після закінчення земляних робіт на спланованому дні котловану монтували рейкові колії, що використовували для встановлення, кріплення та переміщення комплекту бурового обладнання, яке необхідне для вирівнювання блок-секції. У подальшому виконувалися монтаж бурових установок та обладнання, розмітка свердловин нижнього ряду. Вирівнювання блок-секції здійснювалося шляхом вибурювання ґрунту з основи менш деформованої частини фундаментів. Як зазначалося раніше, коригування обсягу бурових робіт на даному етапі не виконувалося. Буріння першого та другого рядів виконувалось відповідно до проєкту [174]. Буріння нижнього ряду горизонтальних свердловин виконувалось трьома буровими станками одночасно по захваткам у послідовності, що забезпечувала поступове та

рівномірне ослаблення ґрунтів основи блок-секції будівлі: I захватка (непарні свердловини нижнього ряду): станок № 1 – зі свердловини 1, станок № 2 – зі свердловини 33, станок № 3 виконував буріння похилих свердловин під кутом 180 зі свердловини 61; II захватка (парні свердловини нижнього ряду): станок № 1 – зі свердловини 32, станок № 2 – зі свердловини 60, станок № 3 – зі свердловини 68.

Буріння виконували станками горизонтального буріння УГБ-250А. При виконанні нижнього ряду було пробурено 69 свердловин діаметрами: 130 мм, 160 мм, 190 мм, 220 мм, 250 мм. Слід зазначити, що діаметр у більшості свердловин змінювався за їх довжиною. Довжина більшості свердловин становила 14,6 м з кроком 310...390 мм. Процес виконання бурових робіт нижнього ряду на об'єкті наведено на рис. 4.4. Паралельно виконувався комплекс геологічних (геотехнічних) досліджень з відбору проб ґрунтів ґрунтової подушки для наступних лабораторних досліджень щодо визначення фізичних характеристик ґрунтів подушки. Мета даних робіт – визначити вологісний стан ґрунтів під «плямою» блок-секції. Отримані результати вказували на те, що тіло ґрунтової подушки в місцях буріння випробуваних свердловин складалося з суглинків підвищеної вологості.

Між виконанням бурових робіт нижнього та верхнього рядів мала місце технологічна перерва, пов'язана з підвищенням вологості ґрунту навколо горизонтальних свердловин перфорованої основи. Після закінчення буріння свердловин нижнього ряду було виконано демонтаж обладнання, рейкових колій, часткове зворотне засипання котловану вручну на величину 0,3 м з ущільненням. Повторно монтували рейковий шлях та обладнання, розмічали свердловини верхнього ряду. Після цього двома буровими станками по захватках в котловані перейшли до буріння свердловин верхнього ряду. Процес початку виконання бурових робіт верхнього ряду на об'єкті наведено на рис. 4.5.

Поділ свердловин верхнього ряду на захватки був наступний: I захватка (парні свердловини верхнього ряду): станок № 1 – зі свердловини 70, станок

№ 2 – зі свердловини 80; II захватка – непарні свердловини верхнього ряду.

При виконанні верхнього ряду було пробурено 20 свердловин діаметром 190 мм. Довжина кожної зі свердловин становила 14,6 м з кроком 350...390 мм. У результаті виконання бурових робіт нижче підшви фундаментів утворювалася перфорована основа – отвори свердловин, розділені між собою ділянками непорушеного ґрунту (ціликами). Саме ці цілики після перфорації основи сприймають навантаження від фундаментів будівлі і передають її на нижчі шари ґрунту. Зовнішній вигляд перфорованої основи наведено на рис. 4.6. Завдяки значному навантаженню цілики руйнуються, що супроводжується осіданнями фундаментів будівлі.

Осідання фундаментів супроводжується поступовим закриттям свердловин. Спочатку вони з круглого перерізу набувають еліпсоїдної форми, поступово висота еліпсу зменшується. Замочування ґрунту в свердловинах прискорює руйнацію ціликів та збільшує швидкість осідання. У процесі вирівнювання блок-секції здійснювався геодезичний моніторинг деформацій блок-секції будівлі.

Зважаючи на підвищену вологість ґрунтів основи, осідання фундаментів блок-секції почалися під час виконання бурових робіт першого (нижнього) ряду свердловин. Величина осідань становила 1...20 мм на добу. Найбільш значні осідання мали місце з боку головного фасаду по ряду «А». На підвищення вологості ґрунтів основи з боку котловану вплинули значні атмосферні опади, які мали місце в той час.

Після завершення бурових робіт величина осідань зменшилась. Вірогідно, за рахунок значних температур мало місце висихання ґрунтів ціликів. За рахунок цього підвищилась їх несуча спроможність. Руйнація ціликів перфорованої основи сповільнилась, відповідно і зменшилась величина осідань.



Рис. 4.4. Процес виконання бурових робіт нижнього ряду.



Рис. 4.5. Процес виконання бурових робіт верхнього ряду.



a)



б)

Рис. 4.6. Зовнішній вигляд перфорованої основи (а, б).

Для активізації осідань на потрібних ділянках виконували регламентоване замочування ґрунтів. Замочування ґрунтів здійснювали шляхом подачі води в свердловини, а також в зазор, який утворився між вимощенням та цокольними панелями будівлі зі сторони дворового фасаду. Ці технологічні роботи збільшили швидкість та величини осідань блок-секції.

На наступний день після подачі чергової порції води здійснювали геодезичний моніторинг. За результатами цих досліджень ухвалювали рішення про ділянки наступного замочування ґрунту. Але швидкість осідань поступово зменшувалась. Додаткові замочування не давали потрібного результату. Величина осідання кутів «А/VIII» та «Д/VIII» блок-секції (марки № 1, № 15) відповідно становила 180 мм та 88 мм. Це ~ 55...75% від проектних величин осідань, які повинні були отримати ці кути блок-секції для її вирівнювання. Осідання блок-секції на такі величини дозволили зменшити крени всіх кутів блок-секції до нормативних значень. Але цього було недостатньо для припинення робіт, адже відхилення кутів від вертикалі все ще мали значні величини. Для зменшення відхилення кутів блок-секції від вертикалі приступили до буріння верхнього ряду свердловин.

Буріння другого ряду горизонтальних свердловин спричинило активізацію осідань. За рахунок підвищеної вологості ґрунтів внаслідок тривалого регламентованого замочування основи, осідання фундаментів блок-секції проходили плавно, поступово, без значного збільшення величин осідань. Максимальна швидкість осідань на цей момент становила 6 мм за добу. В подальшому осідання блок-секції продовжувалися ще протягом тривалого часу, але швидкість їх поступово зменшувалась. Для активізації осідань на потрібних ділянках продовжували виконувати замочування ґрунтів.

На час завершення робіт з усунення наднормативних кренів та стабілізації осідань не всі горизонтальні свердловини закрилися повністю. Круглі свердловини набули еліпсоподібної форми та зменшилися в діаметрі, але отвори частково залишилися. Для виключення деформацій в подальшому такі свердловини були затампоновані бетоном, після чого приступили до зворотного

засипання котлованів. Свердловини №№ 65...69, які були розташовані в районі осі «VII», забетонували в першу чергу, ще до початку буріння верхнього ряду свердловин. Це дозволило стабілізувати в подальшому осідання цієї частини блок-секції. Виконані роботи з регулювання висотного положення блок-секції дозволили зменшити відхилення її кутів від вертикалі, а крени кутів – ввести в нормативні показники. Спостереження за осіданнями об'єкта геодезичним методом тривали до 10.11.2021. Останні два місяці осідання фундаментів блок-секцій були незначні. За останній цикл геодезичних спостережень величина осідань блок-секції склала 0...1 мм. На період виконання останнього циклу геодезичних спостережень максимальна швидкість осідання була меншою за швидкість умовної стабілізації осідань будівлі, яка дорівнює 0,1 мм/добу. Тобто умовна стабілізація настала.

Максимальна швидкість осідання (V) розраховується за формулою:

$$V = \frac{S}{T}, \text{ мм/добу}$$

де S – максимальне осідання, зафіксоване на час проведення циклу геодезичних спостережень, мм; T – період часу між циклами, кількість діб.

Максимальна величина осідань за останній цикл спостережень $S=1$ мм. Максимальна швидкість осідання за останній цикл склала:

$$V = \frac{1}{30} = 0,033 \text{ мм/добу}$$

Контроль деформацій блок-секції за допомогою інформаційно-обчислювальної моніторингової системи здійснювали до 30.09.2021. На цей час датчики вже практично не фіксували переміщення маятників. Результати змін планово-висотного становища блок-секції № 1 за весь час контролю здійснювався ІТДББ.

4.3.2. Результати роботи складової ІТДББ – датчиків кутових деформацій

На графіках (рис. 4.7 – рис. 4.9) наведена залежність швидкості

зміщення маятника і зміни крену від часу за всіма датчиками УІД за весь час спостережень. З метою контролю зміни кренів блок-секцій, під час вирівнювання були виконані вимірювання величин відхилення від вертикалі верхів кутів зовнішніх стін. Вирівнювання виконували методом проктування з використанням теодоліту. Вимірювання величин відхилення від вертикалі верхів кутів зовнішніх стін блок-секції виконували до початку робіт з регулювання її планово-висотного положення, в процесі виконання робіт та після їх закінчення.

Вимірювання відхилень від вертикалі та розрахунок крену здійснювалися на позначці верху стінових панелей дев'ятого поверху (позначка 24,30 м) по відношенню до відмітки підлоги першого поверху $\pm 0,00$ блок-секції. Парапетні панелі мали візуальне відхилення, зміщення від інших панелей блок-секції. Тому при вимірюванні відхилень кутів блок-секцій від вертикалі та визначені кренів, висоту парапетних панелей не враховували. При вимірюваннях враховувалося зменшення товщини панелей верхніх поверхів. Виконання вимірів відхилень кутів від вертикалі було обмежене технічними можливостями. Також для відображення відхилень від вертикалі блок-секцій житлових будинків між собою були зроблені виміри ширини деформаційних швів між секціями. 04.11.2021 проводилися виміри ширини деформаційного шва у рівні парапетів будівель.

За отриманими даними було встановлено, що величина розкриття деформаційного шва між блок-секціями № 1 житлового будинку № 25 та № 3 житлового будинку № 23 у верхній частині будівель дорівнювала 440 мм. Слід зазначити, що до початку вирівнювання цей розмір становив 0 мм. Після вирівнювання блок-секцій № 3 та № 1 ширина деформаційного шва між цими під'їздами будівель стала приблизно однаковою по всій висоті будівлі.

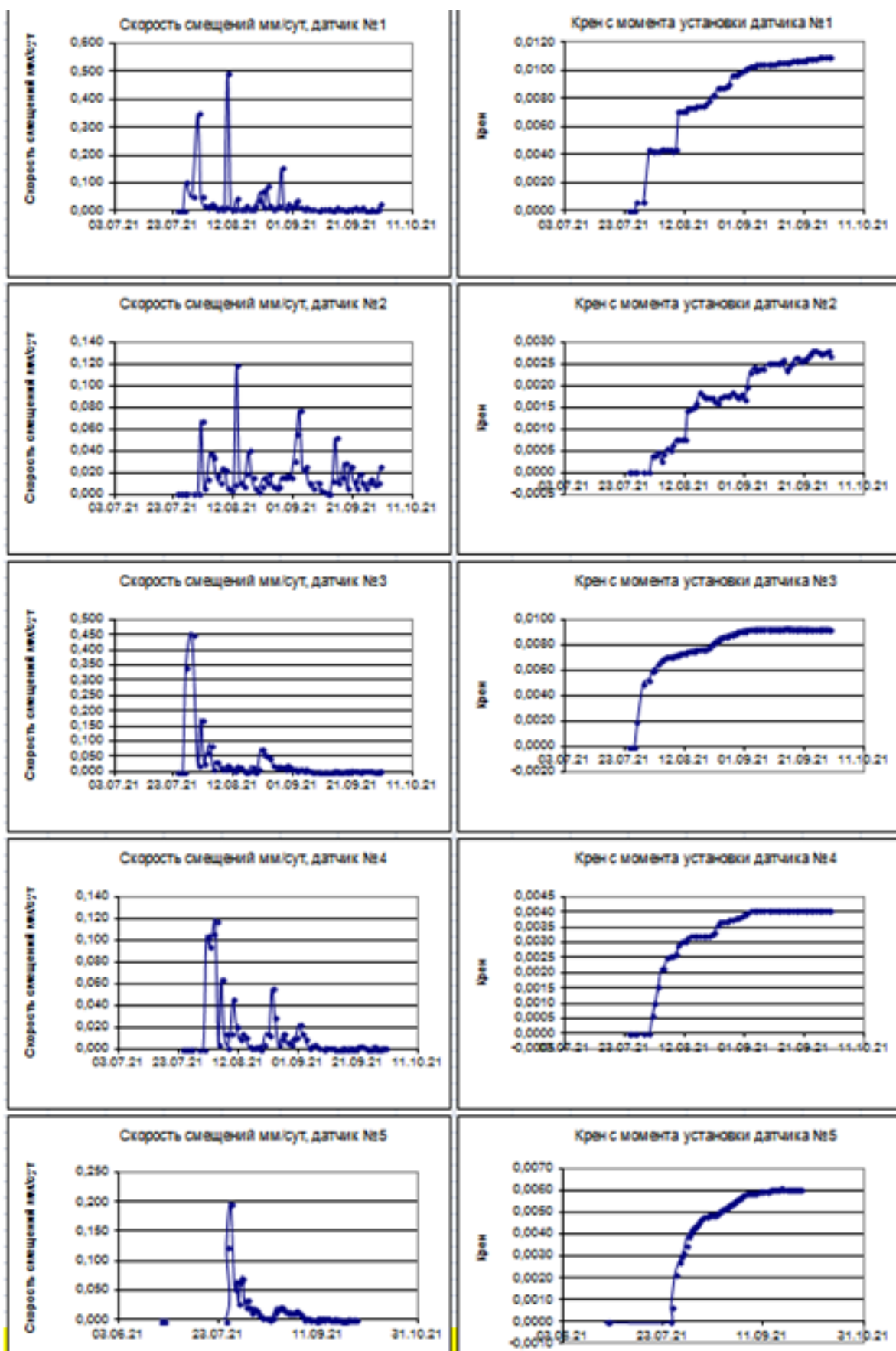


Рис 4.7. Графіки залежності швидкості зміщення маятника (мм/добу) і зміни крену від часу за датчиками УІД №№ 1...5 протягом усього часу спостережень.

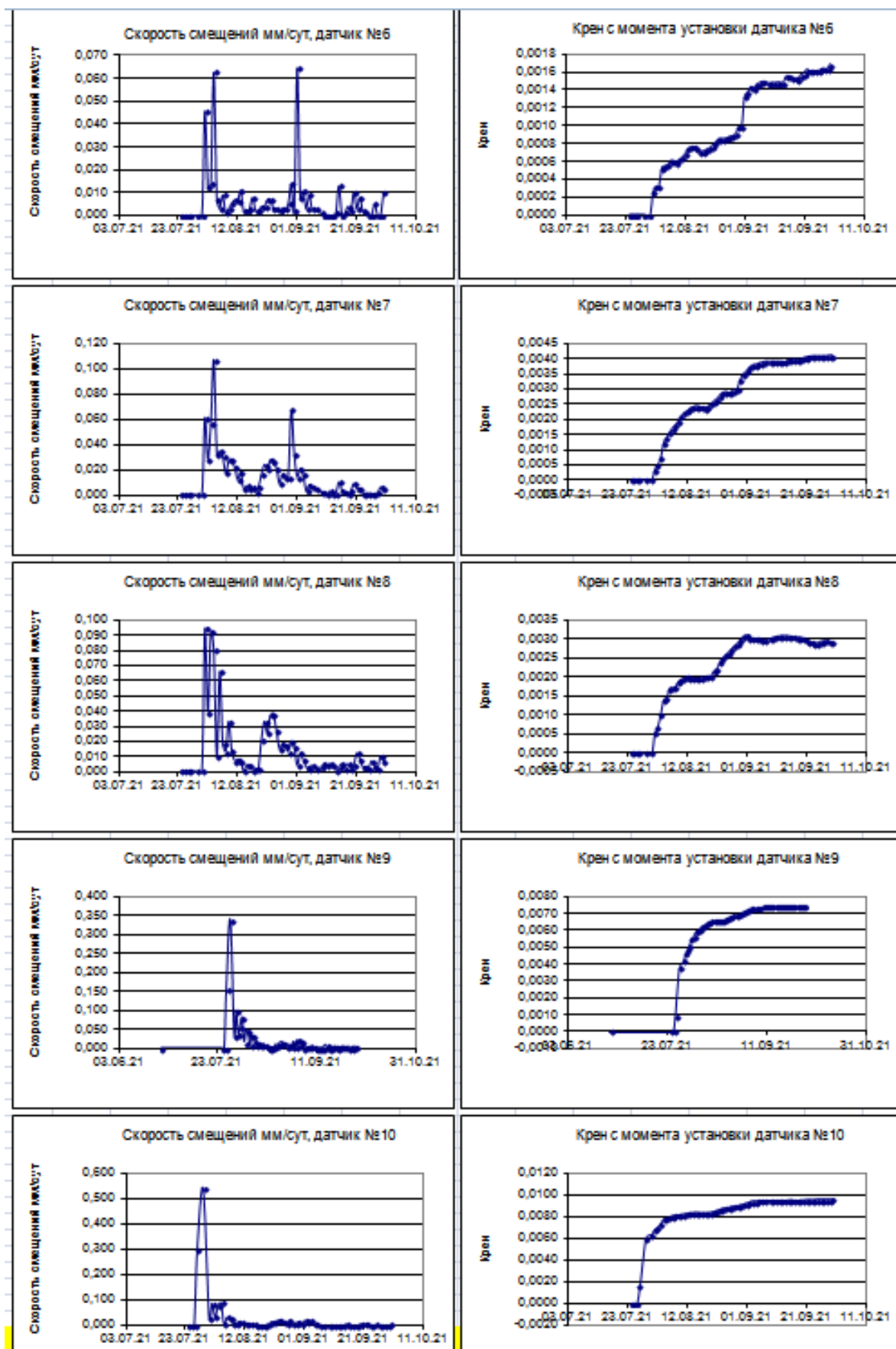


Рис. 4.8. Графіки залежності швидкості зміщення маятника (мм/добу) і зміни крену від часу за датчиками №№ 6...10 протягом усього часу спостережень.

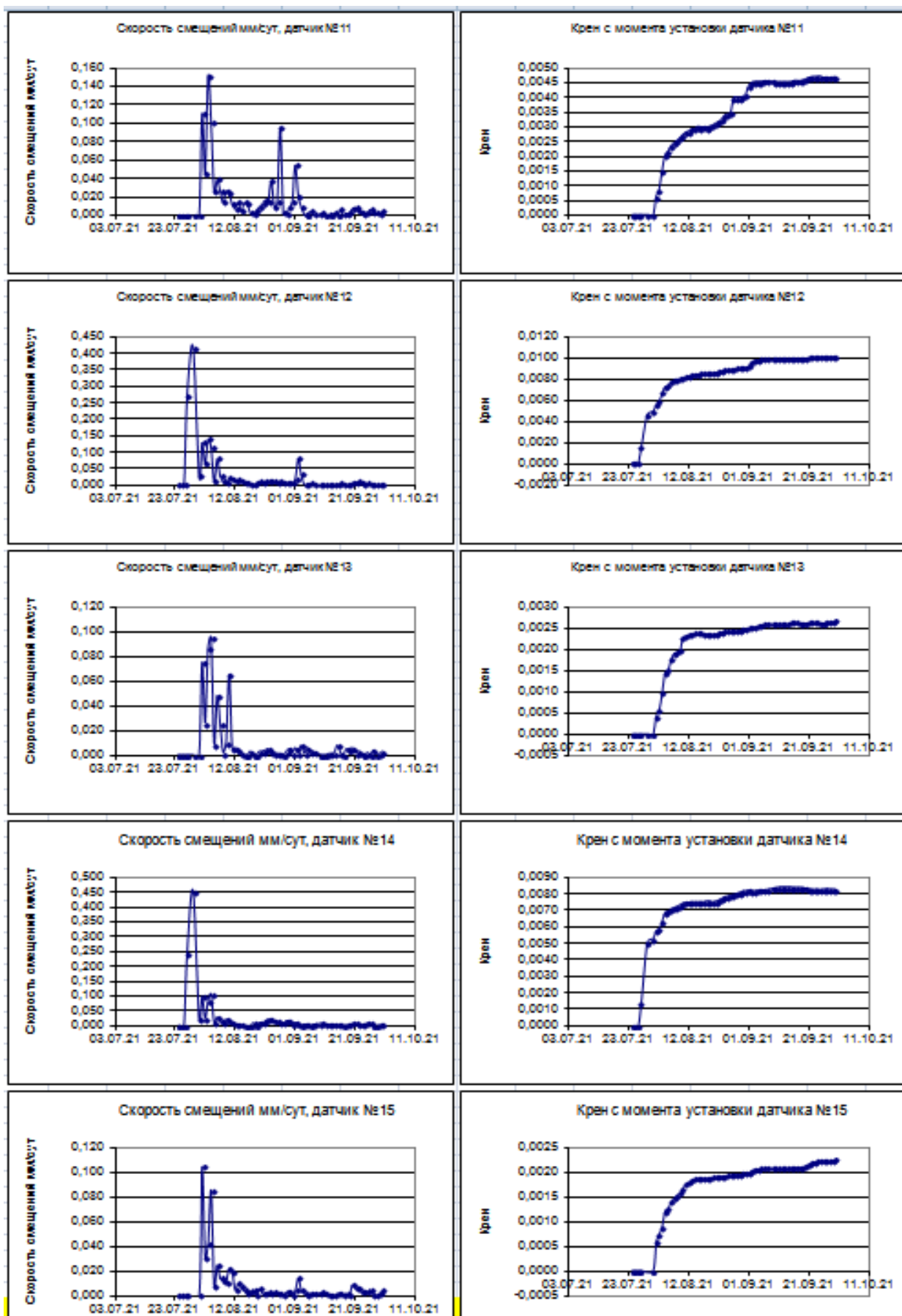
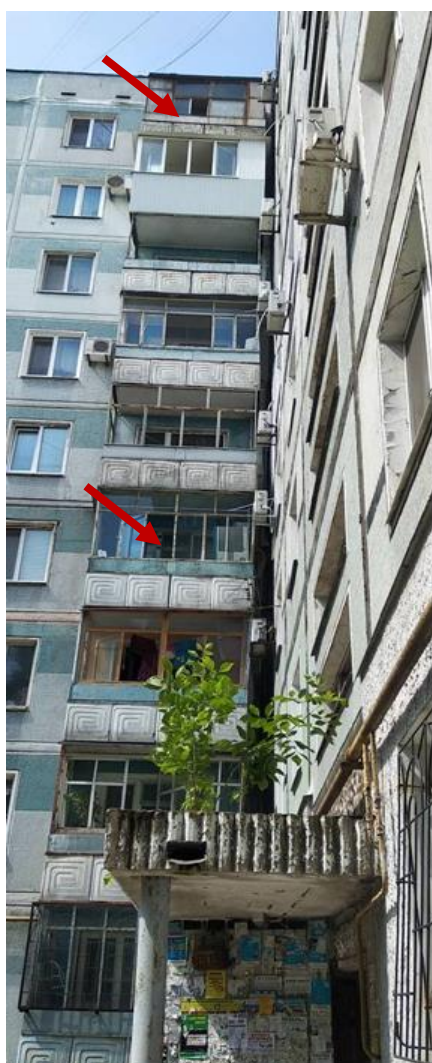


Рис. 4.9. Графіки залежності швидкості зміщення маятника (мм/добу) і зміни крену від часу за датчиками №№ 11...15 протягом всього часу спостережень.

Зовнішній вигляд деформаційного шва між блок-секцією № 3 житлового будинку № 23 та № 1 житлового будинку № 25 до та після усунення наднормативних кренів наведено на рис. 4.10. Величина розкриття деформаційного шва між блок-секціями № 1 та № 2 житлового будинку № 25 у верхній частині будівель дорівнювала **240 мм** в районі ряду «А» та **320мм** – в районі ряду «Д».

До початку вирівнювання ці величини становили **460 мм** та **580 мм** відповідно.



а)



б)

Рис. 4.10. 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.

4.3.3. Візуалізація кутових деформацій ББ в процесі вирівнювання за допомогою ІТДББ (складова ІТДББ – програма «Pendulum»)

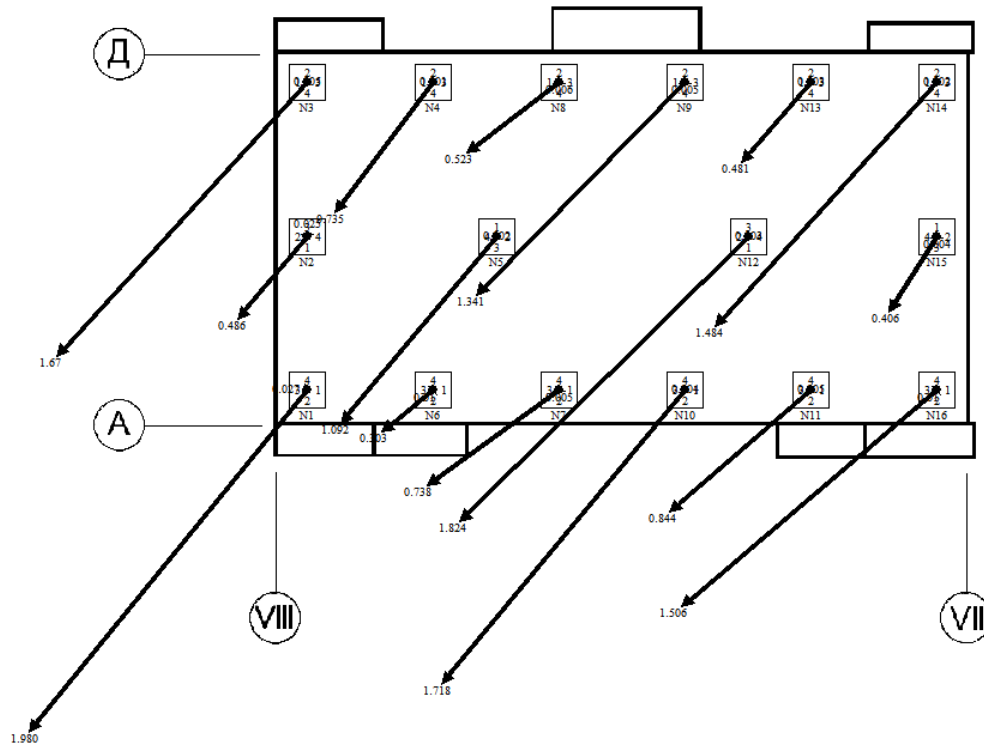
Для наочності та зручності аналізу результатів вимірювань деформацій основи та будівлі, результати вимірювань комп'ютерна програма «Pendulum» видає і у графічній формі. Нижче, на рис. 4.11, представлені результати вимірювань, виконаних 30.09.2021, у графічній формі. На рис. 4.11(a) наведено напрямки і величини переміщення всіх контрольованих ділянок будівлі. Вектори вказують напрямок відхилення маятника, а отже, і ділянки будівлі, де були розташовані датчики УІД протягом усього часу спостережень. Усі вектори збудовані у масштабі. Відрізок, що дорівнює одному міліметру, наведено в нижній частині цього рисунку.

На векторних діаграмах (рис. 4.11(б)) вектор вказує напрямок переміщення маятника за весь час спостережень. Цей вектор вказує на переміщення контрольованої ділянки будівлі за проміжок часу між останніми вимірами. Переміщення маятників датчиків виглядає у вигляді ламаної лінії (рис. 4.11(б)). Прямолінійні ділянки ламаної лінії між двома точками на ній показують зміщення конструкцій ділянки будівлі, де були встановлені датчики, від вертикалі за час між вимірами.

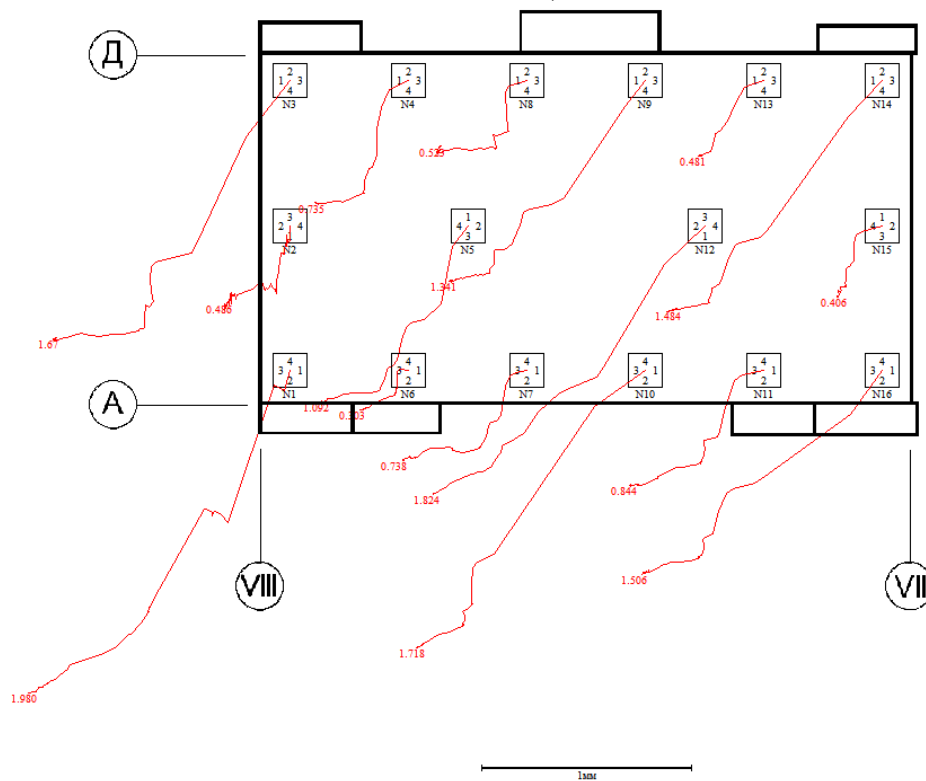
4.3.4. Підсумкові результати ІТДББ.

Аналізуючи підсумкові результати ІТДББ (складова ІТДББ – ІВС «Моніторинг»), можна зазначити, що всі датчики кутових деформацій за час спостережень фіксували постійну зміну крену в одному, проектному, напрямку в бік кута «А/VIII». За результатами моніторингу за допомогою ІВС «Моніторинг» можна виділити чотири основні фази зміни крену контрольованих частин вирівнюваної блок-секції.

Враховуючи, що зміна крену пов'язана з нерівномірними осіданнями, то, відповідно, можна виокремити також п'ять фаз змін крену блок-секції:



a)



б)

Рис. 4.11. Напрямки та величини (а) та характер (б) переміщень всіх контрольованих ділянок блок-секції №1 за весь час спостережень за деформаціями блок-секції під час вирівнювання.

1. Перша фаза – під час виконання бурових робіт.
2. Друга – активні прогресуючі деформації після закінчення виконання бурових робіт.
3. Третя фаза –стабілізація осідань після завершення бурових робіт.
4. Четверта фаза – прогресуючі деформації та регулювання технологічних осідань фундаментів шляхом зволоження ґрунту навколо свердловин.
5. На останній, п'ятій, фазі після завершення активних осідань спостерігалася стабілізація деформаційних процесів.

Всі ці фази мали різний період часу. Але вони фіксуються на всіх графіках зміни крену маятників датчиків (рис. 4.7 – рис. 4.9). Також на рис. 4.7 – рис. 4.9 зафіксована зміна швидкості приросту кренів.

Доби, коли мала місце максимальна швидкість приросту кренів (нерівномірних осідань), зафіксовані під час дії другої та четвертої фаз.

Під час дії всіх фаз мало місце зменшення та збільшення добових приростів кренів. Це пов'язано з величинами нерівномірних осідань, що відбулись за цю добу.

Результати вирівнювання блок-секції загалом можна оцінити за результатами вимірювання відхилень її кутів від вертикалі та визначення їх кренів.

У таблиці 4.2 наведені фактичні величини відхилень від вертикалі кутів блок-секції № 1 та їх кренів після стабілізації осідань після її вирівнювання.

Таблиця 4.2

Величини відхилень та кренів блок-секції № 1 станом на 04.11 2021

Ряд	Вісь	Напрямок відхилення	Відхилення, мм	Крен і	$\frac{i_{\text{факт}}}{i_{\text{норм}}}$
А	VII	В площині поздовжньої стіни	80	0,003	0,60
	VII	В площині поперечної стіни	96	0,004	0,80
	VIII	В площині поздовжньої стіни	50	0,002	0,40
	VIII	В площині поперечної стіни	46	0,0019	0,38
Д	VII	В площині поперечної стіни	9	0,0004	0,08
	VIII	В площині поздовжньої стіни	64	0,0026	0,52

Відповідно до проєкту, після виконання вирівнювання висотне положення блок-секції мало перебувати в межах нормативних значень відповідно до [2]. Нормована величина кренів для даного класу будівель становить 0,005.



а) б) в)
Рис. 4.12. Зворотне засипання котловану та контроль якості: а) розсипання та розрівнювання ґрунтів навантажувачем; б) ущільнення ґрунту віброкатком; в) відбір зразків ґрунтів для лабораторних досліджень.

4.4. НТС після закінчення вирівнювання блок-секції

Програма науково-технічного супроводу на даному етапі виконання робіт передбачала діагностику будівельних конструкцій блок-секції та контроль якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану на основі ІТДББ. Відповідно до робочого проєкту, після закінчення робіт з вирівнювання блок-секції № 1 було виконано зворотне засипання котловану ґрунтами з їх пошаровим ущільненням. Ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану мало здійснюватися до щільності ґрунтів в сухому стані $\rho_d \geq 16,00 \text{кН/м}^3$. Зворотне засипання котловану виконувалося пошарово. Ґрунти з майданчика тимчасового зберігання привозив навантажувач, розсипав та розрівнював (рис. 4.12(а)). Пошарове ущільнення ґрунтів здійснювали механізованим способом за допомогою пневмотрамбування та віброкатка. Процес ущільнення ґрунтів під час виконання зворотного засипання котловану наведено на рис. 4.12(б).

Польові роботи інженерно-геологічних вишукувань з контролю якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання були виконані в котловані,

відкопаному з боку головного фасаду блок-секції № 1.

Контроль якості ущільнення ґрунтів здійснювався в міру засипання котловану шляхом відбору проб ґрунтів (рис. 4.12(в)) з подальшими лабораторними дослідженнями та камеральною обробкою даних в обсягах, передбачених договором. Опробування ґрунтів зворотного засипання котловану включало відбір проб ґрунтів непорушеної структури (монолітів). Лабораторні дослідження відібраних проб ґрунтів (монолітів) полягали у визначенні фізичних властивостей ґрунтів (вологостей, числа пластичності та показника текучості, щільностей ґрунту та сухого ґрунту). Камеральна обробка отриманих даних щодо встановлення якості ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану полягала в цифровому відображенні отриманих результатів. Обчислення відміток глибин відбору проб ґрунтів (пунктів відбору) виконувалося від умовної проєктної [174] позначки $\pm 0,00$ м.

Встановлені фізичні характеристики ґрунтів зворотного засипання котловану, відритого для вирівнювання блок-секції № 1 будівлі, вказують на наступне: матеріал зворотного засипання – лесові суглинки з гумусом та жорсткою (будівельним сміттям); щільність сухого ґрунту ρ_d змінюється від $16,15 \text{ кН/м}^3$ до $18,56 \text{ кН/м}^3$.

Про отримані результати контролю якості пошарового ущільнення ґрунтів зворотного засипання котловану інформували виробника робіт, який приймав відповідні рішення, та надалі проводили додаткові ущільнення ділянок, де раніше було зафіксовано низькі значення щільності сухого ґрунту.

4.5. Висновки до розділу 4

1. Основна мета загального комплексу робіт з усунення наднормативних кренів трьох блок-секцій з використанням ІТДББ була досягнута при одночасному забезпеченні надійного функціонування ББ протягом всього процесу вирівнювання без зупинки функціонування інженерних мереж, технологічного обладнання (ліфти та ін.) та відселення мешканців.

2. Використовувалась ІТДББ, яка містила наступні елементи: інклінометричні датчики – 16 датчиків на кожній блок-секції; блок збору, накопичення та передачі інформації за допомогою хмарних технологій; програмний комплекс ЛПРА-САПР для обчислення НДС ББ протягом процесу ліквідації кренів блок-секцій в онлайн-режимі; програма обробки експериментальної та розрахункової інформації («Pendulum») для підтримки прийняття рішень ОПР в умовах невизначеності та ризику аварій. Фактично для ББ, що зазнала крену та вирівнюється, було створено цифровий двійник (Digital Twin), що функціонує в онлайн-режимі.

3. ІТДББ функціонувала в умовах постійної зміни кренів блок-секцій, ФМВ ґрунтів основи, властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій та забезпечувала безперервне функціонування ББ без відселення її мешканців.

4. В результаті виконаного вирівнювання об'єкта було досягнуто розкриття деформаційного шва між блок-секціями №3 житлового будинку №23 та №1 житлового будинку №25. У рівні технічного поверху будівель величина розкриття деформаційного шва становила 440 мм, що дозволило ліквідувати надпроектні напруження, які діяли в будівельних конструкціях, та запобігти силовим руйнаціям блок-секцій.

5. Планово-висотне положення трьох блок-секцій після їх вирівнювання задовольняє вимогам проєктів та діючих будівельних норм України.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки методологічної, апаратної, математичної та програмної реалізації інформаційної технології діагностування поточного стану багатоповерхової будівлі (ІТДББ) для підтримки прийняття рішень в процесі ліквідації наднормативних кренів багатоповерхових будівель. 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 фізико-механічних характеристик 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.

У роботі отримані такі нові наукові та практичні результати:

1. *Уперше* розроблено інформаційну технологію діагностування поточного стану ББ для ліквідації крену будівлі в умовах постійної зміни її вертикального положення, фізико-механічних характеристик ґрунтів основи

та властивостей матеріалів окремих будівельних конструкцій (тріщиноуорення) протягом всього часу вирівнювання та 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 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, який 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, математичної моделі бурозмішувальних сумішей для закріплення фундаментів будівлі після завершення процесу вирівнювання.

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 час 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи оптимізації та системного аналізу для задач трансобчислювальної складності / І.В. Сергієнко – К: Академперіодика, 2010. – 293 с.
2. Елементи загальної теорії оптимальних алгоритмів та суміжні питання / І.В. Сергієнко, В.К. Задірака, О.М. Литвин. – К.: Наук. думка, 2012. – 400 с.
3. Численно-аналитические методы исследования волновых процессов / А.В. Гладкий, И.В. Сергиенко, В.В. Скопецкий -К.: Наук. думка, 2001. – 452 с.
4. О численном моделировании и оптимизации однонаправленных волновых процессов в неоднородных средах / А.В. Гладкий, В.В. Скопецкий // Кибернетика и системный анализ. 2010. № 5. С.177–186.
5. Об исследовании алгоритмов расщепления в задачах конвекции-диффузии / А.В.Гладкий // Кибернетика и системный анализ. 2014. № 4. С. 76 –88.
6. Інформаційні технології в екології (Розвиток та порівняльна характеристика) / В.В. Скопецкий // 50 років Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України : пр. Міжнар. конф., Україна, Київ, 24 – 26 груд. 2008 р. – К., 2008. С. 122–125.
7. Рациональная аппроксимация систем с распределенными параметрами / В.Ф. Губарев // Кибернетика и системный анализ. 2008. № 2. С. 99–115.
8. Khimich, O.M., Popov, O.V., Chistyakov, O.V. et al. (2020). A Parallel Algorithm for Solving a Partial Eigenvalue Problem for Block-Diagonal Bordered Matrices. *Cybern Syst Anal* 56, 913–923.
9. Khimich, A.N., Nikolaevskaya, E.A. (2020). Existence and Uniqueness of Weighted Normal Pseudosolutions. *Cybern Syst Anal* 56, 544–549.
10. Сейсмостойкость сооружений с учетом их взаимодействия с грунтовым основанием / А.Н. Трофимчук - К.: УИИОСР. 2004. – 72 с.
11. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / А.М. Гомилко, О.А.Савицкий, А.Н. Трофимчук. – Киев: Наукова Думка, 2016. – 435 с.
12. The synthesis of mathematical models of nonlinear dynamic systems using volterra integral equation / B. Mokin, V. Mokin, O. Mokin, O. Mamyrbaev, S. Smailova

- // Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 12(2), 2022. P. 15-19.
13. Method for selecting the ranking criteria for monitoring stations of the status of spatially distributed systems and for defining the priority of their location / V.B. Mokin, L.M. Skoryna, A.R. Yascholt, Y.M. Kryzhanivskiy // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv, Ukraine, 2017. P. 870-875.
 14. Algorithms for Searching Congestions on the Basis of the Analysis of Entropic Characteristics of Network Traffic / A. Moshenskyi, P. Stanko, A. Toroshanko, N. Yakymchuk // Magyar Tudományos Journal. – 2021. – № 49. – P. 52–58.
 15. Автоматизована система передачі даних про стан об'єктів критичної інфраструктури із застосуванням сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій [Електронний ресурс] / С. М. Чумаченко, А. С. Парталян, А. О. Мошенський, М. Л. Сукало, Л. Д. Філатова. // Інженерія природокористування. – 2021. – № 3 (21). – С. 127–135. – Режим доступу : <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/37081/1/3-51.pdf>
 16. Mathematical Modelling of Spatial Deformation Process of Soil Massif with Free Surface / A. Vlasyuk, N. Zhukovska, V. Zhukovsky, R. Hesham. - Advances in intelligent systems and computing IV. Vol. 1080, 2020. P.107–120.
 17. Generalizing the Infectious Disease Model Taking Into Account Diffusion Perturbations, Logistic Dynamics, and Biostimulation / S.V. Baranovsky, A.Y. Bomba // Cybern Syst Anal 59, 2023. P. 134–145.
 18. Generalization of the antiviral immune response model for complex consideration of diffusion perturbations, body temperature response, and logistic antigen population dynamics / S.V. Baranovsky, A.Y. Bomba, S.I. Lyashko // Cybern. Syst. Analysis, Vol. 58, No. 4, 2022. P. 576–592.
 19. Wave propagation and diffraction. Mathematical methods and applications / I.T. Selezov, Yu.G. Kryvonos, I.S. Gandzha. - Springer, 2018. – 237 pp. In Series Foundations of Engineering Mechanics.
 20. Развитие и приложение метода Коши-Пуассона в эластодинамике слоя и

- уравнение Тимошенко / И.Т. Селезов // Кибернетика и системный анализ, № 3, 2018. С. 106–115.
25. Bidyuk P., Prosyankina-Zharova T., Terentiev O. Modelling Nonlinear Nonstationary Processes in Macroeconomy and Finances. *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing / Ed. Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. Cham : Springer, 2019. Vol. 754. P. 735–745. URL: http://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_72*
 26. Trofymchuk O. M, Bidiuk P. I., Prosiankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Decision support systems for modelling, forecasting and risk estimation: monography. Riga : LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019. 176 p.
 27. Bidyuk P. I., Davidenko V. I., Trofimenko D. V., Terentyev A. N. Comparative analysis of estimation methods of vertices correlation while Bayesian networks construction. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2010. №42(11). P. 36–45.
 28. Kaliukh I., Vasylenko V., Berchun Y., Vapnichna V., Sedin V. and Tytarenko O., "The Computational Intelligence application for assessing the technical state of a multi-storey building damaged by an explosion," 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312914.
 29. Zgurovsky M.Z., Zaychenko Y.P. *Big Data: Conceptual Analysis and Applications. International Publishing Switzerland: Springer International Publishing 2019. 277 p.*
 30. Zgurovsky M.Z., Zaychenko Y.P. *The Fundamentals of Computational Intelligence: System Approach. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 375 p.*
 31. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. *Основи системного аналізу. Київ : Видавнича група BHV, 2007. 544 с.*
 32. Dovgiy, S., Koriika, O., Kozlov, O., & Lytvynenko, A. (2023). Інформаційні технології ІТ-сервісів архітектури додатків. *Екологічна безпека та*

- природокористування*, 47(3), 75–93. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.3.75-93>
33. Довгий, С., Копійка, О., & Козлов, О. (2023). Передача інформації в автоматизованих системах спеціального призначення. Екологічна безпека та природокористування, 45(1), 76–90. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.76-90>
34. Trofymchuk O. M., Bidyuk P. I., Prosyankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Forecasting nonstationary processes in demography, ecology, economy and finances. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : колективна монографія / ред. С. О. Довгий. Київ : Юстон, 2018. С. 113–123.
35. Дунін В.А. Вплив промислових вибухів на довговічність конструкцій будівель в умовах м. Кривий Ріг / В.А. Дунін. – Дисертація кандидата технічних наук. На правах рукопису. 05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди. ДП НДІБК. 2021. – 205 с.
36. Mathematical modelling of building constructions using hybrid computing systems / A.Y. Baranov, A.V. Popov, Y.E. Slobodyan, A.N. Khimich // Journal of Automation and Information, 2017, 49(7). P. 18–32.
37. Марьенков Н. Г. Развитие теории и методов расчета сейсмостойких зданий и сооружений. - На правах рукопису. 01.05.01 — 05.23.01 — Будівельні конструкції, будівлі та споруди. ОГАСА 2012. – 315 с.
38. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 / К. Бабік, Ю. Калюх, М. Мар'єнков та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).
39. Быков Г.А., Карп И.Н., Мхитарян Н.М. Перспективные направления энергоэффективности зданий//Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. - № 6. – С.21-25.
40. Патон Б.Є. Проблеми ресурсу конструкцій, споруд та обладнання в Україні//Труди Всеукраїнської науково-практичної конференції

- “Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми”.-К.:НДІБК.-2001.- С.18-23.
41. Белошенко В.А., Шелудченко В.И., Титиевский В.И. Технический мониторинг объектов теплоснабжения//Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техніка, 2000. – Вып. 21. – С.114-120.
 42. Меняйленко О. С., Шевчук О. Б. Аналіз сучасних інформаційних експертних систем економічного напрямку. Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Луганськ, 2012. № 21. С. 95–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vlup_2012_21_15 (дата звернення: 12.01.2021).
 43. Bidyuk P. I, Menyailenko O. S., Polovtcev O. V. Methods of Forecasting., Lugansk: Alma Mater, 2008. 608 p.
 44. Leonard M., Sloan J., Lee, Elsheimer B. An Introduction to Similarity Analysis Using SAS. Proceedings of the SAS Global Forum 2007. 2007. 22 p. URL: <https://support.sas.com/rnd/app/ets/papers/similarityanalysis.pdf>.
 45. Sankoff D., Kruskal J. Time warps, string edits, and macromolecules: The theory and practice of sequence comparison. Stanford, CA : CSLI Publications Stanford University Cordura, 1999. 408 p.
 46. Bidyuk P., Prosyankina-Zharova T., Terentiev O., Medvedeva M. Adaptive modelling for forecasting economic and financial risks under uncertainty in terms of the economic crisis and social threats. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2018. №4. С. 24–36. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.135483>.
 47. Сейсмоакустический мониторинг земной коры. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – 296 с.
 48. Бухштабер В.М., Масолов В.К., Маркин В.Г. в кн. Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 124-128.
 49. Исачков А.В., Бойко С.И., Былинкин М.В. Автоматизация формирования и анализа постановлений о приостановке эксплуатации

- объектов//Информационные технологии в пожарной охране: Сб. науч. Тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР – Харьков: Мин. Обр. Украины, МВД Украины, 1993. – С. 66-68.
50. *Advances in mapping//Fire.* – 1994.- 86, № 1064. – P. 47.
51. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. – Д.: Континент L., 2002- Ч.1. Основы мониторинга. – 208 с.
52. Зыков Ю.Д. Мониторинг природно-технических систем. В сб. Разработка концепции мониторинга природно-технических систем//М., ИФЗ, 1993.- С.61.)
53. Николаев А.В. В кн. Физические основы сейсмоакустического метода. – М.: Наука, 1991. – С.5-17.
54. Сейсмоакустический мониторинг земной коры. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – С.296.
55. Сытник К.М., Брайон Ф.В., Гордецкий А.В., Брайон А.П. Словарь-справочник по экологии. К.: Наук. думка, 1994.- 666с.
56. Статистический словарь. М.: Статистика, 1989. – 622 с.
57. Новий російсько-український словник-довідник юридичної, банківської, фінансової, бухгалтерської та економічної сфери. К.: “Довіра”, 1998. – 780 с.
58. Сырых В.Н. Мониторинг противопожарного состояния объекта с применением автоматизированной системы. Д.к.т.н. 05.26.02./Хар. Гос. тех. ун-т. стр. и архит. – Х. 1996 . – 252 л.
59. Комплексные геодезические исследования при строительстве гидротехнических сооружений. Под ред. Савича А.И., Куянджича Б.Н.//М., Наука, 1990. – 463 с.
60. Молоков Л.А. Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой//М., Недра, 1988. – 223 с.
61. Писаренко В.Ф. Обработка данных режимных наблюдений В сб. Разработка концепции мониторинга природно-технических систем//М., ИФЗ, 1993, С.132.

62. Построение современных измерительных систем на базе стандартных интерфейсов/ Т.И. Кривченко, Е.А. Станкевич, А.В. Клементьев, Г.Н. Новопащенко//Приборы и системы управления. – 1995. - № 1. С.1-6.
63. Руднев П.И., Шияев С.Н. Один компьютер – вся измерительная лаборатория. Осциллографы//Приборы и системы управления. – 1999. - № 3. С.22-25.
64. Руднев П.И., Шияев С.Н. Один компьютер – вся измерительная лаборатория. Спектроанализаторы//Приборы и системы управления. – 1999. - № 3. С.24-26.
65. Лозицкий Л.П., Тарасенко А.В. Разработка АСУ ТС двигателей ПС-9001//Обеспечение надежности авиационных двигателей в эксплуатации: Сб. науч. тр. – Киев: КИИГА.- 1993.- С.10-20.
66. Титиевский В.И. Синхронный температурный мониторинг отопительных систем и отапливаемых помещений. Д.к.т.н. 05.23.03./ Донб.гос.акад. стр-ва и архитектуры. – Макеевка. 2002. – 175 л.
67. Башмаков И.А. Тепло, деньги и жилищная реформа//Водоснабжение и санитарная техника. – 1997. - № 11. –С.20-25.
68. Комплексная система автоматизации и диспетчеризации очистных сооружений/А.И. Щетинин, С.Е. Белотелов, С.А. Клименко и др.//Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. - № 12. – С.18-19.
69. Петришин Л.Б. Автоматизована система контролю та обліку газоспоживання – АСКОГаз//Нафтова і газова промисловість. – 1998. - № 1. – С.40-42.
70. Воробьев Е.П. Микросхемы контроля температуры//Приборы и системы управления. – 2000. - № 7. – С.63-69.
71. Режим доступа: <http://www.dalsemi.com>(фирма Dallas Semiconductor).
72. Бех А.Д., Чернецкий В.В. Автоматические сети сбора и передачи технологической информации // Управляющие системы и машины. – 1995. - № 4/5. – С.33-36.
73. Режим доступа: <http://www.cix.co.uk/~autronica-offshore/catalog/> (Autronica Marine, NK-100).

74. Режим доступу: <http://www.kistler.com/> (Kistler Instrument Corporation).
75. Режим доступу: <http://www.avl.com/> (AVL LIST GES.M.B.H).
76. Варбанец Р.А. Мониторинг и расчет рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации. Дисмертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.04.15/ ОГМУ. - О.: 1997. - 198 с.
77. Савйовский В.В., Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий.-Харьков: ВАТЕРПАС,1999.-288с.
78. Стан природно-техногенної безпеки України та основні напрями підвищення її рівня//Надзвичайна ситуація. Додаток.-2001.-№2.-96с.
79. Аварії на будівлях і спорудах та їх попередження. Матеріали Другої науково-технічної конференції. Київ, 1999. - К. - 1999.
80. Толстов А.Г. Вибрационная диагностика. Измерительная информация. Анализ и первичная обработка/ - М.: ИРЦ. Газпром, 2001. – 62 с.
81. Модернизация и повышение производительности строительных машин/Л.А.Хмара, Н.П.Колесник, В.П. Станевский. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.
82. Яковенко В.Б. Введение в инновационные технологии/Европейский ун-т. – 2 изд., доп. – К.: Из-во Европейского ун-та, 2002. – 134 с.
83. Режим доступу: <http://www.geokon.com>.
84. Режим доступу: <http://www.sisgeo.com>.
85. Режим доступу: <http://www.solexperts.com>.
86. Режим доступу: <http://www.solinst.com>.
87. Радченко А.П. Мониторинг рабочих процессов в судовых энергетических установках. Д.т.н./ ОГМА. – О., 1996. – 298 с.
88. Поляков С.Г. Электрохимический мониторинг в защите от коррозии сварных трубопроводов. Д.т.н.05.17.14/Институт электросварки им.О.Е Патона НАН Украины. – К., 1999. –306 л.
89. ДБН В.1.2-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. [Чинний від 2008-01-01] / МінрегіонбудУкраїни. - Київ: 2007. - 16 с. Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=21673

90. Туркин Б.Ф., Денисов Г.В. Автоматизированная система управления пожарной охраной крупного административного центра// Пожарная профилактика: Сб.науч. тр. – М.:ВНИИПО МВД СССР, 1990. – С.114-153.
91. Болотов Ю.К., Зотов М.В., Катаев О.П. и др. Автоматизированная система подъема сооружений «Атлант»// Мехатроника, автоматизация, управление. - 2003. - №3. -С.38-40.
91. Проволоцкий А.Е., Кадыльникова Т.М. Мониторинговые системы оценки технического состояния машин. - Дніпропетровськ: Ізд-во «Пороги», 2005. -172с.
92. Melis M.J., Matias I., Roşo P.J., Sanz J. Technical control for the construction of the extension of the Madrid metro // Geotechnical problems with span-shade and span influenced grounds: XIII European conference on soil mechanics and geotechnical engineering. 25-28 August 2003. -Prague, 2003. - Vol.2. -P.729-734.
93. Nossan A.S. Observations on the observational method // Active geotechnical design in infrastructure development: XIII Danube - European conference on geotechnical engineering, 29-31 May, 2006. -Ljubljana, 2006. - Vol.1. -P.171-178.
94. Buighignoli A., Jamiolkowski M., Viggiani G. Geotechnics for the preservation of historic cities and monuments // Geotechnical Engineering in Urban Environments: XIV European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 24-27 September 2007. -Madrid, 2007. - Vol.1. -P.3-27.
95. Лазебник А.Г. Давления грунта на сооружения. - К.: ГИИ:В. - 2005. - 243с.
96. Reck R.B. Advantages and Limitations of the observational method in applied soil mechanics // Geotechnique. -1969. -№2.19. -P.171-187.
96. Jvan de Камп, Rob E.H. The observational for control of dams // Geotechnology in Harmony with the global environment: XVI International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 12-16 September 2005. - Osaka, 2005. - Vol.3. -P.1929-1932.

97. Юрден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции / Пер. с англ. С.Л.Баженова. - М.: РИП: «Техносфера», 2006. - 224с.
98. Дорофеев В.М., Федоров Н.Н., Сурков В.И., Курзанов А.М. О мониторинге технического состояния зданий // Промышленное и гражданское строительство. - 2003. - №11. -С.31-33.
99. Gavounidis S. The observational method // Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds: XIII European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 25-28 August 2003. -Prague, 2003. - Vol.2. -P.571-574.
100. Digital twin, physics-based model, and machine learning applied to damage detection in structures/ T.G. Ritto, F.A. Rochinha // Mech Syst Signal Process 2021; 155: 107614.
101. Методические рекомендации по технологии нивелирования подводной части рельсовых дорожек наклонного стапеля эллингов и слипов / Сост. Н.Н.Прокапало. -К.: НИИСП. -24с.
102. Ильичев В.А., Коновалов П.А., Никифорова Н.С. Новые методы измерения деформаций зданий и критерии их оценки// Основания, фундаменты и механика грунтов. -2003. -№4. -С.8-12.
103. Потапкин В.В. Мониторинг существующих зданий и возводимых объектов - единый механизм строительства // Промышленное и гражданское строительство. - 2006. - №12. - С.25.
104. Алешин А.С., Дубовской В.Б., Жильников В.Г. и др. Микронивелир для напряженного состояния строительных конструкций // Основания, фундаменты и . механика грунтов. - 2003. - №2. - С.29.
105. Pinto A., Fepreira S., Vapos V., Gosta R., Lopes P., V. Dias. Sotto Mayor Palace - Design and performance of a deep excavation // The first international conference of the Third Millennium: XV International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. -Istanbul, 2001. - Vol.2. -P.1237-1240.
106. Kovacevic M.S. The observational method and the use of geotechnical

- measurements // Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds: XIII European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 25-28 August 2003. -Prague, 2003. - Vol.2. -P.575-582.
107. Lee J.L., Stokoe K.H., Bay J.A. The Rolling Dynamic Deflectometer: A tool for continuous deflection profiling of pavements // Geotechnology in Harmony with the global environment: XVI International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 12-16 September 2005. - Osaka, 2005. - Vol.3. -P.1745-1748.
108. Haashoot J.K., Bhageloe G.S., Kaalberg F.J. Large scale monitoring during Amsterdam metro construction: risk, control, procedures and experiences // The first international conference of the Third Millennium: XV International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. -Istanbul, 2001. - Vol.4. - P.2805-2806.
109. Borgonovo G., Contini A., Locatelli L., Ramelli E. A comprehensive monitoring system of mechanized tunneling in urban area - Automated control of geotechnical measures, topographic surveys i-ail track geometry and TBM data // Active geotechnical design in infrastructure development: XIII Danube - European conference on . geotechnical engineering, 29-31 May, 2006. - Ljubljana, 2006. - Vol.2. -P.417-420.
110. Patel D., Nicholson D., Huybvechts N., Maertens J. The observational method in geotechnics // Geotechnical Engineering in Urban Environments: XIV European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 24-27 September 2007. - Madrid, 2007. - Vol.2. -P.371-380.
111. Oceppek D. An Observational method for designing high cutting slopes in Urban areas // Geotechnical Engineering in Urban Environments: XIV European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 24-27 September 2007. - Madrid, 2007. - Vol.2. -P.857-862.
112. Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G., 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons, New York, 549 pp.
113. Паудерхэм А.Дж. Применение метода наблюдений путем последовательных

- . модификаций // Реконструкция городов и техническое строительство. - 2004. - №4. -С.5-29.
114. Пособие по разработке и проектированию систем мониторинга сложных технических и строительных объектов/ Сост. Калюх Ю.И. - К.: НИИСК, 2004. – 46 с.
115. Применение современных информационных технологий, математических методов и чувствительных элементов излучения и прогнозирования эволюции процессоопасных территорий и объектов/ Сост. Ю.И.Калюх. -К.: «Знание». 1999. - 64с.
116. Методические рекомендации по применению систем дистанционного контроля в сложных инженерно-геологических условиях / Сост. В.П.Шумовский, Д.Д.Кавунц. - К.: НИИИСК. - 20с.
117. Поспелов В.И., Егоров Ф.А., Неугодииков А.П., Ворона б.Ф. Концепция типовой системы технического мониторинга строительных сооружений на базе волоконной техники// Технология строительства. -2006. - №1. - С.76-81.
118. Фрайден Дж. Современные датчики: [Справочник] / Пер. с англ. Ю.А.Заболотный. - М.: РИП: «Техносфера», 2005. - 592с.•
119. Юрден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции / Пер. с англ. С.Л.Баженова. - М.: РИП: «Техносфера», 2006. - 224с.
120. Информационно-измерительная техника и технологии/ В.И.Калашников, С.В.Нефедов, А.Б.Путилин и др. -М.: «Высшая школа», 2002. -454с.
121. Поспелов В.И., Егоров Ф.А., Неугодииков А.П., Ворона б.Ф. Концепция типовой системы технического мониторинга строительных сооружений на базе волоконной техники// Технология строительства. -2006. - №1. - С.76-81.
122. Artificial intelligence techniques for smart city applications/ D. Luckey, H. Fritz, D. Legatiuk, et al. / In: Toledo Santos E and Scheer S (eds). Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. São Paulo, Brazil: Springer International Publishing; 18–20 August 2021, P. 3–

- 15.
123. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки / Г.Т. Попов, Л.Я. Бурак. –2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 240 с.
124. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / С. Г. Кушнер. – Запорожье: ООО «ИПО Запорожье», 2008. – 496 с.
125. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. [Чинний від 2011-01-01] / Мінрегіонбуд України. - Київ:, 2010. –108 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26764
126. Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. Класифікатор надзвичайних ситуацій в Україні. – К.: 1998. – 179 с.
127. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. - 212 с.
128. Евристичні оцінки ймовірності ушкодження будівель і споруд у складних ґрунтових умовах / В.Г. Черний // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 12. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2003. С. 241-247.
129. System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model / A. Alonso-Rodriguez, N. Nikitas, J. Knappett, G. Kampas, I. Anastasopoulos, R.Fuentes // *Frontiers in Built Environment* 4, 2018. P. 1-11.
130. Data fusion approaches for structural health monitoring and system identification: past, present, and future / R.T. Wu, M.R. Jahanshahi // *Struct Health Monit* 2020; 19: P. 552–586.
131. Foundations of population-based SHM, part I: homogeneous populations and forms / L.A. Bull, P.A. Gardner, J. Gosliga, et al. // *Mech Syst Signal Process* 2021; 148: 107141.
132. Dynamic response of a pile embedded into a layered soil / M. Martinelli, A.

- Burghignoli, L. Callisto // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 87, 2016. P. 16-28.
133. Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment / M. Shokrabadi, H.V. Burton, J.P. Stewart. - *Structural Engineering* 144 (10), 2018: 04018177.
134. Application of a Probabilistic Assessment of the Permanent Seismic Displacement of a Slope / Y. Wang, E.M. Rathje // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 144 (6), 2018: 04018034.
135. Hou R and Xia Y. Review on the new development of vibration-based damage identification for civil engineering structures: 2010–2019 // *J Sound Vib*, 2020; 491: 115741.
136. Wireless sensor network for structural health monitoring: a contemporary review of technologies, challenges, and future direction / M. Abdulkarem, K. Samsudin, F.Z. Rokhani, et al. // *Struct Health Monit* 2020; 19: P. 693–735.
137. A method for assessing and managing landslide residual hazard in urban areas / W. Frodella, A. Ciampalini, F. Bardi, T. Salvatici, F. Di Traglia, G. Basile, N.Casagli // *Landslides*, 15(2), 2018. P.183-197.
138. A review of unsupervised feature selection methods / S. Solorio-Fernández, J.A. Carrasco-Ochoa, J.F. Martínez-Trinidad // *Artif Intell Rev* 2020; 53: P. 907–948.
139. Надійність технічних систем і оцінка ризику / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – Пер. с англ. В. С. Сыромятнікова, Г. С. Деминой; Под общ. ред. В. С. Сыромятнікова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
140. Динаміка споруджень / Р. Клаф, Дж. Пензиен. – Пер. с англ. -М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
141. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. [Чинний від 2009-01-01] / Мінрегіонбуд України. - Київ: Укрбудархінформ, 2008. – 34 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=45889
142. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та

- конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі зміною № 1. [Чинний від 2019-01-01] / Мінрегіон України. - Київ: Укрбудархінформ, 2018. - 30 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683
143. Fib bulletin 59: Condition control and assessment of reinforced concrete structures. 2011. – 80 p. Режим доступу: <https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/condition-control-and-assessment-of-reinforced-concrete-struct-detail.html>
144. Maffei C.E., Concalves H.Y.S., Pimenta P.M., Muracami C.A. The plumbing of 2,20 inclined tall building // The first international conference of the Tbird Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. – Istanbul, 2001. – Vol. 3. – P.1799-1802.
145. Shokarev V., Havkin A., Kurkin N., Kuznetsov R., Hilko S. Urban infrastructure objects monitoring on territories formed by loess soil // Active geotechnical design the XIII Danube European Conference on Geotechnical Engineering, 29-31 May 2006. – Ljubljana, 2006. – Vol.2. – P.499-502.
146. P.I.Krivosheyev, G.M. Grigor'ev. A.S.Tregub, I.N. Moskalina, A.A. Petrakov Geotechnical protection techniques for buildings adjacent to site territories // Geotechnology in Harmony with the Global Environment: Proceedings of the XVI International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 12-16 September 2005. – Osaka, 2005. – Vol.4. – P.2824-2824.
147. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 320с.
148. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 488с.
149. Фадеев Н.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Надра, 1987. 221с.
150. Алексеев С.И. Основания и фундаменты: учебное пособие для студентов вузов. Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. -191 с.
151. Егоров К.Е. К расчету деформаций оснований.-М.ФГУП «ВНИИНТПИ»,

- 2002- 400с.
152. Мурзенко Ю.Н. Расчет оснований зданий и сооружений в упруго-пластической стадии работы с применением ЭВМ. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отдние 1989. - 135 с.
153. Патент №86305. Украина. Частное предприятие «БИЛ». Шокарев В.С., Чаплыгин В.И., Гречко В.Ф., Волков Д.А., Хылько С.В. Электромагнитный измерительный преобразователь для контроля смещений конструктивных элементов, фундаментов зданий и сооружений. Режим доступа: <https://uapatents.com/7-86305-elektromagnitnij-vimiryuvalnij-peretvoryuvach-dlya-kontrolyu-zmishhen-konstruktivnikh-elementiv-fundamentiv-budivel-i-sporud-ta-sposib-jjogo-zastosuvannya.html>
154. Сборник. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Госстрой СССР. Труды первой научной конференции молодых специалистов. Изд-во литературы по строительству. М. 1967, с.190.
155. И.В.Баклашова. Распределение напряжений вокруг выработок с учетом неровности контура // Сборник трудов №54. Основания и фундаменты. Госстрой СССР. Изд-во
156. Пустовойтенко В.П. Геотехническое обеспечение подземного строительства с Украине. Министерство образования Украины. Национальная горная академия Украины. Киев. 1999, с.264.
157. ДСТУ Б В.2.6–25-2003. Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2003-01-07] – - Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2003. – 25 с. Режим доступа: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=6109
158. Jamiolkowski M.B. The leaning tower of Pisa: End of an Odyssey // The first international conference of the Third Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. - Istanbul, 2001. - Vol. 4. -P.2979-2996.
159. Калашников В.И., Нефедоров С.В. и др. Информационно-измерительная техника и технология. – М.: Высшая школа, - 2002. – 448с.

160. ПК “ЛИРА-САПР” 2017. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Под ред. академика АИН Украины А.С. Городецкого. – Электронное издание: 2017 г. – 535 с.
161. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. - Киев: «Факт», 2009. - 394 с.
162. ЛИРА 9.2. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие. - Киев, 2005. - 145 с.
163. ПК ЛИРА. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. академика АИН Украины А.С. Городецкого. – Киев: 2003. – 464 с.
164. Оцінка неоднорідності ущільнених ґрунтів штучних основ. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Харченко М.О. - Полтава, 2010. – 24 с.
165. Динамическая неустойчивость грунтов / Е.А. Вознесенский. – М.: Изд-во «Эдиториал», 1999. – 264 с.
166. Распространение колебаний в водонасыщенных глинистых грунтах / И. В. Прокудин, Л. М. Кейзик, В. В. Лейкин, И. И. Костюков // Рациональные фундаменты в условиях слабых грунтов. -1979. С.82-86.
167. Колебания уплотняемых грунтов и элементов подземных сооружений при динамических нагрузках / М. Л. Костельов, В. Г. Слонов // Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений. – 1981. С. 108-110.
168. Расчет конструкций на основе теории риска / А.П. Сеницын. – М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.
169. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати. – Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.
170. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
171. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1982. – 352 с.
172. Рабочий проект: «Капитальный ремонт жилого дома по пр. Инженера

- Преображенского, 25 (блок-секция № 1) в г. Запорожье (корректировка)». Том 1. Выравнивание деформированной блок-секции. ЗО ГП НИИСК, Запорожье, 2019. Шифр 330-3228/14-ВЗ.
173. Робочий проєкт: «Капітальний ремонт житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя (коригування 2)». Том 1. Вирівнювання деформованої блок-секції. ЗВ ДП НДІБК, Запоріжжя, 2021. Шифр 330-3228/14-ВБ.
174. Рабочий проєкт: «Капитальный ремонт жилого дома по пр. Инженера Преображенского, 25 (блок-секция № 1) в г. Запорожье». ЗО ГП НИИСК, Запорожье, 2015. Шифр 330-3228/14.
175. Заключение о техническом состоянии строительных конструкций жилого дома (блок-секция № 1) по пр. Советскому, 25 в г. Запорожье. ЗО ГП НИИСК, Запорожье, 2014. Шифр: ВРО-328-3228/14-001.
176. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. [Чинний від 2009-01-01] / Мінрегіонбуд України. - Київ: Укрбудархінформ, 2008. – 34 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=45889
177. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі зміною № 1. [Чинний від 2019-01-01] / Мінрегіон України. - Київ: Укрбудархінформ, 2018. - 30 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683
178. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. [Чинний від 2017-01-10]. –Київ: Мінрегіон України, 2017. – 29 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71184
179. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 2017-01-04]. / ДП «УкрНДНЦ». - Київ: 2017. – 45 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65833
180. 166. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних

- об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проєктування. Зміна № 1. [Чинний від 2007-01-01]. –Київ: Мінбуд України. 2006. – 75 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=21670
181. Методика проведення обстеження та оформлення його результатів. / Міністерство розвитку громад та територій України. Наказ № 144 від 06.08.2022. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22#Text>
182. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [Чинний від 2010-01-09] / Мінрегіонбуд України. - Київ: 2010. – 43 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25943
183. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі зміною № 1. [Чинний від 2011-01-06] Мінрегіон України. - Київ: 2011. – 71 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677
184. Наказ №215 від 30.09.1998. Про затвердження Єдиного класифікатора житлових будинків залежно від якості житла та наявного інженерного обладнання. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0215241-98#Text>
185. Звіт про науково-технічну роботу. Виконання робіт з науково-технічного супроводу під час та після вирівнювання житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя. Том 1. Інженерно-геологічні вишукування. Встановлення вологості та якості ущільнення ґрунтів ґрунтової подушки. ЗВ ДП НДІБК м. Запоріжжя. 2021. Шифр ЗНТ-328-328-39.21-001.

ДОДАТОК А

ДОКУМЕНТИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД, ТЕРИТОРІЙ
ТА ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
(МІНІНФРАСТРУКТУРИ)



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
„ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ”



Запорізьке відділення

ЗВ ДП НДІБК

юридична адреса: вул. Новобудов 4, м. Запоріжжя, 69076, поштова адреса: вул. Новобудов 4,
м. Запоріжжя, тел. +380503222453; E-mail: zv@ndibk.gov.ua; код ЄДРПОУ 02495483

28.11.2023р. №1-11/95 На № _____ від _____

Акт

використання результатів

Цей акт складено в тому, що результати дисертаційної роботи Шокарева А.В. «Інформаційно-апаратне забезпечення усунення кренів багатоповерхових будівель» були використані при виконанні проектних та науково-технічного супроводу будівельних робіт при усуненні кренів 7 (семи) 9-поверхових будівель у 2017-2021 р.р. в м. Запоріжжі розташованих за адресами:

1. вул. Лахтинська, 9 (дві блок-секції)
2. вул. Лахтинська, 15 (одна блок-секція)
3. вул. Світла, 4 (одна блок-секція)
4. вул. Інженера Преображенського, 23 (дві блок-секції)
5. вул. Інженера Преображенського, 25 (одна блок-секція)

Запропонована інформаційна технологія діагностування поточного стану багатоповерхових будівель при усуненні їх наднормативних кренів в умовах постійної зміни планово-висотного положення будівель, дозволила приймати оперативні управлінські рішення протягом всього часу вирівнювання будівель та виконувати будівельні роботи без зупинки функціонування інженерних мереж, ліфтів та відселення мешканців.

Цей акт не є підставою для встановлення фінансових зобов'язань.

В.о. директора



Анатолій МУНЬ

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД, ТЕРИТОРІЙ
ТА ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
(МІНІНФРАСТРУКТУРИ)



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
„ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ”



Запорізьке відділення
ЗВ ДП НДІБК

юридична адреса: вул. Новобудов 4, м. Запоріжжя, 69076, поштова адреса: вул. Новобудов 4,
м. Запоріжжя, тел. +380503222453; E-mail: zv@ndibk.gov.ua; код ЄДРПОУ 02495483

28.11.2023р. №1-11/94 На № _____ від _____

Довідка

про впровадження результатів досліджень Шокарева А.В.
за темою «Інформаційно-апаратне забезпечення усунення
кренів багатопверхових будівель»

Результати наукових досліджень, викладених в дисертаційній роботі Шокарева Андрія Вікторовича були використані при розробці нормативного документу ДСТУ-Н Б В. 1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд (науковий керівник розробки д.т.н., професор, Калюх Ю.І.), введений в дію Наказом Мінрегіону України від 24.04.2016 №185, а також при безпосередньому застосуванні положень ДСТУ-Н Б В. 1.2-17:2016 при розробці і реалізації «Програми з моніторингу за деформаціями житлових будинків в м. Запоріжжі та усунення їх наднормативних кренів на 2017-2021 р.р.»

В.о. директора



Анатолій МУНЬ

ДОДАТОК Б.
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Доповіді, 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, НДІБК, 2008, С.515-521. Режим доступу: http://www.ukrbook.net/litopys/jurnal/2009/LJ_01_09.pdf
5. Методика корректировки расчетных моделей зданий в процессе устранения их сверхнормативных кренов / 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. Ликвидация аварийного состояния 9-этажного крупнопанельного здания в Запорожье / 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=3nAcy2QAAAAJ&citation_for_view=3nAcy2QAAAAJ: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., Титякова Е.С., Причина Е.С., Легенченко В.А., Шокарев А.В. // Науковий вісник будівництва №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=UnuycsoAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAJ:IjCSPb-0Ge4C

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 – Випуск 148, Том 2 – Харків, 2014, С.70-75. Режим доступу:

https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UnuycsoAAAAJ&citation_for_view=UnuycsoAAAAJ:_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 буромесительной 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 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/svitgeotch_2010_1_7.pdf

16. Геомеханічна розрахункова моделі системи «грунтова основа - стрічковий фундамент» при усуненні будівельних об'єктів підробкою ґрунтової основи /

Шокарев В.С., Чаплигін В.І., Волков Д.А., Шокарев А.В. // Труды V міжнародної науково-технічної конференції «Надійність і довговічність будівельних матеріалів, конструкцій і підстав фундаментів», Волгоград, 2009, С.269-275.

17. Method of building calculations models correction in the process of abnormal building tilts elimination / A.V. Shokarev // The fourth international young geotechnical engineers conference Alexandria 2009, P.313-316.

18. Усунення кренів висотних споруд / Шокарев В.С., Самченко Р.В., Шокарев А.В. // Праці Всеросійського науково-технічного семінару «Геотехнічні проблеми нового будівництва та реконструкції» 2011р.

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, 2011). 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. // Научно-технический 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. 29-30 марта 2013г. – Махачкала: ДГИНХ, 2013, С.251-253. Режим доступу: <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, 2014, С.498-505. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2630315/page:50/>

23. Крен зданий и сооружений, причины, технологи выравнивания и мониторинга, практика / Шокарев В.С., Болотов Ю.К., Шокарев А.В. // Материалы международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в строительстве» - Баку, 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», Том 2, С. 119-121.

26. Calculation of the reinforced foundation of the sunflower seed oil warehouse in Mariupol Commercial Seaport / A.V. Shokarev, E.A. Shokarev // 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. // 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. // 10.12.2013 Бюл.№23. Режим доступу: <https://uapatents.com/14-85831-mekhanizovaniij-pristriij-dlya-pidsilennya-runtiv-osnov-fundamentiv-isnuyuchikh-budivel.html>

Апробація результатів дисертації

Результати дисертації обговорювалися і доповідалися на понад десяти міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-практичних конференціях:

19-й та 20-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 2021–2022);

Міжнародному науково-технічному симпозиумі «Problems of Improper Construction and Monitoring of Structures» (Осака, Японія, 2011);

27th European Young Geotechnical Engineers Conference (Бодрум, Туреччина, 2019);

4th International Young Geotechnical Engineers Conference (Олександрія, Єгипет, 2009);

Міжнародній науково-технічній конференції «Научно-технический прогресс в строительстве» (Баку, Азербайджан, 2014);

VI International Scientific and Practical Conference «Modeling, Control and Information Technologies» (Рівне, Україна, 2023);

Конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» (Одеса, 2017);

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);

Всеросійському науково-технічному семінарі «Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции» (Новосибірськ, РФ, 2011);

Міжнародній практичній конференції «Строительство: проблемы и перспективы» (Махачкала, РФ, 2013);

Міжнародній науково-технічній конференції «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение» (СПб, РФ, 2014) та ін.

У повному обсязі дисертація доповідалася у 2023 р. на розширеному науково-технічному семінарі Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України під керівництвом доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента НАН України Трофимчука О.М.

ДОДАТОК В

Технічне обслуговування, умови роботи стенду, транспортування та зберігання

У таблиці В1 наведено вказівки щодо технічного обслуговування роботи стенду.

Таблиця В1

Вказівки з технічного обслуговування роботи стенду

№№	Найменування робіт	Періодичність	Примітка
1.	Видалення пилу із зовнішніх поверхонь	Щодня	Феном, пилососом
2.	Чищення рухомих вузлів	Щомісяця	Пензликами, спирт
3.	Перевірка плавності ходу мікрометра	Щомісяця	
4.	Перевірка гвинтових, болтових, пружинних з'єднань та гайок	Один раз на рік	
5.	Перевірка міцності кріплення мікрометра	Один раз на рік	
6.	Перевірка міцності кріплення різьбових втулок регулювальних гвинтів-опор стенду	Один раз на рік	

При роботі на стенде должны соблюдаться климатические и механические условия. Во время проведения работ необходимо придерживаться следующих условий:

- температура навколишнього середовища $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$
- відносна вологість повітря $(65 \pm 15)\%$
- атмосферний тиск (100 ± 4) кПа

Стенд зберігається в опалюваному приміщенні за температури $+10 \dots +40^\circ\text{C}$ та відносної вологості повітря до 80% при 30°C . При транспортуванні необхідно закріпити всі рухомі частини хомутами. Не кидати. Уникати потрапляння пилу та вологи.

Підготовка до атестації стенду

Програма атестації випробувального обладнання призначена для проведення первинної, періодичної та позачергової атестації стенду для випробування та налаштування пристрою вимірювання деформацій УІД, що призначений для випробувань електромагнітних перетворювачів контролю величини та спрямування нахилу на відповідність вимогам до такого обладнання. Була складена програма. Програмою передбачалося: розгляд технічної документації; експериментальні дослідження; методика досліджень; оформлення результатів досліджень.

Під час розгляду технічної документації необхідно виконувати операції, зазначені у таблиці В2.

Таблиця В2

Вимоги щодо розгляду технічної документації	Вказівки до методики розгляду
1 Перевірка відповідності документів, поданих на атестацію	Комплектність поданої документації має відповідати чинним вимогам
2 Перевірка відповідності точнісних нормованих характеристик обладнання	Точнісні нормовані характеристики повинні відповідати вимогам технічної документації підприємства-виробника, ТЗ.
3 Перевірка повноти, вірності та способу вираження нормованих характеристик	Нормування та спосіб вираження нормованих характеристик устаткування порівнюються з вимогами технічної документації підприємства-виробника, ТЗ.
4 Перевірка правильності вибору ЗВТ, методів атестації	Перевірка правильності вибору ЗВТ, відповідності методів атестації чинним вимогам, ТЗ підприємства-виробника.
5 Оцінка правильності термінології	Оцінюється термінологія, що використовується у документації на підставі ДСТУ 2681.
6 Оцінка вірності розрахунку похибки вимірювання, її оцінка	Визначається вірність розрахунку похибки згідно з діючими вимогами, оцінюється похибка згідно з ТЗ.
7 Перевірка повноти та правильності викладення розділу "Вимоги безпеки" в експлуатаційній документації підприємства-виробника	Оцінюють зміст розділу "Вимоги безпеки" з точки зору його достатності для забезпечення чинних вимог при монтажі, налаштуванні та обслуговуванні стенду споживачем. Прилад перевіряється відповідно до вимог безпеки до електроустаткування.
8 Перевірка правильності показників надійності та визначення міжатестаційного інтервалу	Проводиться оцінка нормованих показників надійності згідно з чинними вимогами. Значення міжатестаційного інтервалу визначається з урахуванням передбаченої інтенсивності експлуатації та значень показників надійності.

Проведення атестації стенду

При проведенні атестації необхідно дотримуватись правил безпеки роботи та виробничої санітарії для підприємств та організацій. Умови експериментальних досліджень мають відповідати вимогам технічної документації підприємства-виробника. На робочому місці має бути освітленість (загальна та місцева) відповідно до діючих норм. Під час проведення атестації необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно з експлуатаційною документацією на оснащення, а також вимог безпеки при використанні засобів робочої техніки та допоміжного обладнання згідно з експлуатаційною документацією на них.

При проведенні перевірки всі еталони та засоби робочої техніки повинні мати дійсні свідоцтва про повірку або відбиток повірочних тавр. Експериментальні дослідження стенду повинні проводитися в обсязі, методами із застосуванням засобів робочої техніки відповідно до таблиці В3.

Таблиця В3

Назва операції	Атестація		Номер пункта	ЗВТ, що використовуються в процесі атестації
	Первинна (позапланова)	Періодична		
1	2	3	4	5
1. Перевірка зовнішнього вигляду та оцінка комплектності	+	+	4.1	-

Продовження таблиці В3

1	2	3	4	5
2. Перевірка працездатності, спостереження за роботою	+	+	4.2	-
3. Визначення нормованих точнісних характеристик:				
- геометричних розмірів стану;	+	+	4.3 4.3.1	Лінійка металева
- дійсної маси	+	+	4.3.2	Терези лабораторні, гири еталонні кл. М1 ДСТУ 7328
Визначення метрологічних характеристик:				
- пристосування з мікрометричною голівкою;	+	+	4.3.3	Кінцеві міри, ДСТУ 3741.
- шорсткості поверхні робочого майданчика;	+	+	4.3.4	Міри шорсткості порівняння.
- перевірка рівня брускового;	+	+	4.3.5	Квадрант оптичний КО-1М.
- площинність і паралельність робочого майданчика	+	+	4.3.6	Лінійка лекальна ЛД, набір щупів.
4. Обробка результатів експериментальних досліджень	+		4.4	-
5. Определение межаттестационного интервала	+	-	4.5	-
6. Оформление результатов аттестации	+	+	4.6	-

Методика та умови проведення атестації

Зовнішній огляд та оцінку комплектності стану виконуємо візуально. Під час зовнішнього огляду має бути встановлено:

- відсутність механічних пошкоджень;
- відповідність маркування вимогам технічної документації;
- відсутність бруду та мастил на поворотній осі штанги та майданчику для об'єкта вимірювання.

Комплектність стану має забезпечити його функціонування відповідно до призначення.

Перевірка працездатності та спостереження за роботою обладнання

виконується відповідно до вказівок підприємства-виробника, наведених в експлуатаційній документації та ТЗ.

Визначення нормованих точнісних геометричних характеристик проводиться лінійкою металевою. Геометричні розміри стенду повинні відповідати вимогам експлуатаційної документації підприємства-виробника та ТЗ.

Визначення нормованих точнісних масових характеристик проводиться зважуванням стенду не менше 3 разів на терезах лабораторних еталонних. Середня маса стенду визначається за формулою:

$$M_c = \Sigma M / 3, \quad i=1, \quad (1)$$

де M_c – середня маса стенду; M – маса стенду, г.

Допустима абсолютна похибка маси стенду повинна дорівнювати $\Delta = \pm 10$ г, визначається за формулою

$$\Delta = M_c - M, \quad (2)$$

де M – номінальне значення маси стенду, г.

Визначення метрологічних характеристик пристрою з мікрометричною голівкою проводиться за допомогою кінцевих мір довжини ДСТУ 3741. Вибираємо діапазони вимірювань мікрометра: 1 мм, 5 мм, 10 мм, 15 мм, 20 мм, 25 мм. На кожному діапазоні проводять п'ять спостережень. Результати спостережень заносять до таблиці протоколу перевірки. При цьому методі перевірки варіація показань відсутня, тому систематичну складову похибки мікрометра визначають за формулою

$$\Delta_c = 1/5 \Sigma \Delta_i, \quad (3)$$

$i=1,$

де Δ_i — різниця номінального значення міри та показання мікрометра, що повіряється, при i -му спостереженні, визначається за формулою

$$\Delta_i = h_n - h_i. \quad (4)$$

Випадкову складову похибки мікрометра визначають за формулою

$$\Delta = t \sigma, \quad (5)$$

де t — коефіцієнт Стюдента. За довірчої ймовірності $P = 0,95$ та числі

спостережень $n = 5$ коефіцієнт Стюдента $t = 2,78$; σ — середнє квадратичне відхилення випадкової складової похибки мікрометра, що повіряється, визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1} (\Delta_i - \Delta_c)^2}, \quad (6)$$

Основну похибку мікрометра, що повіряється, визначають за формулою

$$\Delta = \Delta_c - \Delta \quad (7)$$

Основна похибка не повинна перевищувати межі допустимої основної похибки мікрометра для всіх контрольних точок піддіапазону, що повіряється. В іншому випадку спостереження для такого піддіапазону необхідно повторити. При повторному перевищенні допустимої основної похибки мікрометр бракують. Визначення шорсткості поверхні робочого майданчика проводиться відповідно до чинних вимог, методом порівняння з мірами шорсткості. Чистота поверхні повинна бути не нижчою за Rz 20.

Перевірка рівня брускового повіряється на екзаменаторі ЕО1. Похибка рівня не має перевищувати ціни однієї поділки $\Delta = 0,08$ мм.

Перевірка площинності та паралельності робочого майданчика для об'єкта вимірювань проводиться за допомогою лінійки лекальної ЛД та набору щупів. Замірів по всій поверхні має бути не менше 10. Величина відхилень не повинна перевищувати ± 50 мкм. Середнє відхилення визначається за формулою:

$$\text{Ш}_c = \sum_{i=1} \text{Ш} / 10, \quad (8)$$

де Ш_c – середнє відхилення стенду; Ш – відхилення від площини стенду, мкм.

Допустима абсолютна похибка відхилення стенду повинна дорівнювати $\Delta = \pm 50$ мкм, визначається за формулою

$$\Delta = \text{Ш}_c - \text{Ш} \quad (9)$$

де Ш – номінальне значення відхилень стенду, мкм.

Під час проведення атестації необхідно дотримуватись таких умов:

- температура навколишнього середовища $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$

- відносна вологість повітря (65 ± 15)%
- атмосферний тиск (100 ± 4) кПа

Підготовка до атестації, кріплення ЗВТ мають відповідати вимогам експлуатаційної документації на них. Програма атестації випробувального стенду визначає проведення періодичної атестації з урахуванням очікуваної інтенсивності його експлуатації та показників надійності за МІ 7187. Результати атестації стенду оформлюються протоколом.

Задовільними вважаються результати атестації, якщо всі параметри стенду відповідають вимогам програми та технічної документації підприємства-виробника.

Якщо пристрій не відповідає вимогам цієї програми, результати атестації вважаються незадовільними. У цьому випадку видається протокол з обґрунтуванням проведення експериментальних досліджень.

Еталони та ЗВТ, задіяні при атестації:

- Лінійка металева.
- Терези лабораторні.
- Гирі еталонні кл. М1 ДСТУ 7328.
- Кінцеві міри, ДСТУ 3741.
- Міри шорсткості порівняння.
- Квадрант оптичний КО-1М.
- Лінійка лекальна ЛД, набір щупів.

ДОДАТОК Г

Блок збору інформації

Напруга живлення ~ 220 В; споживана потужність – (макс) 5 Вт; максимальна кількість датчиків, що обслуговуються, – 99; струм короткого замикання лінії зв'язку – 200 мА.

Час роботи від вбудованого акумулятора:

- у черговому режимі: (не менше) 1000 г;
- у режимі збору інформації: (не менше) 48 г.

Діапазон робочих температур: +5...+45°C.

Линия связи

Тип інтерфейса – 4-дротовий; швидкість обміну – 1024 біт/с; мінімальний переріз дротів – 0,15 мм²; максимальна довжина (для даного перерізу дроту) – 3000 м.

Датчик

Кількість вимірюваних індуктивностей – 4+1-зразкова; діапазон вимірюваних індуктивностей – 100...5000 мкГн; похибка вимірювання індуктивностей – ±0,2%; максимально допустимий активний опір вимірюваної індуктивності – 20 Ом; напруга живлення – 6...17В.

Споживаний струм:

- у черговому режимі: (не більше) 1 мА;
- в режимі вимірювання: (не більше) 50 мА.

Параметри режиму вимірювання індуктивності

Принцип вимірювання – вимірювання комплексного опору; частота вимірювання – 2 кГц; струм вимірювання (середнє значення) – $10 \text{ mA} \pm 10\%$; тип обробки отриманих даних – середнє від 9 вимірювань з нормуванням за зразковою індуктивністю; час циклу вимірювання – 12 сек; діапазон робочих температур: $-30 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$; габаритні розміри плати – 52 x 82 x 20 мм.

Візуальний огляд багатопверхового житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя

Житловий будинок по пр. Інженера Преображенського, 25 розташований в Хортицькому районі м. Запоріжжя. Будівля житлового будинку – дев'ятиповерхова, панельна, чотирьохпід'їзна, зведена з двох рядових та двох торцевих блок-секцій серії 480А. Об'єкт науково-технічного супроводу – торцева блок-секція № 1 житлового будинку, яка має розміри по осях $24,0 \times 12,0$ м. У 1978 р. будівлю житлового будинку було введено в експлуатацію. Паралельно з будівлею № 25 зводились і інші об'єкти. До куту блок-секції № 1 (під'їзду № 1) житлового будинку під кутом 90° примикає блок-секція № 3 житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 23 (три під'їзди) (рис. Г1). Зі свого боку, до кута блок-секції № 1 (під'їзду № 1) житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 23 під кутом 90° примикає блок-секція № 2 житлового будинку по пр. Інженера Преображенського, 21 (два під'їзди). Ці будівлі мають аналогічні конструктивні рішення. Всі ці будівлі утворюють єдиний архітектурний ансамбль з загальним внутрішнім двором.

Будівлі житлових будинків по пр. Інженера Преображенського №№ 21, 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 зазнали нерівномірних осідань. Активні деформації почались у 1996 р. Причина деформацій будинків – реалізація просадних властивостей ґрунтів основи в результаті їх замочування рідинами аварійних витоків з труб водогінних комунікацій. Крайній випадок значного замочування ґрунтів основи стався у серпні 2013 р., коли мав місце аварійний витік води з трубопроводу

а)



б)



Рис. Г1. Зовнішній вигляд об'єкта: а) дворовий фасад; б) головний фасад.

холодного водопостачання в тепловій камері, розташованій в торцях житлових будинків № 23 та № 25 по пр. Інженера Преображенського.

В результаті додаткових деформацій, викликаних цим замочуванням, величини нерівномірних осідань частини блок-секцій житлових будинків збільшились та досягли наднормативних величин (осідань та відхилень). До таких блок-секцій належать блок-секції №№ 2, 3 житлового будинку № 23 та блок-секція № 1 житлового будинку № 25. Деформаційний шов між блок-секцією № 3 житлового будинку № 23 та блок-секцією № 1 житлового будинку № 25 ще більш закрився (рисунок 6). Кути цих блок-секцій і раніше спирались один на одного. Це зумовило руйнацію не лише панелей технічного поверху, а й утворення ушкоджень у будівельних конструкціях будівель інших поверхів і розкриття стиків між ними. Подальші деформації вели до руйнування інших конструкцій житлових будинків. Окрім цього, деформації блок-секцій порушили нормальну роботу інженерного устаткування житлових будинків – ліфтів та ін.

Виконаними на той час вимірюваннями висотного положення конструкцій блок-секції № 1 (під'їзд № 1) житлового будинку № 25 було встановлено, що вона деформувалась у бік кута «Д/VII», де були зафіксовані максимальні величини відхилень від горизонтальної площини. Величина осідань на цій ділянці блок-секції № 1 досягала 257 мм (рисунок 7) відносно кута «А/VIII» і 411 мм – відносно точки «А1/1» (блок-секція № 2). Величини нерівномірного осідання блок-секції № 1 перевищували максимально допустиме нормами значення 100 мм у ~ 2,5 рази. Загальні осідання кута «Д/VII» блок-секції за час експлуатації перевищили 500 мм.

Результати вимірювання у 2014 р. відхилень кутів блок-секцій будівель № 23 та № 25 по пр. Інженера Преображенського від вертикалі та величин розкриття деформаційних швів між блок-секціями наведені на рис. Г2. За результатам цих вимірювань було встановлено таке:

- блок-секція № 1 мала поздовжній крен 0,0088 (відхилення від вертикалі – 224 мм) у бік торцевого фасаду (вісь «VII») та поперечний крен 0,0043 (відхилення від вертикалі – 110 мм) у бік дворового фасаду;

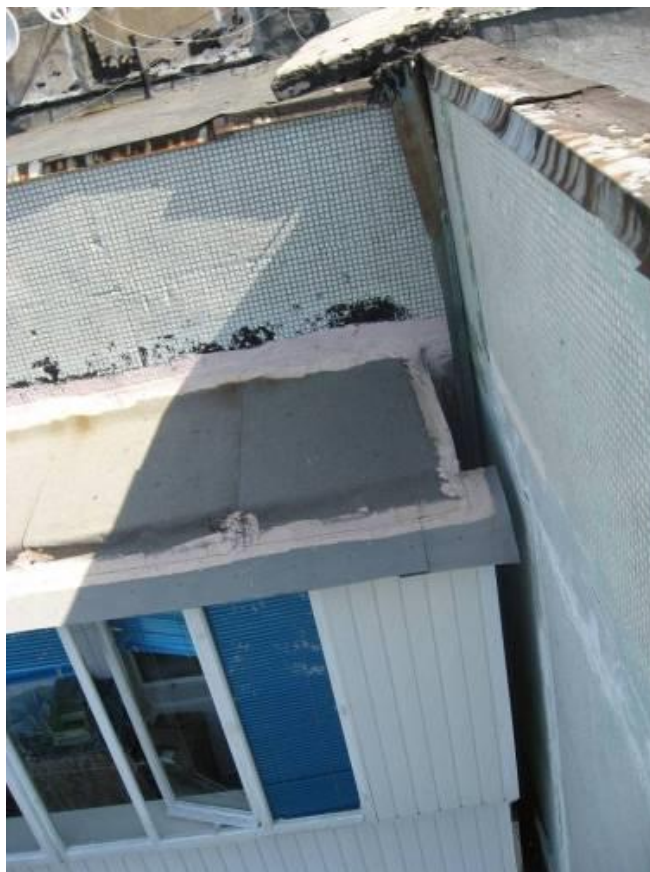
- величина крену блок-секції № 1 у поздовжньому напрямку в 1,76 рази перевищувала максимального допустимого значення $i_u=0,005$;

- ширина розкриття деформаційних швів між блок-секціями № 1 і № 2 житлового будинку № 25 становила 460...580 мм та 0 мм – між блок-секціями № 1 житлового будинку № 25 і блок-секцією № 3 житлового будинку № 23;

- роботи з усунення наднормативного крену блок-секції № 1 житлового будинку № 25 слід було починати після усунення крену блок-секції № 2 житлового будинку № 23 паралельно або після усунення крену блок-секції № 3 житлового будинку № 23.

У 2014 р. спеціалістами ЗВ ДП НДІБК було виконано обстеження будівельних конструкцій об'єкта з оцінкою їх технічного стану. За результатами обстеження блок-секції № 1 було встановлено, що технічний стан будівельних конструкцій та блок-секції загалом оцінювався як непридатний для нормальної експлуатації (рис. Г2 та рис. Г3). Основною причиною такого висновку стали значні нерівномірні осідання основи та фундаментів блок-секції та наднормативні крени її кутів. Для відновлення задовільного стану блок-секції № 1 необхідно було усунути наднормативний крен, вирівняти блок-секцію.

а)



б)



Рис. Г2. Закриття деформаційного шва та спирання блок-секції № 3 житлового будинку № 23 на блок-секцію № 1 житлового будинку № 25 (а, б).

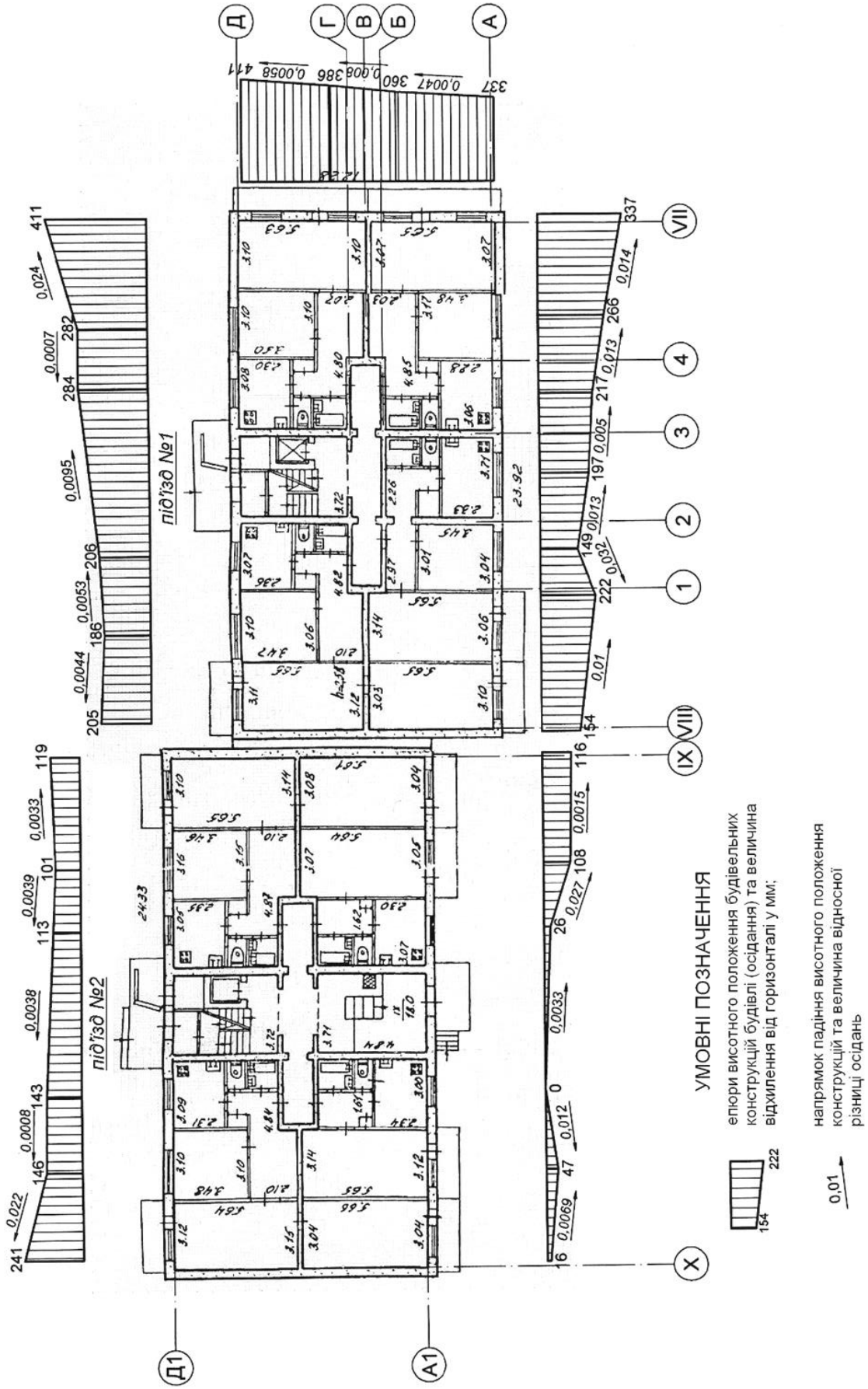


Рис. Г3. Результати вимірювання висотного положення конструкцій блок-секцій №№ 1, 2 (станом на жовтень 2014 р.).

Геодезичний моніторинг ББ по пр. Інженера Преображенського, 25 (блок-секція № 1) у м. Запоріжжя

Геодезичний моніторинг на об'єкті являв собою комплекс геодезичних робіт із контролю динаміки деформацій основ фундаментів об'єкта. Геодезичний моніторинг геодезичним методом здійснювався відповідно до діючих вимог і з урахуванням програми вимірювань. Програма вимірювань наведена у томі 4 проєкту [174].

Геодезичний моніторинг будівельних конструкцій блок-секції № 1 програмою передбачався з метою контролю за їх деформаціями в процесі вирівнювання та являв собою систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичної обробки отриманих даних; виконувався геодезичним методом та за допомогою автоматизованого комплексу із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи «Моніторинг».

При геодезичному моніторингу об'єкта визначалися такі характеристики деформацій:

- для основи – вертикальні деформації ґрунтів (геодезичний метод);
- для наземної частини – відхилення від вертикалі будівельних конструкцій.

Також у процесі вирівнювання здійснювалися вимірювання вертикальних відхилень кутів блок-секцій, визначалися крени.

Геодезичні вимірювання проводилися відповідно до діючих вимог, шляхом проведення геометричного нівелювання, спосіб проведення робіт – одним горизонтом способом наведення, клас точності вимірювань – III (як для будівлі, зведеної на просідаючих ґрунтах). Вимірювання геодезичним методом проводилися протягом усього періоду вирівнювання блок-секції об'єкта, а після закінчення вирівнювання – до настання умовної стабілізації.

Геодезичний моніторинг геодезичним методом здійснювався по мережі

реперів та стінних марок. Стінні марки у вигляді паперових смуг з лінійкою з ціною поділки 2,0 мм були наклеєні на стінові панелі першого поверху будівлі. Схема розташування стінних марок на об'єкті наведена на рис. Г4. Застосування такого виду марок було обумовлено відсутністю доступу до стін будівлі головного фасаду під час проведення вимірювань. Кількість стінних марок, які були встановлені на блок-секції, – 15 штук. Схема розташування стінних марок на об'єкті наведена на рисунку 1.2. На прилеглий території було встановлено три репери. Після встановлення реперів їм були присвоєні висотні позначки в умовній системі висот. Від цих трьох реперів велося спостереження зміни висотного становища марок та ділянок будівлі, на яких вони були закріплені. Перший «нульовий» відлік було виконано 16.07.2021. Надалі, протягом усього періоду вирівнювання, проводилися вимірювання осідань геодезичним методом. Періодичність вимірювань при активних осіданнях – щодня. Під час припинення активних осідань та їх стабілізації виміри виконували через 2-3 доби. Крайні цикли спостережень виконували один раз на місяць. Останній цикл геодезичних спостережень було виконано 10.11.2021. За весь час спостережень було виконано 47 циклів геодезичних спостережень. Дані наведено в табл. рис. Г1.

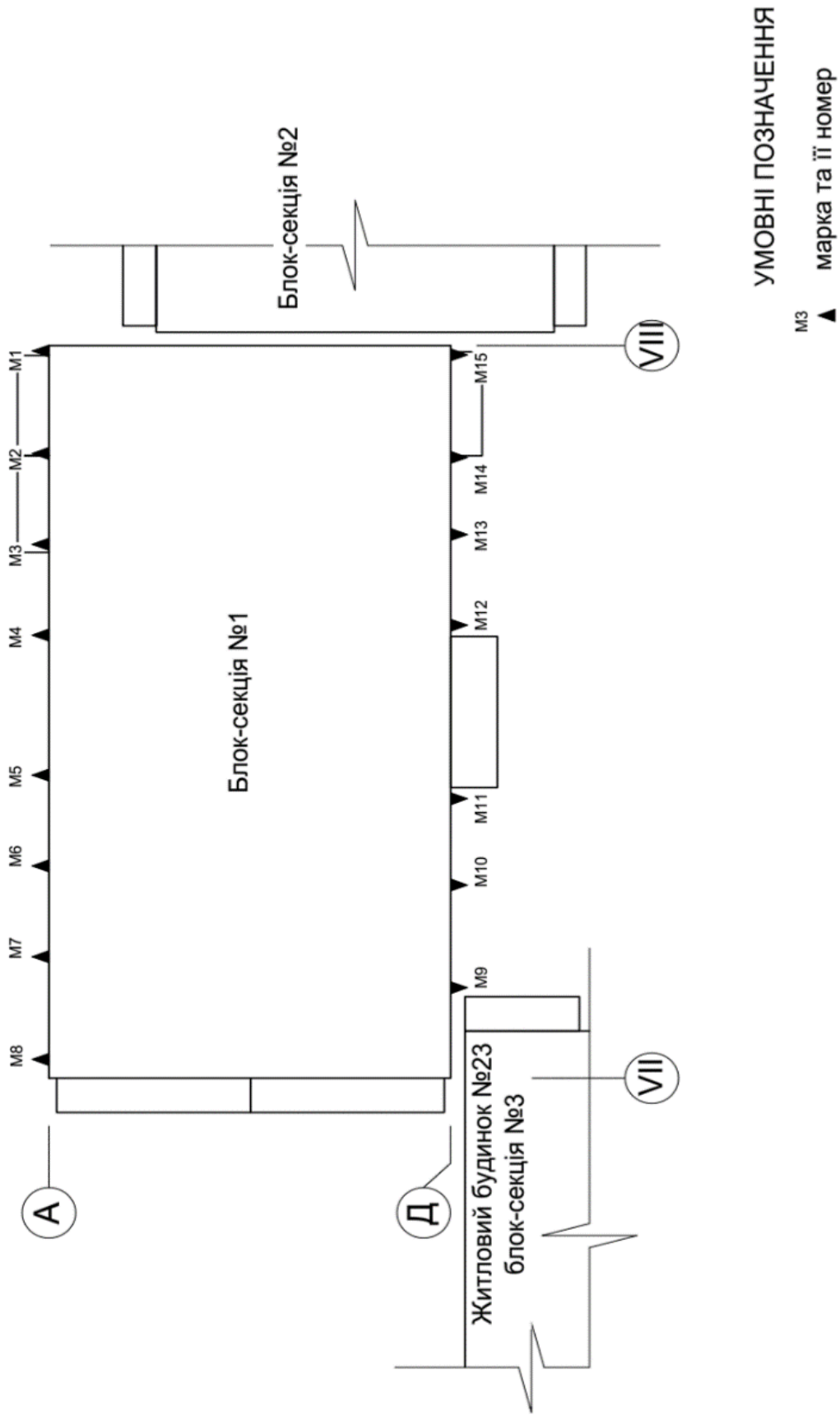


Рис. Г4. Схема розташування стінних марок на об'єкті.

Результати геодезичних спостережень за осіданнями об'єкта

Дата спостережень	Цикл I 13.07.2021		Цикл II 17.07.2021		Цикл III 18.07.2021		Цикл IV 19.07.2021		Цикл V 20.07.2021		Цикл VI 21.07.2021	
	осідання		осідання		осідання		осідання		осідання		осідання	
№№ марок	Δs	S	Δs	S	Δs	S	Δs	S	Δs	S	Δs	S
1	0	0	-1	-1	-2	-3	-8	-11	-20	-31	-12	-43
2	0	0	-1	-1	-2	-3	-7	-10	-19	-29	-11	-40
3	0	0	-1	-1	-2	-3	-5	-8	-18	-26	-10	-36
4	0	0	-1	-1	-1	-2	-3	-5	-17	-22	-10	-32
5	0	0	0	0	-1	-1	-3	-4	-12	-16	-8	-24
6	0	0	0	0	-1	-1	-2	-3	-4	-7	-9	-16
7	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-3	-4	-12	-16
8	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-7	-8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1
12	0	0	0	0	-2	-2	0	-2	-2	-4	-1	-5
13	0	0	-1	-1	-1	-2	-1	-3	-2	-5	-2	-7
14	0	0	-1	-1	-2	-3	-1	-4	-3	-7	-3	-10
15	0	0	-1	-1	-3	-4	-2	-6	-4	-10	-5	-15

Закінчення таблиці Г1

Дата спостережень	Цикл XXXXIII 03.09.2021		Цикл XXXXIV 06.09.2021		Цикл XXXXV 09.09.2021		Цикл XXXXVI 10.10.2021		Цикл XXXXVII 10.11.2021	
№№ марок	осідання		осідання		осідання		осідання		осідання	
	Δs	S	Δs	S	Δs	S	Δs	S	Δs	S
1	-1	-219	0	-219	-1	-220	-1	-221	-1	-222
2	-2	-199	0	-199	0	-199	-1	-200	-1	-201
3	0	-171	0	-171	0	-171	-1	-172	0	-172
4	-2	-154	0	-154	0	-154	-1	-155	0	-155
5	-1	-127	0	-127	0	-127	-1	-128	0	-128
6	0	-104	0	-104	0	-104	0	-104	-1	-105
7	0	-84	0	-84	0	-84	0	-84	0	-84
8	0	-61	0	-61	0	-61	0	-61	0	-61
9	0	-4	-1	-5	0	-5	0	-5	0	-5
10	-1	-26	0	-26	0	-26	0	-26	0	-26
11	-1	-50	0	-50	0	-50	0	-50	-1	-51
12	-1	-75	-1	-76	0	-76	-1	-77	-1	-78
13	-3	-95	-2	-97	-1	-98	-1	-99	0	-99
14	-4	-115	-2	-117	-1	-118	-2	-120	0	-120
15	-4	-126	-2	-128	-1	-129	-1	-130	-1	-131

Окремі епюри осідань блок-секції № 1 під час її вирівнювання, які були побудовані за результатами геодезичних спостережень, наведено на рис. Г5.

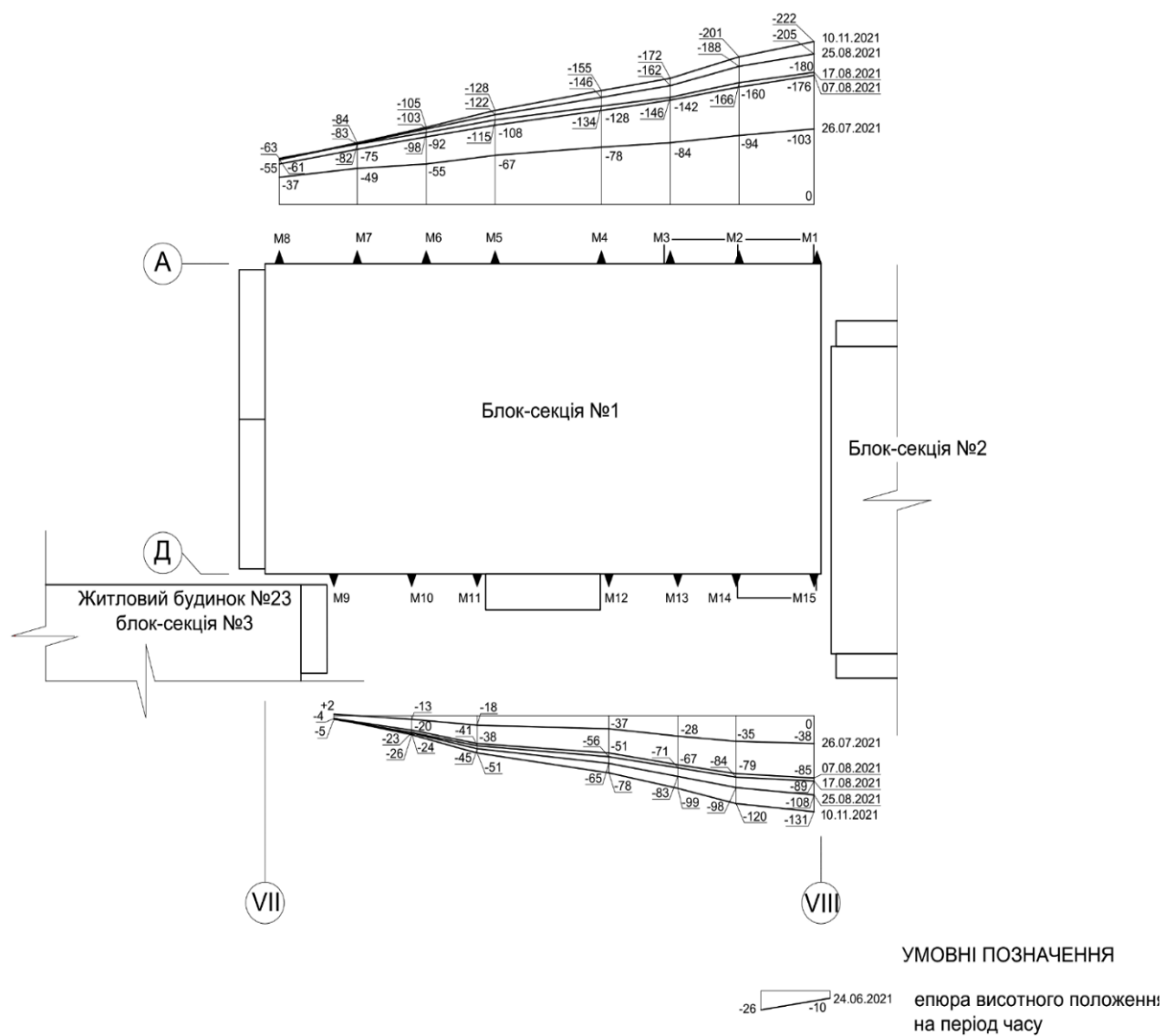


Рис. Г5. Епюри осідань блок-секції № 1 під час її вирівнювання.

Додаткова інформація щодо науково-технічного супроводу у процесі виконання підготовчих та земляних робіт з вирівнювання блок-секції № 1

Також слід враховувати, що різниця у величинах відхилення може бути пов'язана з точками, відносно яких проводились вимірювання (верх парапетної панелі у 2014 р., верх панелі дев'ятого поверху). Зважаючи на приблизно рівні значення кренів блок-секції, коригування об'єму бурових робіт на початковому етапі вирівнювання не виконувалось. Було прийнято рішення додаткове коригування планово-висотного положення блок-секції, у випадку необхідності, проводити після виконання основного обсягу бурових робіт. Також слід зазначити, що розрахункові показники відведення блок-секції № 1 у поздовжньому напрямку становили 210 мм, у поперечному – 110 мм, а результуюче значення – 237 мм (діагональний крен 0,00948). При визначенні розрахункових показників звертали увагу не лише на відхилення кутів від вертикалі, але і на величини нерівномірних осідань, які були зафіксовані під час збирання вихідних даних для проєктування. Проєкт [174] передбачав відкопування одного котловану з боку головного фасаду вздовж ряду «А». При відкопуванні котловану виявилось, що глибина закладання занедбаних погребів та погребів, що експлуатувались до початку земляних робіт і які потрапляли у «пляму» котловану, більша за проєктну глибину котловану. Тому було прийнято рішення поглибити відкопаний котлован на 0,3...1,0 м по всій його довжині до природної основи, частково виконати і зачистку відкосів у місцях потрапляння в їх зону погребів. Таким чином, збільшився об'єм ґрунту, що відкопувався. У проєкті [173] було відкориговано план та об'єм ґрунту у відкопаному котловані.

План котловану та переріз 1 – 1 по ньому наведені на рис. Гб. Відкопування котловану проводив генпідрядник. Відкопування

здійснювали за допомогою екскаватора. Ґрунт, що виймали з котловану, грузили на самоскид і відвозили на тимчасовий майданчик складування ґрунту, який розташовувався вздовж головного фасаду житлового будинку № 25 по пр. Інженера Преображенського. Зовнішній вигляд котловану під час та після відкопування наведено на рис. Г7.

Вручну ґрунт очищали з обрізу фундаментів, доопрацьовували та планували на дні котловану. У відкопаному котловані, відповідно до програми, були відібрані моноліти ґрунтів, що залягали під подошвою фундаментів, з подальшим виконанням лабораторних досліджень відібраних зразків ґрунтів. Отримані фізико-механічні характеристики ґрунтів наведені в таблицях 1.1...1.3 тому 1 звіту [185]. Встановлені фізичні та фізико-механічні характеристики ґрунтів ґрунтової подушки блок-секції № 1 житлового будинку вказують на наступне: матеріал виготовлення ґрунтової подушки – лесові суглинки, місцями з гумусом (з домішкою ґрунтів ґрунтово-рослинного шару); основний показник якості улаштування ґрунтової подушки – щільність сухого ґрунту (ґрунту в сухому стані) ρ_d – змінюється від 15,99 кН/м³ до 18,57 кН/м³; щільність ґрунту в сухому стані змінюється хаотично за глибиною (за потужністю) ґрунтової подушки; частина ґрунтів ґрунтової подушки володіє просадними властивостями; показники вологості ґрунтової подушки становлять $W=0,11...0,18$ ч.о.

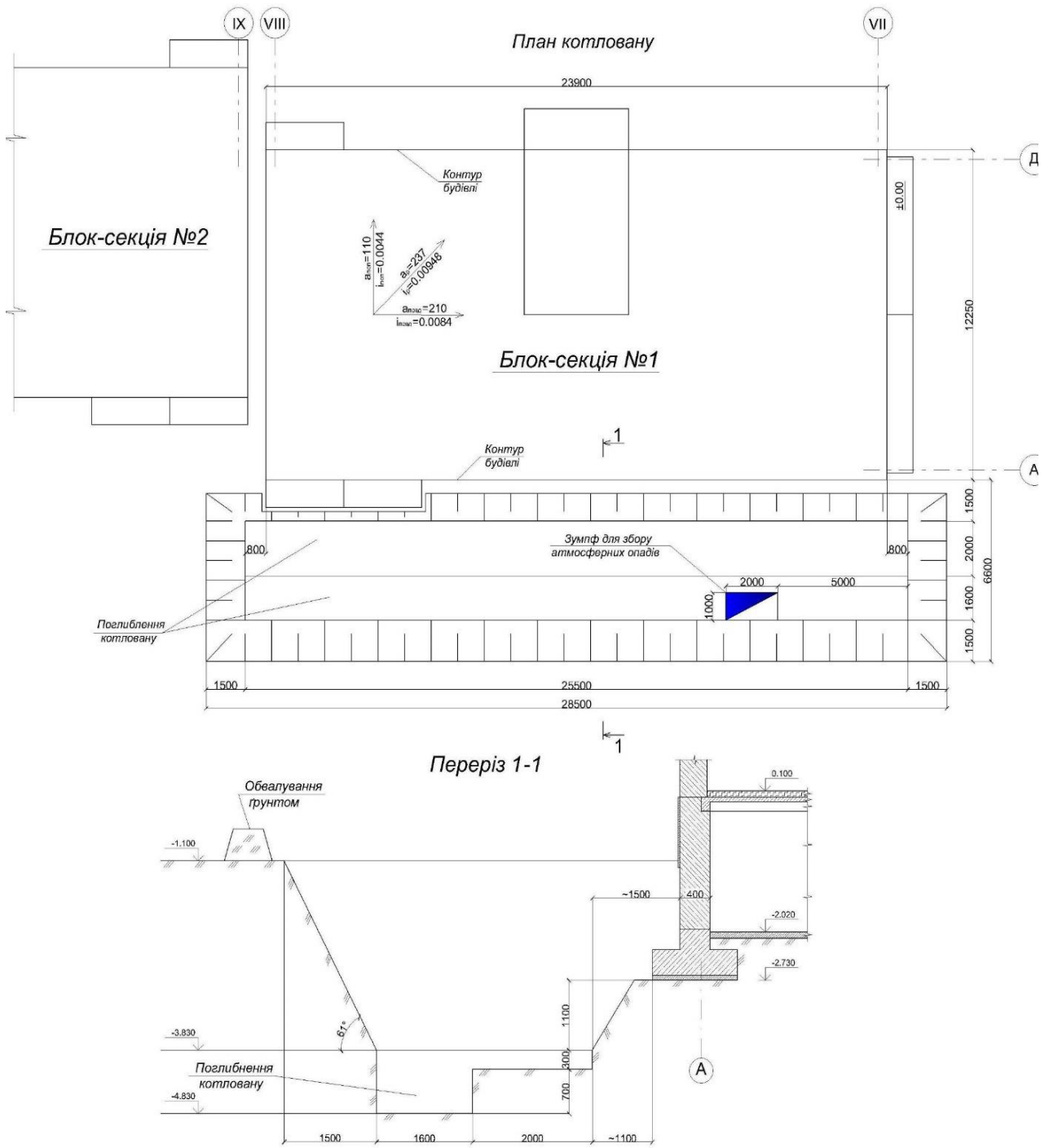


Рис. Г6 – План котловану та переріз 1 – 1 по ньому.



Рис. Г7.1 – Зовнішній вигляд під час відкопування котловану.



Рис. Г7.2 – Зовнішній вигляд відкопаного котловану.

Отримані результати лабораторних досліджень порівняли з результатами досліджень [175], які наведені нижче. Фізичні та фізико-механічні характеристики ґрунтів ґрунтової подушки блок-секції № 1 житлового будинку, згідно з дослідженнями 2014 р., вказували на наступне: матеріал виготовлення ґрунтової подушки – лесові суглинки, місцями з гумусом (з домішкою ґрунтів ґрунтово-рослинного шару); основний показник якості улаштування ґрунтової подушки – щільність сухого ґрунту (ґрунту в сухому стані) ρ_d – змінювався від 16,87 кН/м³ до 17,75 кН/м³; щільність ґрунту в сухому стані змінювалася хаотично за глибиною (за потужністю) ґрунтової подушки; частина ґрунтів ґрунтової подушки володіла просадними властивостями; показники вологості ґрунтової подушки становили $W=0,13\dots 0,16$ ч.о.

Загалом результати цих двох досліджень схожі. Але під час досліджень, виконаних у 2021 р., відібрані зразки ґрунтів ґрунтової подушки проявляли просадні властивості (при замочуванні) при більшому тиску $P_{\text{поч.прос.}} \equiv 0,2311$ МПа. При раніше виконаних дослідженнях цей показник становив $P_{\text{поч.прос.}} = 0,0719$ МПа. Слід зазначити, що частина зразків ґрунту ґрунтової подушки блок-секції № 1, відібраних в різний час, при замочуванні не володіла просадними властивостями.