

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою

Остап'юк Василь Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

«Розробка проекту та методика виконання спостережень за осіданням
фундаменту багатоповерхового будинку»
(назва роботи)

Геодезія та землеустрій
(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня Остап'юк В. В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Гринішак М.Я., ст. викладач
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри Приходько М. М., професор
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Приходько М.М.

« ____ » _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Остап'юка Василя Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка проекту та методика виконання спостережень за осіданням фундаменту багатоповерхового будинку»

керівник роботи ст. викладач Гринішак Микола Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від " ____ " червня 2025 року № ____

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: звітні матеріали з результатами геодезичних спостережень за осіданнями фундаменту багатоповерхової будівлі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Характеристика об'єкту та опис сучасних методів досліджень осідань.

2 Особливості організації геодезичного моніторингу осідань фундаментів будівель з використанням сучасного геодезичного обладнання та методик робіт. 3 Особливості розробки проекту та виконання геодезичного моніторингу осідання фундаменту багатоповерхової будівлі в м. Івано-Франківськ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

1) Схема розташування деформаційних марок у фундаменті будівлі. 2) Схема мережі початкової (нульової) серії високоточного геометричного нівелювання. 3) Відомість висот деформаційних марок фундаменту будівлі. 4) Графік з відображенням динаміки осідань фундаментних деформаційних марок

Анотація

У бакалаврській роботі висвітлено комплекс геодезичних робіт для моніторингу за осіданнями фундаменту багатоповерхової будівлі. Причиною для проектування та виконання спостережень за осіданнями фундаменту стала поява вертикальних тріщин на стінах досліджуваного будинку.

Мета дослідження полягає у розробці та практичному впровадженні комплексу робіт для спостережень за осіданнями фундаменту будівлі корпусу №1 ІФНТУНГ, розташованому у м. Івано-Франківськ.

За результатами виконання першого розділу зібрано відомості про досліджувану будівлю. Зокрема наведено гідрогеологічні та топографо-геодезичні дані про об'єкт спостереження.

Розділ 2 присвячений детальному аналізу існуючих методів спостережень за осіданнями.

Практична частина роботи представлена у вигляді опису спеціально розробленої для досліджуваної будівлі програми спостережень методом високоточного геометричного нівелювання деформаційних марок, закладених у фундаментну плиту.

Наведені результати вимірювань осідань, їх графічна інтерпретація та висновки за результатами спостережень у 2019-2024 рр. дозволяють встановити, що осідання фундаменту досліджуваної будівлі відбувається нерівномірно. Це і призвело до утворення вертикальних тріщин на стінах будинку.

Abstract

The bachelor's thesis highlights a set of geodetic works for monitoring the subsidence of the foundation of a multi-storey building. The reason for designing and performing observations of the subsidence of the foundation was the appearance of vertical cracks on the walls of the building under study.

The purpose of the study is to develop and practically implement a set of works for observing the subsidence of the building of building No. 1 of the IFNTUNG, located in the city of Ivano-Frankivsk.

According to the results of the first section, information about the building under study was collected. In particular, hydrogeological and topographic-geodetic data on the observation object are provided.

Section 2 is devoted to a detailed analysis of existing methods of observing subsidence.

The practical part of the work is presented in the form of a description of a specially developed observation program for the building under study using the method of high-precision geometric leveling of deformation marks embedded in the foundation slab.

The presented results of settlement measurements, their graphic interpretation, and conclusions based on the results of observations in 2019-2024 allow us to establish that the settlement of the foundation of the building under study occurs unevenly. This led to the formation of vertical cracks on the walls of the building.

Зміст

Вступ	7
1. Характеристика об'єкту та опис сучасних методів досліджень осідань	8
1.1. Опис місця розташування досліджуваної будівлі та гідрогеологічна характеристика.....	Помилка! Закладку не визначено.
1.2. Топографо-геодезична вивченість району розташування досліджуваної будівлі	Помилка! Закладку не визначено.
2 Особливості організації геодезичного моніторингу осідань фундаментів будівель з використанням сучасного геодезичного обладнання та методик робіт	13
2.1 Загальні відомості про осідання. Геодезичні методи визначення та моніторингу осідань фундаменту будівлі	Помилка! Закладку не визначено.
2.2 Аналіз сучасних тенденцій у напрямку геодезичних спостережень за деформаціями будівель і споруд.....	Помилка! Закладку не визначено.
2.3 Організація робіт з забезпечення геодезичного моніторингу осідання фундаменту будівлі методом геометричного нівелювання	Помилка! Закладку не визначено.
3 Особливості розробки проекту та виконання геодезичного моніторингу осідання фундаменту багатоповерхової будівлі в м. Івано-Франківськ.....	30
3.1 Передумови виконання спостережень за осіданням фундаменту досліджуваної будівлі. Підготовчі роботи	30
3.2 Методика польових робіт та геодезичні прилади, які використовувались для моніторингу.....	Помилка! Закладку не визначено.
3.3 Результати опрацювання вимірів та аналіз одержаних даних	Помилка! Закладку не визначено.
Висновки	39

Вступ

У сучасному містобудуванні багатоповерхове будівництво є невід'ємною частиною розвитку інфраструктури великих міст. У зв'язку з цим питання надійності та безпеки експлуатації таких споруд набувають особливої актуальності. Одним із ключових аспектів забезпечення стабільності будівель є контроль за їхніми деформаціями, зокрема за осіданнями фундаментів. Відслідковування динаміки процесу осідання фундаменту необхідно виконувати, щоб вчасно встановити місця критичних напружень у конструкціях будівлі. Виникнення таких напружень, в свою чергу, може призвести до аварійності або, навіть, руйнування будинку.

У зв'язку з воєнними діями на Україні виникають додаткові ризики для багатоповерхових будівель. Так наявність сейсмічних та ударних навантажень у результаті вибухів та інших бойових дій можуть призвести до виникнення мікротріщин у конструкціях, змінити властивості ґрунтів, викликаючи при цьому нерівномірне осідання фундаментів будівлі.

Спостереження за осіданнями виконують геодезичними методами геометричного, тригонометричного, гідростатичного нівелювання деформаційних марок, встановлених у фундаменті досліджуваної будівлі. Періодичні визначення зміни висот деформаційних марок відносно стабільних реперів геодезичної основи дозволяють з високою точністю виявляти навіть незначні зміни у положенні конструктивних елементів будівлі.

Метою цієї роботи є дослідження геодезичних методів спостереження за осіданнями багатоповерхової будівлі, аналіз отриманих результатів та оцінка ефективності запропонованих рішень у контексті практичного застосування.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення надійності інженерних споруд і впровадження сучасних технологій контролю деформацій у будівництві та експлуатації будівель.

1. Характеристика об'єкту та опис сучасних методів досліджень осідань

У процесі експлуатації будівель та споруд особливу увагу слід приділяти їхньому фундаменту, який є основною несучою частиною всього об'єкту. За станом фундаменту можна судити про надійність і довговічність усієї споруди. Нерівномірні осідання вважають одним із найнебезпечніших процесів, що може негативно впливати на стан фундаменту. Процес нерівномірних осідань здебільшого виникає через неоднорідність ґрунтів, підземні води, додаткові навантаження або недоліки у проектуванні та будівництві.

Особливо складною є ситуація, коли багатоповерхова будівля розташована в умовах щільної міської забудови, де можливості для підсилення основи обмежені, а додаткове навантаження від сусідніх об'єктів може ускладнювати поведінку ґрунтової основи. У поєднанні з несприятливими гідрогеологічними умовами (наявністю насичених водоносних горизонтів, пливунів або слабких водонасичених ґрунтів) ризик виникнення нерівномірних осідань значно зростає.

Нерівномірні осідання можуть призводити до утворення тріщин у стінах, деформацій перекриттів, розривів комунікацій та навіть часткового руйнування конструктивних елементів будівлі. У складних випадках це створює безпосередню загрозу для життя мешканців і функціонування об'єкта.

1.1. Опис місця розташування досліджуваної будівлі та гідрогеологічна характеристика

Об'єктом досліджень у роботі обрано будинок складної конфігурації (рис. 1.1), який складається з основної п'ятиповерхової будівлі у формі літери «V» (передня частина будівлі, де зображені сходи на рис. 1.1) та дворівневих аудиторій, розташованих позаду основної п'ятиповерхової частини. Будівля розташована на території навчального закладу ІФНТУНГ та є одним з навчальних корпусів національного університету.



Рисунок 1.1 – Схема досліджуваної багатоповерхової будівлі

Досліджуваний будинок знаходиться в межах м. Івано-Франківськ, у північно-західній частині міста, за адресою вул. Карпатська 15, навчальний корпус №1. На півночі об'єкт дослідження межує з вул. Берегова, на півдні має вихід на вул. Сніжна. За 350 м на північний захід від будівлі розпочинається русло р. Бистриця Солотвинська, яка протікає в цьому місці з південного заходу на північний схід.

Абсолютні висоти в районі розташування будинку коливаються в районі 245÷246 м над рівнем моря.

Розташування м. Івано-Франківськ у межах Передкарпатського прогину обумовлює складні інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови. Підземні води у межах міста залягають у четвертинних і палеогенових відкладах. Вони представлені водоносними горизонтами, що формуються в піщано-глинистих та уламкових породах.

Глибина залягання підземних вод у межах Івано-Франківська варіюється залежно від рельєфу та геологічної будови. Досліджуваний будинок знаходиться у одній з низинних частин міста, для якої рівень залягання ґрунтових вод може бути близьким до поверхні. Наявність неподалік річки Бистриця Солотвинська впливає на гідродинамічний режим підземних вод, сприяючи їхньому руху та можливому підняттю рівня в зоні розташування будівлі.

Середньорічна кількість опадів для Івано-Франківська становить 800÷1000 мм, причому більша частина припадає на теплий період року (весняно-літній сезон). Саме атмосферні опади є головним джерелом живлення верхніх горизонтів підземних вод, особливо в умовах неглибокого залягання водоносного горизонту.

Коливання рівня ґрунтових вод в районі розташування досліджуваної будівлі, характер та причини яких описані вище, призводять до почергового зволоження та осушення ґрунтів безпосередньо в зоні розташування фундаменту. Це може сприяти виникненню процесів нерівномірних осідань будівлі.

1.2. Топографо-геодезична вивченість району розташування досліджуваної будівлі

На територію, де знаходиться навчальний корпус №1 ІФНТУНГ, наявний топографо-картографічний матеріал масштабу 1:500. За даними, наданими Науково-дослідним інститутом геодезії і картографії було виконано аналіз топографо-геодезичної вивченості району робіт на предмет наявності в безпосередній близькості до об'єкту пунктів ДГМ України (рис. 1.2). Як видно на рис. 1.2, у безпосередній близькості до об'єкту досліджень розташовані пункти планово висотної основи з назвами Міст (пункт полігонометрії 3 класу) та 1019 (пункт полігонометрії 4 класу), відкриті відомості про які наведені в табл. 1.1.



Рисунок 1.2 – Схема розміщення пунктів ДГМ України в районі робіт

Таблиця 1.1

Стан та віддаленість від об'єкту існуючих пунктів ДГМ України

Індекс	назва	Клас		Віддаль, м	Стан пункту
		Планової мережі	Нівелірної мережі		
M352550010	1019	4	IV	510	не обстежений
M352550500	Міст	3	IV	1250	не обстежений

В ході виконання робіт з рекогностування пункти ДГМ, зазначені в таблиці 1, на місцевості виявлені не були. Тому виникла необхідність у відшуканні та виборі інших реперів, які б служили вихідними при створенні висотної мережі для спостереження за осіданням фундаменту досліджуваного будинку.

Після аналізу архівних матеріалів на вул. Набережна ім. Стефаника було знайдено три стінних репера міської висотної мережі, відмітки яких свого часу були визначені з точністю нівелювання IV класу (рис. 1.3). В обстеження вказаних стінних реперів зроблено висновок, що стан їх задовільний. Зважаючи на те, що віддалі від вказаних пунктів до корпусу №1 ІФНТУНГ становлять від

500 до 900 м, було прийняти рішення використати їх в якості вихідних при проектуванні мережі для спостережень за осіданням фундаменту досліджуваної будівлі.

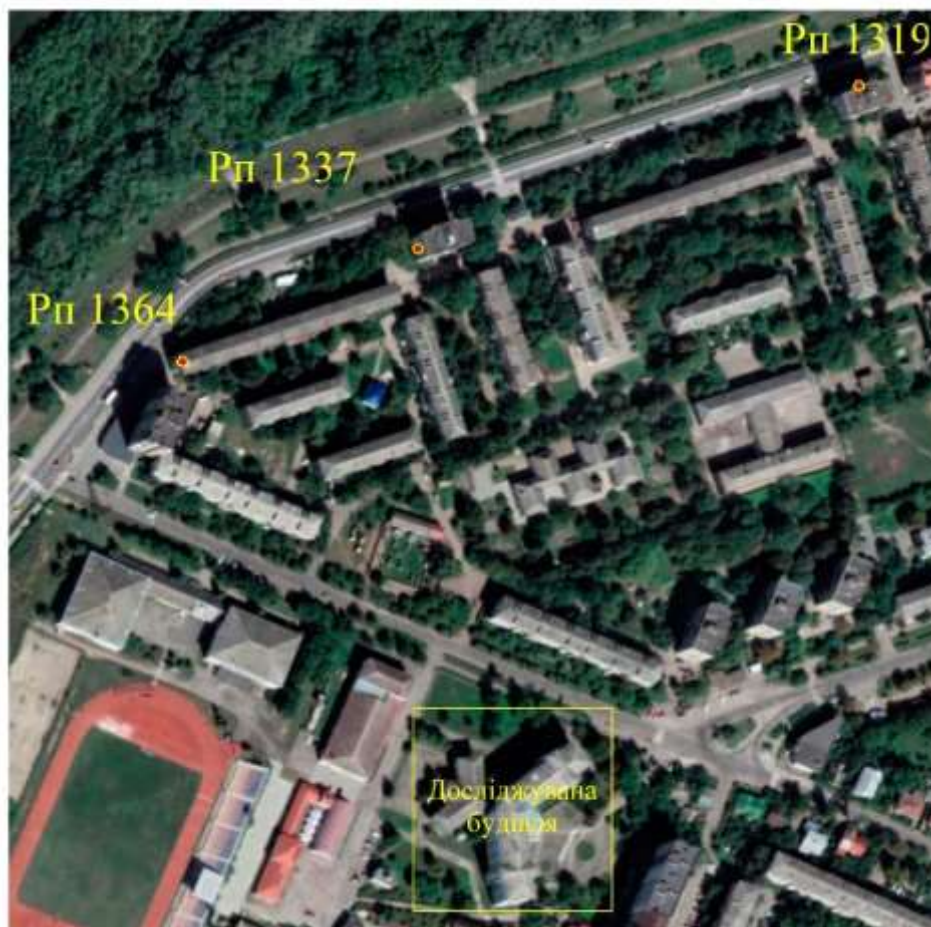


Рисунок 1.3 – Фрагмент космознімку з нанесеним положенням реперів міської висотної основи

Загальні відомості про стінні репери з рис. 1.3 наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Стан та віддаленість від об'єкту знайдених реперів міської висотної мережі

Вид знаку	Назва репера	Клас нівелірної мережі	Віддаль, м	Стан пункту
Стінний репер	1364	IV	552	обстежений
Стінний репер	1327	IV	589	обстежений
Стінний репер	1319	IV	835	обстежений

Висновок: спостереження за осіданнями фундаменту будуть проведені для п'ятиповерхової будівлі, розташованої в північно-західній частині м. Івано-Франківськ. Об'єкт дослідження розташований неподалік від річки у місцевості з складними гідрогеологічними умовами, що може бути однією з причин нерівномірних осідань фундаменту. Вивчення та аналіз існуючих топографо-геодезичних матеріалів допомогли виявити неподалік три репери міської висотної мережі, які обрано вихідними при створенні висотної геодезичної основи для геодезичного моніторингу процесу осідання.

2 Особливості організації геодезичного моніторингу осідань фундаментів будівель з використанням сучасного геодезичного обладнання та методик робіт

2.1 Загальні відомості про осідання. Геодезичні методи визначення та моніторингу осідань фундаменту будівлі

Осіданням фундаменту називають вертикальне переміщення фундаментної основи будівлі або споруди внаслідок стискання ґрунтового середовища під навантаженням. Це явище є результатом природних або техногенних змін у структурі ґрунту й має вирішальний вплив на експлуатаційну надійність будівель, особливо багатопверхових конструкцій.

Фундамент передає навантаження від надземної частини будівлі на основу. Якщо несуча здатність ґрунту недостатня, або змінюється його вологість, щільність чи структура, відбувається деформація основи, що проявляється як осідання. У геодезичній практиці це фіксується за допомогою точних інструментальних вимірювань.

Існують декілька підходів до класифікації осідань, зокрема за характером розподілу, за часом прояву, за причинами тощо.

За характером розподілу осідання бувають рівномірними, нерівномірними та диференційованими (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Порівняння типів осідань за основними ознаками

Ознака	Рівномірне осідання	Нерівномірне осідання	Прогресивне осідання
Характер деформації	Вертикальне опускання всієї будівлі на однакову глибину	Диференційоване опускання різних частин фундаменту	Поступове збільшення осідання з часом
Наслідки для конструкції	Як правило, без серйозних пошкоджень	Можливі тріщини у стінах, перекося, перекриття	Наростання деформацій, загроза стабільності
Причини виникнення	Стискання рівномірної основи	Нерівномірна міцність ґрунтів, навантаження, витоки	Зміна гідрогеологічних умов, будівництво поблизу

Період прояву	Одразу після навантаження або короткий період	Часто в перший рік експлуатації	Може тривати роками після завершення будівництва
Приклад	Будівля на ущільненому піску	Осідання однієї секції панельного будинку	Поступове зниження рівня тротуару біля фундаменту
Спосіб виявлення	Нівелювання по периметру	Геодезичний моніторинг із візуальним контролем	Тривалий інструментальний моніторинг (GNSS, лазерне сканування)

Рівномірне осідання відбувається, коли вся будівля опускається на однакову висоту по всій площі фундаменту. Такий тип осідання зазвичай не призводить до значних пошкоджень (рис. 2.1а).

Нерівномірне осідання спостерігається тоді, коли окремі ділянки фундаменту опускаються з різною інтенсивністю. Це найнебезпечніший вид, оскільки може спричинити тріщини в стінах, перекосяти та призводити до аварійності самої будівлі (рис. 2.1б). Прикладом такого осідання може бути багатопверховий житловий будинок, побудований на складному глинистому ґрунті з високим рівнем ґрунтових вод, який уже в перший рік експлуатації виявив нерівномірне осідання в районі ліфтового вузла та торцевої стіни. Результати геодезичного моніторингу свідчать про перепад величини осідання понад 15 мм на довжині 20 м, що спричинило появу вертикальної тріщини на фасаді будинку.

а)

б)

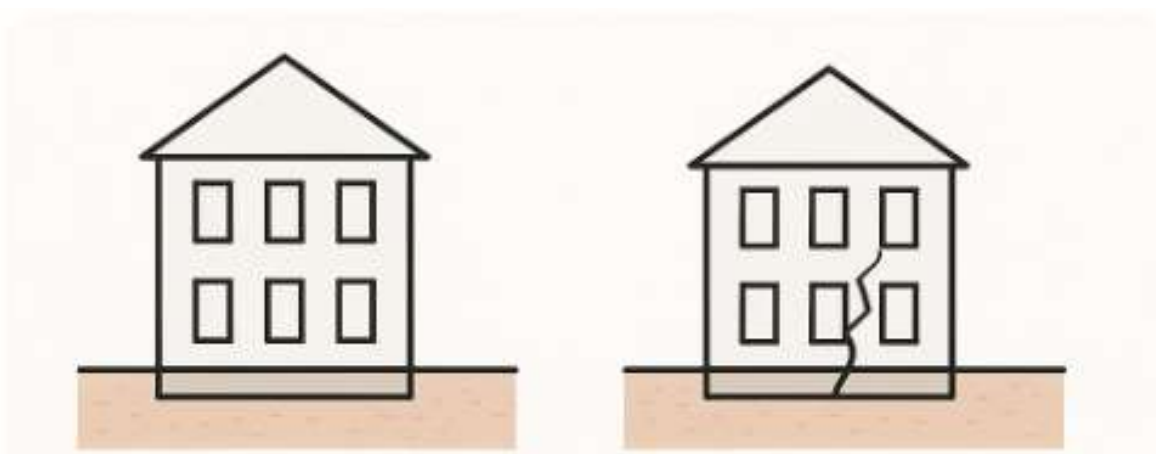


Рисунок 2.1 – Наслідки рівномірного (а) та нерівномірного (б) осідання будівлі

Диференційоване осідання є проміжним випадком, коли деформації мають складний просторовий характер і залежать від неоднорідності ґрунтів, форми навантаження або складності конструкції.

Класифікація осідань за часом прояву продемонстрована на рис. 2.2. *Миттєве* (еластичне) осідання відбувається одразу після виникнення навантаження. *Поступове* (консолідаційне) осідання триває певний період часу після зведення споруди. *Прогресивне осідання* розвивається із часом унаслідок додаткових впливів (наприклад, підтоплення чи реконструкції).



Рисунок 2.2 – Класифікація осідань за часом прояву

Причини виникнення осідань можуть бути різноманітними. Однак в загальному їх можна поділити на природного характеру (до прикладу, слабкі або водонасичені ґрунти, сезонні зміни вологості, карстові процеси) та техногенні (недоліки в проєктуванні, недотримання технологій будівництва, вібрації, витік комунікацій, зниження рівня ґрунтових вод).

Моніторинг осідання фундаментів є невід’ємною частиною геодезичного контролю за станом будівель і споруд, особливо в умовах складних інженерно-геологічних умов та урбанізованого середовища. Метою таких спостережень є виявлення, вимірювання, аналіз і прогнозування деформацій основи, що дає змогу своєчасно запобігати аваріям та зниженню несучої здатності споруди.

На сьогоднішній день методи спостережень за осіданнями прийнято поділяти на чотири основні напрямки, кожен з яких має свої переваги та недоліки (табл. 2.2).

Порівняння методів моніторингу осідань

Метод	Точність	Переваги	Недоліки	Доцільність застосування
Нівелювання високої точності	± 0.3 мм/км	Висока точність, надійність	Трудомісткість, залежність від погодних умов	Моніторинг вертикальних осідань на доступних об'єктах
GNSS-спостереження	± 5 мм (вертикально)	Автоматизація, постійний контроль, тривимірність	Нижча точність по висоті, залежність від сигналу	Довготривалі спостереження великих споруд
Лазерне сканування (TLS)	$\pm 2-5$ мм	Повна 3D-візуалізація, зручність для складних об'єктів	Великий обсяг даних, потреба у ПЗ	Оцінка стану фасадів, структурні аналізи
Інтерферометрія (InSAR, PSI)	$\pm 2-3$ мм	Дистанційність, охоплення великих територій	Дороговартісна інтерпретація, залежність від супутників	Моніторинг міських зон, інфраструктури
Візуальний контроль	Оціночна	Доступність, простота	Суб'єктивність, низька точність	Попередня діагностика пошкоджень
Контрольні маяки	До 1 мм	Недороге рішення	Потрібен фізичний доступ, ручні вимірювання	Локальний контроль тріщин і зсувів

Класичні методи геодезичного контролю, до яких відносять високоточне геометричне нівелювання, тригонометричне нівелювання та лінійно-кутові виміри. Високоточне геометричне нівелювання полягає у здійсненні періодичних спостережень за висотою закріплених марок на фундаменті або елементах споруди за допомогою точних нівелірів і рейок. У випадках, коли неможливо провести класичне нівелювання (наявні перешкоди або великі перевищення), виконують тригонометричне нівелювання, використовуючи електронний тахеометр для вимірювання вертикального кута і відстані.

Сучасні інструментальні методи (GNSS-спостереження, лазерне сканування, інтерферометрія з синтезованою апаратурою). Застосування супутникових технологій дозволяє здійснювати безперервний або періодичний моніторинг зміщень у тривимірному просторі, є особливо ефективним при великих будівництвах або в умовах тривалих спостережень. Технологія лазерного сканування за допомогою TLS чи LiDAR дозволяє отримувати повну 3D-модель об'єкта (хмару точок) та порівнювати зміни між циклами спостережень. Метод дистанційного моніторингу осідань із супутника особливо ефективний для великих територій, включно з міськими забудовами.

Автоматизовані системи моніторингу часто застосовуються у сучасних умовах та характеризуються поєднанням в собі кількох технологій (GNSS, лазерні тахеометри, датчики деформацій, інклінометри), що працюють у режимі реального часу.

Перевагами таких систем є зчитування даних в автоматичному режимі; передача усіх результатів вимірів на один сервер опрацювання; автоматичне формування графіків, карт та звітів за результатами моніторингу; можливість налаштування системи тривоги.

Такі системи вже використовуються при спорудженні тунелів, метро, хмарочосів, мостів, дамб.

Візуальні та контактні методи, до яких відносять візуальний контроль, контрольні маяки та гіпсові мітки для моніторингу тріщин в поєднанні з геодезичними методами.

2.2 Аналіз сучасних тенденцій у напрямку геодезичних спостережень за деформаціями будівель і споруд

Геодезичні роботи, що ведуться при спостереженнях за деформаціями в Україні, повинні виконуватися відповідно до вимог чинних будівельних норм, стандартів та інструкцій [1, 2, 3, 4].

Проблематика геодезичного моніторингу висотних об'єктів активно досліджується численними вітчизняними та зарубіжними науковцями. Світова

практика підтверджує беззаперечну актуальність даного напрямку, що зумовлено стрімким зростанням кількості висотних будівель у сучасних містах.

Для початку слід виконати ґрунтовний аналіз методів геодезичного моніторингу деформаційних процесів у висотних будівлях та інженерних спорудах. Основна мета таких досліджень полягає у впровадженні технологій вимірювання, що охоплюють повний цикл спостережень – від збору первинних даних до їх обробки, аналізу та порівняння результатів багаторазових спостережень. Застосування кількох циклів вимірювань дозволяє сформувати репрезентативну базу даних, необхідну для виявлення тенденцій змін просторового положення елементів конструкції. Отримані результати є вихідними для побудови апроксимаційних моделей, зокрема у вигляді лінійно-гармонійних функцій, що забезпечують математичний опис деформаційного стану об'єкта [5].

Одним із варіантів є застосування методу візуального контролю, який відіграє допоміжну роль у системі моніторингу. Його завданням є фіксація ранніх ознак деформацій або зміни геометрії конструктивних елементів, що дозволяє своєчасно ідентифікувати потенційно небезпечні місця. Кінцева мета досліджень у цій галузі полягає у гарантуванні безпечної експлуатації висотних будівель шляхом впровадження систем раннього попередження про появу деформацій розтягувального чи зсувного характеру, а також реалізації ефективних заходів щодо їх локалізації.

Зазначені методи ґрунтуються переважно на традиційних наземних геодезичних спостереженнях, однак їх ефективність значно зростає при інтеграції різних підходів. Комплексне поєднання традиційних методик дає змогу отримати більш повну та достовірну картину деформаційних змін, що відбуваються з об'єктом у процесі його експлуатації.

Стрімкий розвиток геодезичних технологій сприяв запровадженню інноваційного підходу до вирішення задачі геодезичного моніторингу інженерних споруд шляхом поєднання інтегрованої GNSS-технології з використанням неметричних цифрових камер, орієнтованих на зчитування QR-

кодованих марок. Розроблена система позиціонується як економічно вигідне та технологічно доступне рішення для реалізації спостережень за станом конструкцій. Її функціонування базується на принципах комп'ютерного зору у поєднанні з високоточним супутниковим позиціонуванням, що забезпечує достатню точність для задач моніторингу деформацій [6].

Основне призначення цієї системи полягає в контролі стану інженерних споруд різного типу, зокрема й висотних будівель, які є особливо вразливими до впливу зовнішніх чинників, таких як вітрове навантаження, температурні коливання або техногенний вплив. Запропонована методика дозволяє визначати зміни геометричних характеристик конструктивних елементів у динаміці. Це, у свою чергу, створює передумови для прогнозування можливих деформацій у майбутньому, що є важливим для запобігання критичним пошкодженням та забезпечення надійності експлуатації споруд.

Ще одним новітнім напрямком є застосування дистанційних технологій для контролю осідань будівельних конструкцій. Зокрема, обґрунтовано доцільність використання методу радіолокаційної інтерферометрії як ефективного інструменту для виявлення та моніторингу вертикальних деформацій інфраструктурних об'єктів. Практичну реалізацію цього підходу продемонстровано на прикладі навчального корпусу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу [7].

У межах дослідження [7] було зібрано радіолокаційні дані, які згодом були оброблені із застосуванням методу Persistent Scatterers Interferometry (PSI), тобто інтерферометрії постійних розсіювачів. Цей метод дозволяє з високою точністю ідентифікувати сталі об'єкти, які постійно відбивають радіолокаційний сигнал, що робить його особливо ефективним у міських умовах.

У результаті обробки вдалося визначити середні швидкості вертикальних переміщень на території досліджуваного об'єкта. Отримані значення були верифіковані шляхом порівняння з даними наземних GNSS-спостережень, що підтверджує надійність та точність результатів дистанційного моніторингу.

Одним із перспективних напрямів сучасного геодезичного моніторингу є застосування технологій лазерного сканування для контролю стану будівель і споруд. Як свідчать результати проведених досліджень, ключовою перевагою цього методу є можливість оперативного отримання великого масиву просторових даних з високою точністю. Проте водночас одним із суттєвих недоліків залишається значний обсяг часу, необхідний для обробки й інтерпретації отриманої інформації, що вимагає спеціалізованого програмного забезпечення та фахової підготовки.

У роботі авторів, що спеціалізуються на лазерному скануванні [8], подано детальний огляд існуючих методик, а також практичних напрямів використання технологій тривимірної візуалізації та лазерного моніторингу. Особливу увагу приділено розвитку автоматизованих безконтактних систем спостереження, які можуть функціонувати в режимі реального часу. Також розглядаються шляхи вдосконалення алгоритмів обробки сканованих даних та створення програмних рішень для комплексного аналізу результатів, що значно розширює можливості виявлення деформацій на ранніх стадіях.

Слід згадати також наявні сучасні розробки, спрямовані на моніторинг технічного стану конструкцій із застосуванням технології LiDAR (Light Detection and Ranging). Основна увага приділяється можливостям цієї технології у виявленні тріщин, деформацій, структурних дефектів, а також змін, які виникають у конструкціях із часом. Представлені дослідження охоплюють широкий спектр об'єктів цивільної інфраструктури, серед яких – автомобільні мости, дорожнє покриття, тротуари, тунелі, аркові системи, а також споруди, що зазнали пошкоджень внаслідок катастрофічних подій.

На сьогодні існує високий потенціал як мобільних, так і стаціонарних систем LiDAR у задачах моніторингу. Завдяки здатності отримувати надзвичайно точну й детальну геометричну інформацію про об'єкти дослідження, технологія LiDAR дозволяє з великою ефективністю ідентифікувати навіть незначні відхилення від проектного стану, що можуть свідчити про початкові ознаки пошкоджень або деформацій. Такий рівень

деталізації створює передумови для підвищення ефективності систем діагностики і прогнозування технічного стану інфраструктурних елементів.

Вартим уваги є дослідження, присвячене застосуванню технології лазерного сканування для моніторингу конструкцій закритого типу. При цьому існує можливість використання відносно недорогого обладнання, що дозволяє забезпечити доступність технології при збереженні високої ефективності. В ході камеральних робіт можна застосовувати спеціально оптимізований метод обробки хмари точок, що дає змогу здійснювати адаптивне вимірювання, враховуючи специфічні геометричні характеристики закритих інженерних споруд у сфері цивільного будівництва. Такий підхід сприяє підвищенню точності результатів та ефективності моніторингу складних внутрішніх об'ємів.

2.3 Організація робіт з забезпечення геодезичного моніторингу осідання фундаменту будівлі методом геометричного нівелювання

Геодезичне забезпечення моніторингу осідання являє собою комплекс заходів, спрямованих на виявлення, вимірювання та аналіз вертикальних переміщень фундаменту або конструктивних елементів будівлі в просторі та часі. Цей процес є невід'ємною частиною контролю за деформаціями споруд і дозволяє забезпечити їх безпечну та довготривалу експлуатацію.

Першим етапом є *постановка завдання та планування спостережень*.

Проведення геодезичного моніторингу осідань будівель і споруд вимагає чітко визначеної постановки задачі, яка враховує як особливості об'єкта спостережень, так і інженерно-геологічні умови території. На етапі формування завдання визначаються цілі, обсяг і точність вимірювань, а також характер і періодичність спостережень. Правильно сформульоване завдання слугує основою для розробки методики проведення моніторингу та дозволяє досягти об'єктивності й репрезентативності результатів.

Основною метою моніторингу є виявлення і кількісна оцінка вертикальних переміщень основи (осідань), що виникають унаслідок взаємодії фундаменту з

грунтовою основою під дією навантажень. Додатковими завданнями при визначенні осідань фундаменту будівлі можуть бути:

- визначення характеру осідання (рівномірне/нерівномірне);
- контроль просторового положення конструктивних елементів;
- оцінка швидкості розвитку деформацій у часі;
- верифікація розрахункових моделей;
- прогнозування подальших змін для ухвалення інженерних рішень.

Для досягнення поставлених цілей у ході планування геодезичних спостережень слід виконати *аналіз та визначити загальних характеристики об'єкта будівництва*, в ході якого встановлюють тип конструкції (монолітна, каркасна чи збірна), висотність та площу забудови, наявність підземних частин у вигляді цоколя або паркінгу, стадію експлуатації або будівництва.

Наступним кроком є виконання *оцінки інженерно-геологічних факторів*, в ході якої аналізують типи ґрунтів під фундаментом і їх деформаційні властивості, глибину залягання ґрунтових вод, сейсмічність регіону, наявність техногенних або природних чинників, що сприяють деформаціям.

Визначення параметрів спостережень супроводжується створенням просторової схеми моніторингу, на якій відображають розташування марок, реперів, антен, відбивачів. При цьому важливим є визначення кількості контрольних точок, необхідних для отримання надійних результатів моніторингу.

Не менш важливим є встановлення оптимальних часових інтервалів між циклами спостережень (добові, тижневі, щомісячні, і т. д.) залежно від темпів осідання. Вимоги до точності результатів вимірювань вибирають відповідно до класу точності, що диктується вимогами нормативних документів [1, 2, 3, 4] залежно від характеру об'єкта.

В ході *вибору методів та засобів спостереження* відповідно до типу споруди, складності геометрії, бюджету та доступності застосовуються класичні (нівелювання), інструментальні (тахеометри, GNSS), дистанційні (InSAR, лазерне сканування) або комбіновані методи спостережень.

Здійснюється підбір відповідного геодезичного обладнання з урахуванням класу точності та стабільності вимірювань у часі.

Також на цьому етапі слід встановити критерії завершення або продовження моніторингу. Адже спостереження можуть припинятися за умови досягнення стабільних значень осідань, і навпаки, у разі виявлення тенденції до наростання деформацій моніторинг продовжується або переводиться в режим підвищеної періодичності.

Таким чином, етап постановки завдання та планування є ключовим для ефективного функціонування системи геодезичного моніторингу, оскільки визначає його структуру, технічні параметри, методи вимірювань та організаційні аспекти реалізації. Належне планування забезпечує не лише високу точність і достовірність отриманих результатів, але й можливість прогностичного моделювання поведінки об'єкта в умовах змінного навантаження та складних інженерно-геологічних факторів.

Наступним етапом є *вибір контрольних точок та розробка системи спостережень*. Організація геодезичного моніторингу осідань фундаментів багатопверхових будівель вимагає ретельного підходу до вибору просторової конфігурації системи спостережень, включно з визначенням типів, кількості та розташування вихідних, контрольних та допоміжних точок, що утворюють каркас для подальших вимірювань і аналізу результатів.

Вихідні репери слугують фіксованою основою для всіх вимірювань у системі моніторингу. Вони закладаються поза зоною потенційних деформацій, тобто на ділянках, які гарантовано залишаються стабільними протягом усього періоду спостережень. Найчастіше вони встановлюються на скельних або ущільнених ґрунтах; будівлях, які не підлягають осіданню; спеціально закладених стінних реперах, не пов'язаних конструктивно з об'єктом дослідження.

Вихідні репери формують опорну геодезичну мережу (при GNSS – базові станції), що дозволяє забезпечити просторову прив'язку всієї системи з високою точністю.

Контрольні (деформаційні) марки є основними об'єктами спостережень, що розміщені безпосередньо на фундаменті, який моніториться. Вони відображають фактичний стан споруди й використовуються для фіксації її переміщень у вертикальному чи горизонтальному напрямках.

Розміщення контрольних марок здійснюється з урахуванням типу будівлі (каркасна, монолітна, збірна); геометрії об'єкта (форма фундаменту, розташування жорстких вузлів); інженерно-геологічних умов (зони підвищеної деформаційної небезпеки); доступності для спостережень (відкриті ділянки фасаду, даху, цоколя).

Кількість точок визначається відповідно до складності конструкції. Мінімумально рекомендується встановлювати по 2–3 точки на кожній головній осі, а також на ділянках, які межують із можливими зонами нерівномірного осідання.

У складних мережах моніторингу можуть також застосовуватися проміжні або допоміжні точки, які виконують роль з'єднуючих елементів між контрольними зонами. Вони потрібні для підвищення щільності сітки, вирівнювання результатів або побудови тривимірної моделі деформацій.

Розробка системи спостережень передбачає побудову просторової структури, в якій усі точки мають чітко визначені координати, ролі й взаємозв'язки. Така структура повинна забезпечувати стійкість системи в часі, надлишковість вимірювань (для статистичної перевірки результатів) та оптимальне охоплення ключових елементів конструкції.

У разі застосування GNSS-методів контрольні антени формують векторну мережу спостережень. При лазерному скануванні система спостережень організовується у вигляді мережі станцій сканування із заданими зонами перекриття.

Правильний вибір типів, кількості й розміщення контрольних і вихідних точок визначає точність, достовірність і репрезентативність результатів геодезичного моніторингу. Раціональна організація системи спостережень

дозволяє не лише виявляти навіть незначні деформації, а й прогнозувати їх розвиток, забезпечуючи техногенну безпеку об'єкта.

Наступним етапом є вибір методу спостережень за осіданнями фундаменту будівлі. Найоптимальнішим на сьогодні для цього є метод геометричного нівелювання з використанням сучасних електронних нівелірів та штрихкодкових рейок. Після цього настає етап **організації циклів спостережень**.

Процес організації циклів геодезичних спостережень за осіданнями будівель, зокрема за допомогою методу геометричного нівелювання, передбачає ретельно сплановану послідовність вимірювань, що забезпечує можливість виявлення і кількісної оцінки вертикальних деформацій фундаменту в часі. Основною метою цього етапу є фіксація змін висотних відміток деформаційних марок, установлених на будівельних конструкціях, з наступним порівнянням результатів між різними циклами.

Перший цикл нівелювання є еталонним (нульовим) і слугує вихідною основою для усіх подальших порівнянь. Його проведення можливе як до початку експлуатації будівлі, так і в період стабілізації після зведення. Під час першого циклу мають бути вирішені такі завдання:

- визначаються висотні відмітки деформаційних марок, закріплених на фундаменті або цоколі будівлі;
- проводиться прив'язка до вихідних реперів, закладених поза зоною осідання;
- складається журнал нівелювання, у якому фіксуються польові дані, час, умови вимірювань.

Інтервали між циклами спостережень вибирають залежно від характеру ґрунтів (для стисливих ґрунтів – частіше), інтенсивності осідання на попередніх етапах. Також слід враховувати етап експлуатації споруди: у перший рік – щомісячно або щоквартально, надалі – раз на пів року або рік. Для виключення температурного впливу на результати доцільно проводити вимірювання в однакові пори року.

Нівелірні ходи прокладаються у вигляді замкнених або умовно замкнених полігонів, що проходять через усі деформаційні марки на фундаменті та замикаються на вихідному репері.

Рекомендовано використовувати двостороннє нівелювання (в прямому і зворотному напрямках) для зменшення систематичних похибок. Визначені відмітки деформаційних марок повинні бути врівноваженими.

Для польових робіт використовуються високоточні нівеліри (переважно цифрові нівеліри з кодовими рейками), що забезпечують точність на рівні $\pm 0,5$ мм на 1 км подвійного ходу. Використання цифрового нівелювання зменшує людський фактор виникнення помилок, пришвидшує зчитування відліку з рейки, дозволяє автоматизувати обробку даних.

Результати кожного циклу порівнюються з нульовим (еталонним) та попередніми циклами та обчислюються:

- абсолютні осідання (Δh відносно репера);
- диференціальні осідання між суміжними точками;
- середньоквадратичні похибки вимірювань;
- будується графік осідання в часі для кожної точки (основний інструмент аналізу динаміки деформацій).

Метод геометричного нівелювання, незважаючи на тривалу історію застосування, залишається одним з найбільш точних і надійних способів визначення осідань фундаментів. Його ефективність забезпечується завдяки простоті, точності та стабільності методики. Правильна організація циклів спостережень дозволяє вчасно виявити деформаційні процеси, що загрожують стійкості споруд, та прийняти превентивні інженерні рішення.

Обробка даних геометричного нівелювання є ключовим етапом у процесі геодезичного моніторингу осідань, оскільки саме вона забезпечує можливість кількісної оцінки вертикальних переміщень конструкцій та визначення динаміки змін у часі. Після проведення кожного циклу спостережень отримані висотні відмітки контрольних точок піддаються математичному аналізу, мета

якого – встановити величини абсолютних і відносних осідань, оцінити точність результатів та виявити небезпечні тенденції.

Обробка починається з визначення осідань контрольних марок за формулою:

$$S_i = H_{i0} - H_i \quad , \quad (2.1)$$

де S_i - осідання і-ї точки;

H_{i0} - висота точки під час нульового циклу;

H_i - висота тієї ж точки у t-му циклі.

Додатне значення осідання вказує на опускання деформаційної марки відносно вихідного рівня, нульове або від'ємне – на відсутність осідання або підняття.

Для оцінки нерівномірності осідання будівлі визначаються різниці осідань між суміжними точками:

$$\Delta S_i = S_i - S_{i-1} \quad . \quad (2.2)$$

Цей показник дозволяє виявити потенційні зони напружень у конструкції, де можливе утворення тріщин або перекосів.

У разі замкненого полігону або наявності надлишкових вимірювань, проводиться математичне вирівнювання для усунення похибок спостережень. Зазвичай застосовується метод рівномірного розподілу нев'язки полігону:

$$\varepsilon = \sum H_{\text{прогноз}} - \sum H_{\text{факт}} \quad , \quad (2.3)$$

$$v_i = (l_i / L) * \varepsilon \quad , \quad (2.4)$$

де v_i - поправка до і-го прольоту;

l_i - довжина і-го ходу;

L - загальна довжина полігону;

ε - нев'язка полігону.

Після внесення поправок розраховуються остаточні висотні відмітки.

Для контролю якості результатів обчислюється середньоквадратична похибка висоти деформаційної марки:

$$m_H = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n}} \quad , \quad (2.5)$$

де v - поправки;

n - кількість спостережень.

Результати, які мають похибки, що перевищують допустимі значення згідно з нормативними документами, мають бути повторно перевірені або відкинуті.

Після обробки даних будується графік осідання в часі для кожної контрольної точки. Аналізуючи графіки, можна визначити небезпечні зони з нерівномірним осіданням, стабілізуються осідання чи носять прогресуючий характер. На основі графіків встановлюють швидкість осідання (мм/місяць), що є критичним для прийняття подальших рішень. Створення апроксимаційних моделей на основі лінійної, експоненціальної або гармонійної функції дозволяє прогнозувати подальший розвиток деформацій.

У випадку виявлення граничних значень осідання, приймаються рішення про посилення фундаменту, призупинення експлуатації будівлі або її локальний ремонт.

Висновок: проведено детальний порівняльний аналіз типів осідань фундаментів будівлі, який свідчить, що найбільшу небезпеку несуть нерівномірні осідання. Аналіз методів спостереження за осіданнями свідчить про те, що найдоцільнішим на сьогодні залишається метод періодичного геометричного нівелювання, за результатами якого визначаються зміни висот закріплених у фундаменті деформаційних марок. Вказаний метод забезпечує високу точність та надійність результатів, хоча потребує проведення монтажних робіт зі встановлення деформаційних марок у фундамент будівлі. Поряд з геометричним нівелюванням для визначення осідань використовують також методи тригонометричного нівелювання, лазерного сканування з використанням TLS та LiDAR, радарної інтерферометрії з синтезованою апаратурою InSAR та PSI, контактні методи з використанням датчиків. Зокрема наведено можливості використання комбінацій вищеописаних методів. Наведено детальну характеристику комплексу робіт, які потрібно виконати в ході підготовки та проведення спостережень за осіданнями фундаменту будівлі.

3 Особливості розробки проекту та виконання геодезичного моніторингу осідання фундаменту багатоповерхової будівлі в м. Івано-Франківськ

3.1 Передумови виконання спостережень за осіданням фундаменту досліджуваної будівлі. Підготовчі роботи

У зв'язку з появою тріщин на стінах будівлі корпусу №1 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, розташованого за адресою м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, було прийняте рішення про необхідність вживання заходів для встановлення причин деформації будівлі (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Фотофіксація тріщини в районі сходової клітки правого крила будівлі

Як результат, у 2019 р. розпочалося виконання геодезичних спостережень за динамікою осідань фундаменту будівлі.

В ході виконання підготовчих робіт виконано аналіз архівної документації, за результатами якого встановлено наявність в околицях розташування корпусу

№1 ІФНТУНГ трьох стінних реперів міської висотної мережі м. Івано-Франківськ (рис. 1.3). За результатами перевірки на місцевості стану реперів встановлено, що вони у задовільному стані (табл. 1.2) та цілком придатні для використання в якості опорних пунктів при спостереженнях за динамікою вертикальних деформаційних процесів. Для подальшої роботи використані значення висот стінних реперів, отримані з архівних матеріалів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Висоти стінних реперів міської висотної мережі

Назва пункту	Абсолютна висота, м
Рп 1364	246,4620
Рп 1327	246,5255
Рп 1319	245,9338

Конструктивні особливості стінних реперів Рп 1364, Рп 1337 та Рп 1319 наведені на рисунку 3.2. Усі три пункти належать до категорії постійних висотних знаків і призначені для закладання у вертикальні елементи капітальних будівель та споруд. Їх основним матеріалом виготовлення є високоміцний чавун, що забезпечує високу довговічність і стійкість до впливів навколишнього середовища.

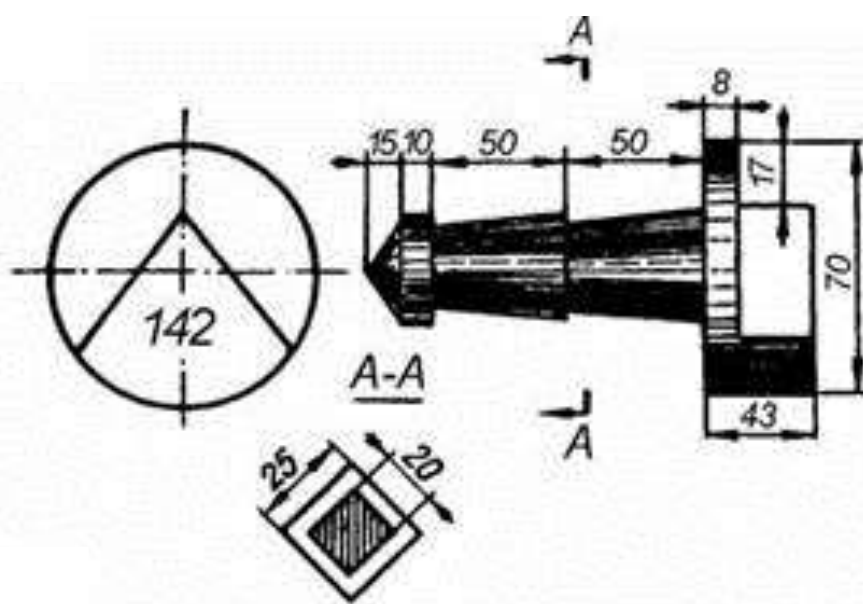


Рисунок 3.2 – Будова стінного репера IV класу

Передня (торцева) частина репера містить інформаційне маркування, яке включає:

- умовне позначення організації, що виконала нівелірні роботи;
- індивідуальний номер репера (так звану марку), що дозволяє ідентифікувати його в межах мережі.

Репер монтується шляхом вмуровування в масив стіни з таким розрахунком, щоб його торцева частина виступала за площину кладки приблизно на 5 см. Це забезпечує можливість безперешкодного візування на центр репера під час геодезичних спостережень. Поряд із закладеним репером розміщується охоронна табличка, яка слугує попереджувальним елементом і містить інформацію про необхідність збереження висотного знаку.

Особливою рисою конструкції є диск із виступом у вигляді сектора, укріплений на передній частині корпусу репера. Цей виступ має ребра жорсткості й служить еталонною візирною точкою, висота якої (над рівнем моря) вважається офіційною висотою даного геодезичного знаку. Порядок встановлення та використання таких реперів докладно описаний в чинних нормативно-технічних документах, зокрема в [3].

Зважаючи на складну конфігурацію досліджуваної будівлі, у її фундаменті було закладено 63 деформаційні марки, конструкція яких забезпечує непорушність та довговічність зберігання (Додаток А). При виборі місць закладання користувалися наступними вимогами та рекомендаціями [1]:

- місця розміщення повинні були відповідати передбачуваним зонам деформацій. Для цього проводиться попередній аналіз конструктивної схеми фундаменту, характеру навантаження на різні ділянки будівлі, геотехнічних умов основи (наявність стисливих ґрунтів, неоднорідностей, підтоплення, карсту тощо), історичних даних про осідання аналогічних об'єктів;
- рівномірне охоплення по периметру будівлі, що передбачає встановлення мінімум по одній марці на кожному куті фундаменту, а також в центрі довгих стін;

- закладання в характерних зонах конструкції, до яких належать місця переходу жорсткості (від палі до ростверку), вузли спирання колон чи несучих перегородок, ділянки під підвищеним навантаженням (наприклад, під ліфтовими шахтами або технічними приміщеннями), місця очікуваних нерівномірних осідань (наприклад, різні типи ґрунтів по ділянці);

- для забезпечення стабільності та доступності місць закладання деформаційні марки закладалися безпосередньо в матеріалі фундаменту (бетон, моноліт, ростверк), а не в оздобленні. Для захисту від механічного пошкодження, підтоплення, снігу висота закладання не допускалася менше 100 мм від поверхні землі. Місця закладання обиралися таким чином, щоб забезпечити легкий доступ до них для повторних спостережень.

Зважаючи на те, що у 2019 р. вертикальні тріщини утворилися у районі сходових кліток будівлі, густина закладання деформаційних марок в цих місцях дещо більша (Додаток А). Так для відстеження процесу осідання сходової клітки з рис. 3.1, в районі якої зафіксовані найбільші вертикальні тріщини, встановлено аж 7 деформаційних марок (з 54 по 60). Рух фундаменту під іншими сходовими клітками, в районі яких утворилися дещо менші тріщини, буде фіксуватися на основі спостережень шести деформаційних марок (з 42 по 47 та з 3 по 8).

3.2 Методика польових робіт та геодезичні прилади, які використовувались для моніторингу

На досліджуваному об'єкті було проведено початковий цикл геодезичних спостережень відповідно до попередньо складеної та затвердженої програми виконання робіт. Польові вимірювання здійснювалися із застосуванням високоточного електронного нівеліра Topcon DL-501 (рис. 3.3), який забезпечує автоматичне зчитування відліків за допомогою штрихкової рейки. Використання цього типу приладу дозволяє досягати високої точності та знижує вплив людського фактора на результати спостережень.

Перед початком безпосереднього проведення вимірювань було виконано перевірку та калібрування приладу згідно з інструкцією з експлуатації, наданою виробником. Зокрема, відповідно до вбудованої програми контролю, що реалізується в меню приладу, визначався кут нахилу нівеліра, який враховується при подальшому опрацюванні результатів. Важливо зазначити, що програмне забезпечення нівеліра DL-501 автоматично враховує поправки за кут нахилу в кожній станції нівелювання, що суттєво підвищує достовірність та точність отриманих висотних даних.



Рисунок 3.3 – Високоточний електронний нівелір Topcon DL-501

Процес спостережень організовано відповідно до методики, яка гарантує досягнення середньої квадратичної похибки визначення висоти для найменш стабільної (найслабшої) реперної марки в мережі не більше ± 1 мм відносно вихідних реперів. Такий рівень точності відповідає вимогам [1] для високоточних інженерно-геодезичних робіт, зокрема при моніторингу деформацій будівельних конструкцій та споруд.

Схема проведення висотних вимірювань у межах створеної геодезичної мережі передбачала прокладання замкнутого нівелірного ходу, який з'єднував

між собою деформаційні марки, закріплені у фундаменті досліджуваного об'єкта. Цей хід з'єднувався з системою вихідних реперів – Рп 1364, Рп 1337 та Рп 1319, що були встановлені у фундаментах сусідніх будівель (п'ятиповерхових та дев'ятиповерхової споруд), що забезпечувало необхідну стабільність і точність вихідної геодезичної основи (див. Додаток Б).

З метою досягнення високої достовірності результатів спостережень, особливу увагу було приділено контролю точності визначення перевищень між сусідніми точками. Середньоквадратична похибка перевищення на кожній станції нівелірного ходу не перевищувала 0,15 мм, що відповідає високим вимогам до точності при проведенні геодезичних спостережень за деформаціями будівельних конструкцій.

В основі методики лежало геометричне нівелювання коротким променем, яке передбачає мінімізацію впливу систематичних похибок, пов'язаних з атмосферними явищами, рефракцією та неоднорідністю середовища, через обмеження довжини візирного променя. Під час спостережень з метою забезпечення якнайвищої точності результатів дотримувалися наступних вимог:

- максимальна відстань між нівеліром і рейками не перевищувала 30 м;
- відстань до передньої та задньої рейок мала бути однаковою з похибкою не більше $\pm 0,5$ м, щоб дозволило зменшити вплив на результати вимірів нахилу візирної осі та атмосферної рефракції;
- використання штрихкодових фібергласових рейок, які мають малий температурний коефіцієнт розширення, дозволило мінімізувати значення відповідних похибок вимірювань;
- нівелювання здійснювалося у стабільних метеорологічних умовах, переважно вранці або ввечері, за відсутності сильного вітру, туману чи яскравого сонця. Температура повітря була близькою до середньодобової, що дозволило уникнути термічних деформацій рейки та коливань повітряного шару;

- на кожній станції бралось не менше двох повних комплектів відліків (по два відліки на кожну рейку). Перевищення визначалося як середнє арифметичне з кількох спостережень;

- вимірювання виконувалися в прямому і зворотному ходах. Різниця перевищень, виміряних прямо і обернено, не допускалася більшою за $\pm 0,2\sqrt{L}$ мм. При розрахунках L – довжина ходу нівелювання у кілометрах;

- допустима величина незамикання у замкнутих полігонах визначалася з виразу:

$$f_h^{\text{доп}} = \pm 0,2 * \sqrt{n}, \quad (2.1)$$

де n – кількість станцій у відповідному полігоні.

3.3 Результати опрацювання вимірів та аналіз одержаних даних

Для обробки результатів польових вимірювань використовувалися переносні персональні комп'ютери, що забезпечували мобільність та оперативність у виконанні розрахунків безпосередньо на об'єкті. Основним програмним засобом первинної обробки даних виступала таблична програма Microsoft Office Excel, у якій було розроблено спеціалізовану електронну форму польового журналу нівелювання у форматі *.xls. Таблиця містила вбудовані формули для автоматичного контролю правильності виміряних перевищень, що дозволяло оперативно перевіряти та виявляти можливі помилки ще в день виконання польових робіт, що є обов'язковою умовою якісного геодезичного моніторингу.

У процесі роботи з високоточним цифровим нівеліром Topcon DL-501 зчитування результатів здійснювалося шляхом передачі даних до комп'ютера за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Topcon Link версії 8.2. Ця програма забезпечує автоматичне перетворення (конвертацію) польового журналу у формат *.sdr, який є зручним для подальшої обробки та імпорту в інші геодезичні або аналітичні програми.

Після попереднього впорядкування та перевірки даних, матеріали кожної серії спостережень проходили зрівнювання параметричним методом. Для цього

використовували програмний комплекс, створений на основі математичних моделей вирішення оптимізаційних задач нелінійного програмування (Solver). Такий підхід дозволяє враховувати як випадкові похибки вимірювань, так і структурні особливості деформаційної мережі, забезпечуючи підвищену точність оцінки результатів. В рамках цього зрівнювання проводилась також статистична оцінка точності вимірювань, що дозволяло виявити ненадійні результати та здійснити попередній аналіз стабільності об'єкта спостереження.

У період від 09/2019 р. до 10/2024 р. було виконано 6 серій високоточного геометричного нівелювання коротким променем, в результаті чого встановлювалися висоти 63 фундаментних деформаційних марок (схема розташування марок наведена в Додатку А). Вимірювання в усіх серіях спостережень виконувалися в загальному за схемою вимірів, наведеною в Додатку Б.

Для зручності аналізу всі результати спостережень були об'єднані в загальну відомість (таблиця, створена в Microsoft Excel), яка містить відомості про урівняні значення висот деформаційних марок в усіх серіях спостережень, а також величини осідань відносно нульової серії спостережень (Додаток В). Конструкція відомості дозволяє автоматизовано визначити величини осідань між будь-якими наявними серіями вимірів.

На основі отриманих результатів побудована діаграма (Додаток Г), що наочно відображає динаміку осідання деформаційних марок будівлі та допомагає краще інтерпретувати одержані результати.

Аналізуючи додатки В та Г, слід зробити висновки про наявність процесу осідання фундаментів сходових кліток правого крила будівлі відносно основного фундаменту (величини осідань від -2.5 мм до -7.6 мм).

За період від 06/2024 р. до 10/2024 р. зафіксовані аномальні осідання марок 15 (-3,8 мм) та 16 (-6,8 мм), розташованих на сходовій клітці лівого крила будівлі, яка в минулому була укріплена залізобетонними підпорами. Занепокоєння викликають також зафіксовані осідання марок 54 (-1,8 мм) та 60 (-2,5 мм), розміщених на фундаменті основної будівлі безпосередньо біля

проблемної сходової клітки правого крила, які до 06/2024 р. були стабільними. Крім того зафіксовані поки незначні осідання марок 34-36 (порядка 1-1,5 мм за останні 4 місяці), що розташовані у фундаменті під лекційними аудиторіями.

За досліджуваний період (від 06/2024 р. до 10/2024 р.) зафіксоване середнє осідання фундаментних деформаційних марок складає -2,9 мм. Проте найбільшу загрозу для будівлі становить саме нерівномірність осідань деформаційних марок (від -0,8 мм на марці 21 до -9,1 мм на марці 16), що і призводить, на нашу думку, до утворення тріщин як на стінах, так і на фундаменті.

Зважаючи на вищесказане рекомендується провести наступну серію нівелювання фундаментних деформаційних марок навесні, коли встановиться відносно тепла погода. Після цього можна буде зробити висновок, чи загострюється процес нерівномірного осідання у проблемних місцях будівлі після міжсезонних змін температурно-кліматичних умов.

Остаточний висновок як про стан фундаменту, так і всієї будівлі загалом, можна зробити тільки після обстеження технічного стану будівельних конструкцій відповідними спеціалістами. При цьому обов'язково слід врахувати геологічні та гідрогеологічні особливості ґрунтів у зоні розташування будівлі та їх можливий вплив на подальший розвиток процесу деформацій будівельних конструкцій.

Висновок: наведено результати усіх етапів робіт з підготовки та проведення геодезичного моніторингу за осіданнями фундаменту корпусу №1 ІФНТУНГ. Роботи було розпочату у 2019 р. у зв'язку з появою тріщин на фасаді будівлі. У фундамент закладено 63 деформаційні марки відповідно до вимог чинних нормативних документів. У період 2019-2024 рр. виконано 6 серій високоточного геометричного нівелювання коротким променем та визначено висоти фундаментних деформаційних марок відносно реперів висотної геодезичної основи. Отримані результати свідчать про нерівномірність осідання фундаменту в період з 09/2019 р. по 10/2024 р. (від -0,8 мм до -9,1 мм), що може призвести до подальших руйнівних процесів у її конструкціях.

Висновки

У межах бакалаврської роботи розглянуто повний комплекс геодезичних заходів, спрямованих на моніторинг осідань фундаменту багатоповерхової будівлі. Поштовхом до виконання цих спостережень стала поява вертикальних тріщин на фасаді корпусу №1 ІФНТУНГ, що вказувало на ймовірні деформаційні процеси в основі будівлі.

Метою дослідження було розроблення та впровадження системи геодезичного моніторингу для контролю осідань фундаменту в умовах складної гідрогеологічної ситуації, характерної для північно-західної частини Івано-Франківська, де й розташовано об'єкт. Аналіз геодезичних матеріалів дозволив обрати три репери міської висотної мережі як вихідні пункти для створення локальної висотної основи.

У теоретичній частині дослідження розглянуто класифікацію типів осідань, із акцентом на небезпеку нерівномірних деформацій, а також проведено огляд сучасних методів моніторингу. Встановлено, що найбільш доцільним для контролю висот фундаментних марок залишається метод періодичного геометричного нівелювання завдяки його високій точності, незважаючи на потребу в монтажних роботах при встановленні деформаційних марок. Також проаналізовано альтернативні технології спостереження, серед яких – тригонометричне нівелювання, TLS і LiDAR-сканування, супутникова інтерферометрія (InSAR, PSI), а також використання контактних датчиків. Обґрунтовано можливість комбінованого використання зазначених технологій.

У практичній частині роботи наведено результати геодезичних спостережень за осіданнями корпусу №1, що розпочалися у 2019 році. У фундамент будівлі було закладено 63 деформаційні марки відповідно до чинних нормативів. Упродовж 2019–2024 років виконано шість серій високоточного нівелювання коротким променем. Отримані дані засвідчили наявність нерівномірного осідання фундаменту у межах від $-0,8$ мм до $-9,1$ мм, що потребує подальшого спостереження та аналізу для запобігання можливим конструктивним пошкодженням.

Список використаних джерел

1. ДСТУ Б В. 2.1-30:2014 "ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд", Київ, 2014;
2. ДБН В.1.3-2:2010 "Геодезичні роботи в будівництві", розділ 8 - геодезичний моніторинг будівель (споруд), Київ, Мінрегіонбуд України, 2010 р;
3. Інструкції по нівелюванню I,II,III,IV класів. М., Надра, 1990 рік;
4. Інженерні вишукування для будівництва ДБН А.2.1-1-1-2008, Київ Мінрегіонбуд України.
5. Urban R. Surveying Works during the Deformation Measurement of Buildings. – CTU Publishing House, Prague, 2015. – 227 p.
6. Shults R. GNSS-Assisted Low-Cost Vision-Based Observation System for Deformation Monitoring / Shults R., et al. – Applied Sciences, 2023, 13 (5).
7. Pakshyn M. Determination of vertical displacements of infrastructure objects based on the radarinterferometry data / Pakshyn M., Liaska I., Dorosh L., Grytsyuk T., Gera O. – Geodesy and Cartography, 2020, 48(2). – pp. 62-69.
8. Zhou H. A Review of Vision-Laser-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring / Zhou, H., Xu C., Tang, X., Wang S., Zhang, Z. – Sensors, 2022, 22, 5882.
9. Баран П. І. Інженерна геодезія [Текст] : монографія / П. І. Баран. – К. : ВІПОЛ, 2012. – 618 с.
10. Бурак, К. О. Розробка проекту спостережень за осіданням фундаментів будівель і споруд на промисловому об'єкті : курсове проектування / К. О. Бурак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – 82 с.

Схема розташування деформаційних марок у фундаменті будівлі корпусу №1
ІФНТУНГ

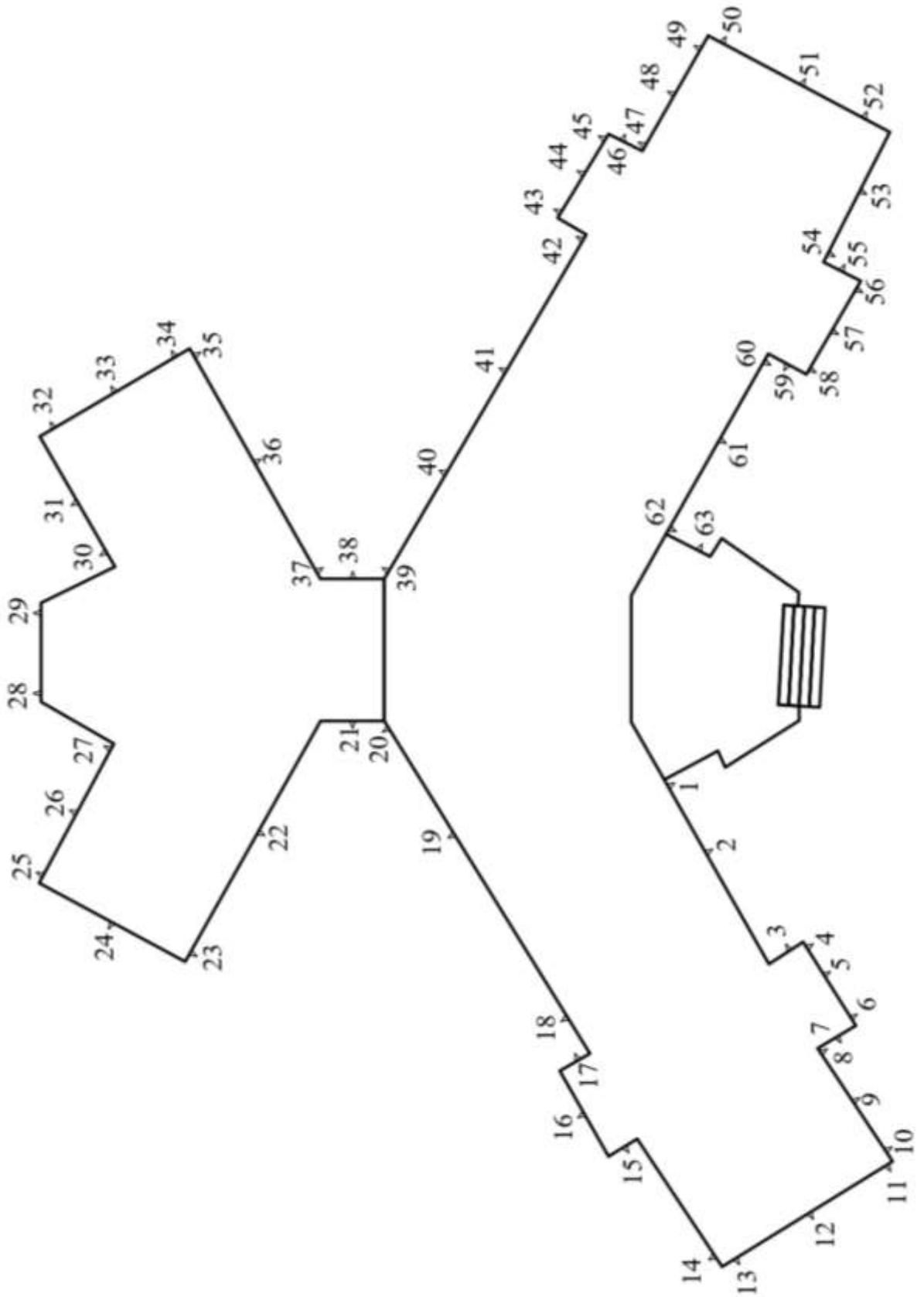
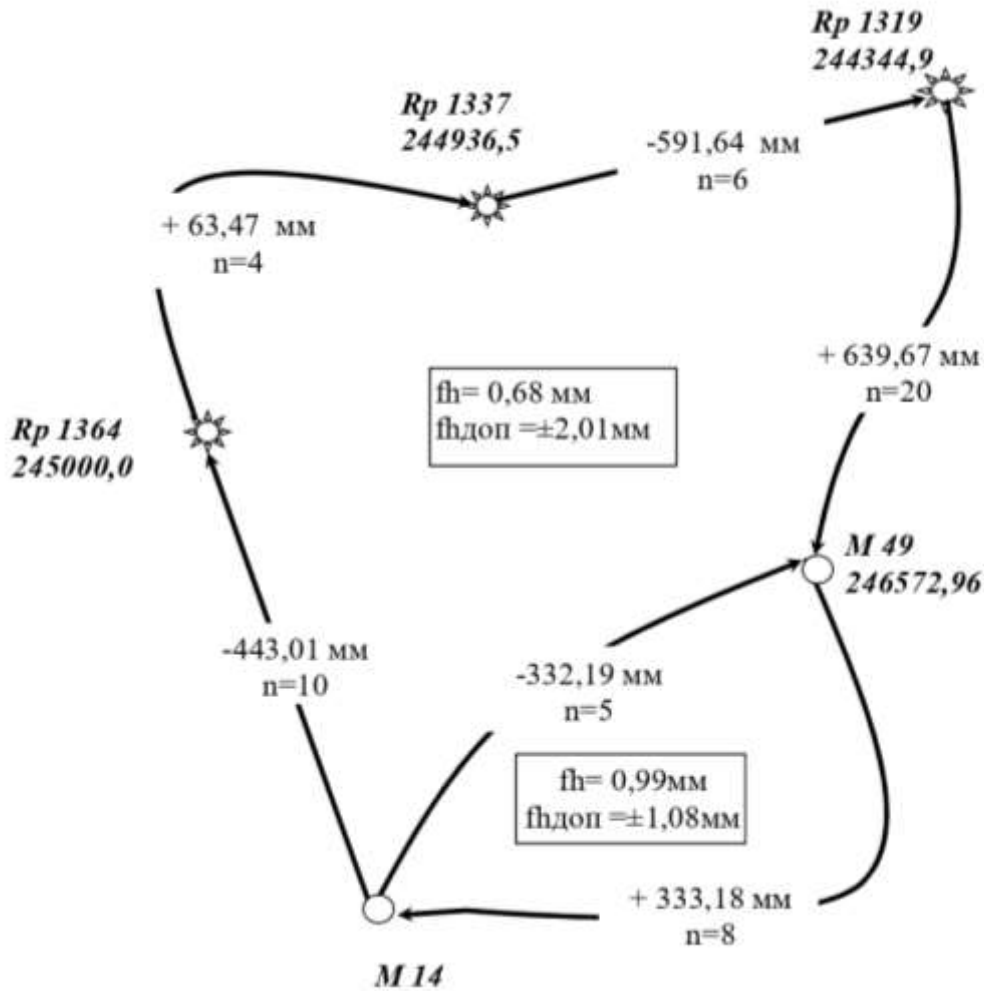





Схема мережі початкової (нульової) серії високоточного геометричного нівелювання коротким променем для спостережень за осіданнями фундаменту багатоповерхової будівлі



Умовні позначення:

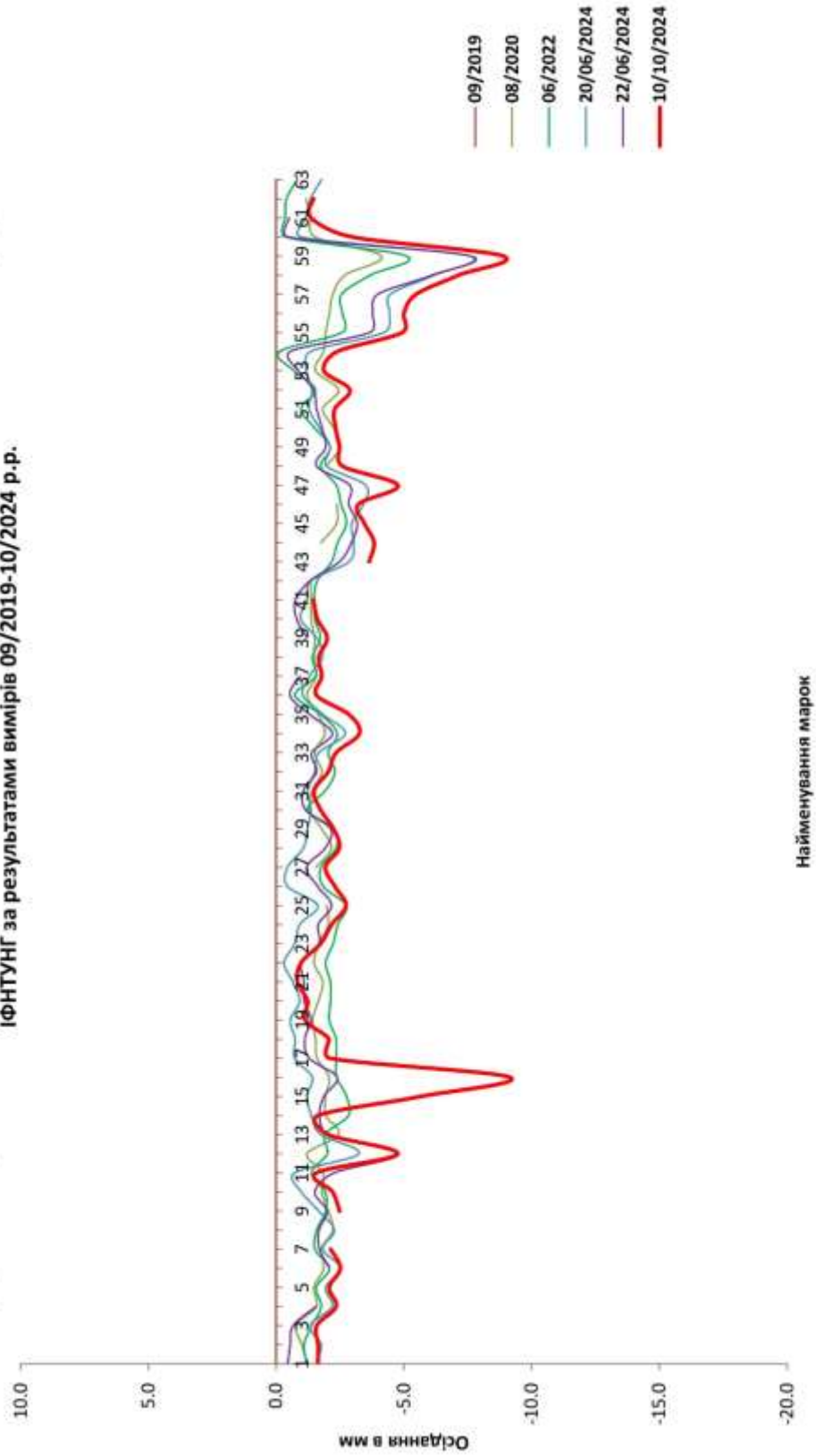
-  **Rp 1319** - Назва вихідного репера та його абсолютна висота
-  **M 49**
246572,96 - Назва деформаційної марки та її абсолютна висота (мм)
- + 333,18 мм** - Виміряне перевищення
-  - Лінія нівелірного ходу
- n=8** - Кількість станцій в ході
- | | |
|-------------------------------------------|---------------------|
| $f_h = 0,68 \text{ мм}$ | - Нев'язка в ході |
| $f_{h \text{ доп}} = \pm 2,01 \text{ мм}$ | - Допустима невязка |

Відомість висот деформаційних марок фундаменту будівлі корпусу №1
ІФНТУНГ (дата початку спостережень 09.2019 р.)

Назва деф. Марки	Висота (мм) приведена на поткову дату 09.2019	Висота (мм) на 08.2020	Висота (мм) на 06.2022	Висота (мм) на 20.06.2024	Висота (мм) на 22.06.2024	Висота (мм) на 10.10.2024	Осідання (мм)	
							між серіями	за весь період
1	247248.7	247247.5	247247.5	247247.1	247248.2	247247.1	-1.2	-1.6
2	247459.5	247458.5	247458.4	247457.7	247458.9	247457.8	-1.1	-1.6
3	247448.9	247448.1	247447.5	247447.6	247448.2	247447.3	-0.9	-1.6
4	247381.4	247379.8	247379.6	247379.2	247379.8	247379.1	-0.8	-2.3
5	247261.1	247259.6	247259.5	247259.1		247259.0		-2.1
6	247252.8	247251.0	247250.7	247250.3	247250.7	247250.3	-0.4	-2.5
7	247319.3	247317.5	247317.8	247317.5	247317.6	247317.2	-0.4	-2.1
8	247414.3	247412.1	247412.7	247412.0	247412.6	247409.0	-3.6	-5.3
9	247367.6	247365.6	247365.7	247366.0	247365.6	247365.1	-0.5	-2.5
10	247499.6	247497.8	247497.7	247498.6	247498.1	247497.4	-0.7	-2.2
11	247354.4	247352.5	247353.0	247353.7	247352.1	247352.8	0.7	-1.6
12	247018.1	247016.9	247016.1	247014.9	247013.3	247013.4	0.0	-4.8
13	247268.0	247265.5	247266.0	247266.2	247265.9	247265.9	0.0	-2.0
14	246905.4	246903.5	246902.6	246904.0	246903.7	246903.8	0.1	-1.6
15	247131.9	247130.0	247129.1	247130.7	247130.0	247126.2	-3.8	-5.7
16	247087.4	247085.3	247085.0	247086.0	247085.0	247078.3	-6.8	-9.1
17	247049.4	247047.8	247047.0	247048.6	247048.1	247047.3	-0.8	-2.1
18	247141.2	247139.7	247138.9	247140.5	247140.1	247139.1	-0.9	-2.1
19	246923.1	246921.7	246921.0	246922.5	246921.7	246922.0	0.2	-1.1
20	246953.2	246951.5	246951.0	246952.2	246952.1	246951.9	-0.1	-1.2
21	246751.3	246749.4	246749.1	246750.6	246750.2	246750.4	0.3	-0.8
22	246766.4	246764.9	246764.5	246766.1	246765.4	246765.4	0.0	-1.0
23	246785.9	246784.2	246783.7	246785.2	246784.2	246784.2	-0.1	-1.7
24	247074.0	247072.0	247071.6	247073.1	247072.4	247071.9	-0.5	-2.2
25	246567.4	246565.4	246564.6	246565.8	246565.2	246564.6	-0.6	-2.7
26	246607.8		246606.0	246607.4	246606.2	246605.5	-0.7	-2.3
27	246603.0	246601.4	246601.2	246602.5	246601.8	246601.0	-0.7	-1.9
28	246540.6	246538.4	246538.2	246539.5	246538.6	246538.1	-0.6	-2.5
29	246337.2	246335.4	246334.9	246335.9	246335.0	246334.9	-0.1	-2.3
30	246344.9	246343.6	246343.7	246343.5	246343.7	246343.1	-0.6	-1.7
31	246272.5	246271.1	246270.6	246271.3	246271.4	246271.0	-0.4	-1.5
32	246219.0	246217.2	246216.7	246217.5	246217.4	246216.9	-0.5	-2.0
33	246555.3	246553.8	246553.3	246553.7	246553.9	246553.0	-0.9	-2.3
34	246310.6	246308.7	246308.2	246307.8	246308.4	246307.3	-1.1	-3.3
35	246232.1	246230.5	246230.4	246230.3	246230.8	246229.3	-1.5	-2.8
36	246280.3	246279.1	246279.6	246279.3	246279.8	246278.8	-1.0	-1.6
37	246269.4	246267.8	246267.8	246268.1	246268.4	246267.6	-0.9	-1.8
38	246331.1	246329.6	246329.7	246329.3		246329.4		-1.7
39	246553.4	246551.9	246551.7	246551.8	246552.2	246551.4	-0.8	-2.0
40	246530.1	246528.7	246528.6	246529.1	246529.3	246528.5	-0.8	-1.6
41	246645.1	246643.8	246643.6	246643.9	246644.4	246643.7	-0.7	-1.5
42	246552.1	246550.8	246550.5	246550.7	246550.8			
43	246278.4		246276.3	246275.6	246275.9	246274.8	-1.2	-3.6
44	246293.3	246291.5	246290.9	246290.3	246290.3	246289.5	-0.9	-3.8

45	246495.4	246493.0	246492.6	246492.4	246492.2	246491.9	-0.3	-3.5
46	246401.8	246399.4	246399.3	246398.4	246399.0	246398.6	-0.4	-3.2
47	246612.0		246609.7	246608.5	246609.2	246607.3	-1.9	-4.8
48	246600.9	246599.0	246599.2	246598.9	246599.3	246598.3	-1.0	-2.6
49	246573.0	246570.5	246570.9	246570.9	246571.1	246570.5	-0.5	-2.5
50	246854.8	246852.5	246853.3	246853.1	246853.0	246852.4	-0.5	-2.3
51	246851.7	246849.8	246850.7	246850.4	246850.1	246849.4	-0.7	-2.3
52	246940.8	246938.4	246939.3	246939.4	246939.4	246937.9	-1.4	-2.9
53	246769.3	246767.7	246768.6	246768.1	246768.4	246767.4	-1.0	-1.9
54	246769.3	246767.4	246769.1	246767.9	246768.7	246766.9	-1.8	-2.4
55	246737.0	246735.0	246734.4	246732.8	246733.3	246732.0	-1.3	-4.9
56	246317.6	246315.6	246315.1	246313.2	246313.9	246312.6	-1.2	-5.0
57	246336.9	246334.7	246334.3	246332.4	246332.9	246331.4	-1.5	-5.5
58	246678.6	246675.9	246674.9	246672.4	246672.5	246671.4	-1.0	-7.2
59	246702.9	246698.7	246697.7	246695.3	246695.2	246694.0	-1.3	-8.9
60	246783.4	246781.9	246783.0	246782.4	246782.9	246780.4	-2.5	-3.0
61	246734.8	246733.5	246734.5	246733.7	246734.3	246733.5	-0.8	-1.4
62	246877.5	246876.3	246877.1	246876.1		246876.0		-1.5
63	247870.0		247869.2	247868.2	247869.5			
							MAX	0.7 -0.8
							MIN	-6.8 -9.1
							AVER	-0.9 -2.8

Графік з відображенням динаміки осідання фундаментних деформаційних марок навчального корпусу №1
ІФНТУНГ за результатами вимірів 09/2019-10/2024 р.р.



Бібліографічна довідка

Тема бакалаврської роботи «Розробка проекту та методика виконання спостережень за осіданням фундаменту багатоповерхового будинку».

Обсяг пояснювальної записки 40 аркушів, 8 рисунків, 5 таблиць.

Перелік графічних додатків:

1. Схема розташування деформаційних марок у фундаменті будівлі корпусу №1 ІФНТУНГ.
2. Схема мережі початкової (нульової) серії високоточного геометричного нівелювання коротким променем для спостережень за осіданнями фундаменту багатоповерхової будівлі.
3. Відомість висот деформаційних марок фундаменту будівлі корпусу №1 ІФНТУНГ.
4. Графік з відображенням динаміки осідань фундаментних деформаційних марок корпусу №1 ІФНТУНГ.

_____ 2025 р.

_____ Остап'юк В. В.