

УДК 69

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.39.2>

Григоровський П.Є.

д.т.н., с.н.с.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Крошка Ю.В.

завідувач відділу,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Басанський В.О.

завідувач сектору,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Осадча І.В.

м.н.с.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Лялько В.В.

інженер,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ БУДІВЛІ, ПРИЛЕГЛОЇ ДО ДІЛЯНКИ БУДІВНИЦТВА ТУНЕЛІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ, В ПЕРІОД ВИКОНАННЯ ПІДГОТОВЧИХ РОБІТ

***Анотація.** У статті розглянуто результати розрахунку впливу будівництва тунелів метрополітену на оточуючу забудову та результати інженерно-геодезичного моніторингу будівлі в зоні впливу. Інструментальний моніторинг будівель у зоні впливу будівництва тунелів метрополітену дозволяє відслідковувати появу та динаміку розвитку деформаційних процесів будівлі, порівнюючи отримані значення параметрів, що відстежуються, з розрахунковими та нормативними значеннями задля недопущення зниження експлуатаційної придатності будівлі. За результатами розрахунку впливу, для будівлі, що досліджується, визначено значення додаткових деформацій фундаменту, які є граничними, тобто близькими до нормативних значень додаткових деформацій основи. Наведено результати виконання інженерно-геодезичного моніторингу на етапі підготовчих робіт щодо будівлі, для якої розрахункові значення додаткових деформацій близькі до нормативних. Зафіксовано появу рівномірних осідань основи будівлі до початку виконання будівельно-монтажних робіт з прокладання тунелю метрополітену. Визначено, що поява прогнозованих осідань до початку виконання основних будівельно-монтажних робіт або на етапі підготовчих робіт на ділянці будівництва здатна спровокувати перевищення нормативних значень додаткових осідань основи, що, у свою чергу, призведе до збільшення собівартості та трудовитрат під час реалізації заходів щодо недопущення пошкодження будівлі та зниження її експлуатаційної придатності. Проаналізовано ймовірні фактори, які спровокували розвиток деформацій для будівлі, що досліджується, і які не були враховані під час виконання розрахунку впливу нового будівництва на оточуючу забудову. Визначено наявність синергетичного ефекту підсилення деформацій, викликаних впливом нового будівництва, деформаціями природнього характеру, зміна яких є динамічною. Складено алгоритм виконання інженерно-геодезичного моніторингу будівель, для яких розрахункові значення додаткових деформацій близькі до нормативних, що дозволяє визначити власні осідання будівлі в зоні впливу нового будівництва та врахувати отримані значення і динаміку зміни осідань під час виконання подальших розрахунків впливу.*

***Ключові слова:** інженерно-геодезичний моніторинг, розрахунок впливу на оточуючу забудову, деформації, граничні значення додаткових осідань.*

Постановка проблеми. Несвоєчасно виявлені процеси деформацій будівлі призводять до виникнення дефектів конструкцій та зниження експлуатаційної придатності наявної будівлі, що збільшує трудовитрати як експлуатаційних (для наявної будівлі) та будівельних (нове будівництво), так і інженерно-геодезичних робіт (виконання моніторингу). Важливою є правильна та своєчасна оцінка стану будівель ущільненої прилеглої забудови, що дозволяє розробити компенсаційні заходи щодо недопущення розвитку понаднормових деформацій та пошкодження будівлі.

Інструментальний моніторинг на етапі експлуатації будівлі та інженерно-геодезичні спостереження в період підготовчих робіт на ділянці будівництва дозволяють виявити фактори впливу на розвиток деформацій будівель прилеглої забудови до початку виконання основних будівельно-монтажних робіт, що може бути враховано при подальшому виконанні розрахунків. Це особливо важливо для будівель, для яких розрахункові значення додаткових деформацій близькі до нормативних, оскільки потенційно існує ризик перевищення нормативних значень додаткових деформацій через не врахування факторів, що спричинювали власні деформації будівлі до початку робіт на ділянці будівництва.

Мета роботи. Визначення можливих факторів впливу на розвиток деформацій будівлі в період підготовчих робіт на ділянці будівництва на підставі аналізу результатів розрахунку впливу будівництва тунелів метрополітену на оточуючу забудову та результатів інженерно-геодезичного моніторингу для будівлі, розрахункові значення додаткових деформацій якої близькі до нормативних.

Виклад основного матеріалу. У зв'язку з будівництвом ділянки лінії метрополітену у м. Києві в умовах наявної щільної забудови житлових масивів важливою є оцінка впливу природних, техногенних, антропогенних та інших факторів на прилеглу забудову в період прокладання тунелів метрополітену. Умови ущільненої забудови створюють можливість для розвитку негативних впливів на будівлю, пов'язаних із порушенням структури та переміщень ґрунту в активній зоні основ та зміною сталих гідрогеологічних умов на території забудови. Своєчасне виявлення дефектів, ступеню впливу негативних факторів, попередження та надання рекомендацій щодо необхідності та термінів усунення нега-

тивних процесів є важливим не лише під час виконання будівельних робіт, а і в період підготовки будівництва, оскільки є допоміжним критерієм оцінки правильності прийнятих проектних та управлінських рішень.

Для дослідження використовуються результати розрахунку впливу будівництва тунелів метрополітену та результати геодезичного інструментального моніторингу житлового дев'ятиповерхового будинку, з підвалом та технічним поверхом, на відстані близько 3 метрів від якого буде проходити майбутній тунель лінії метрополітену.

Будівлю, що досліджується, зведено у 1987 році. У плані будинок прямокутної конфігурації з габаритними розмірами 12.6 x 43.0 м. Будинок цегляний з несучими поздовжніми та поперечними стінами. Фундамент будинку стрічковий, виконаний з блоків ФБС по збірній залізобетонній плиті шириною 1.6 м. Плити перекриття круглопустотні збірні залізобетонні. Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 технічний стан конструкцій будівлі на момент виконання обстежень відповідав категорії «2» – задовільний.

У програмно-розрахунковому комплексі «PLAXIS 2D» виконано розрахунок системи «котлован – ґрунт – оточуюча забудова» по II групі граничних станів методом кінцевих елементів. Розрахунок виконувався згідно з вимогами ДБН В.2.1-10-2018, окремими положеннями чинних нормативних документів та положень теорії механіки ґрунтів.

У розрахунковій моделі (рисунок 1) враховувалися такі фактори:

- фактичне розташування ґрунтів основи за даними інженерно-геологічних вишукувань;
- геометричне розташування фундаментів наявної 9-ти поверхової будівлі;
- геометричне розташування конструкцій огороження котловану тунелів метрополітену та влаштування протифільтраційної діафрагми;
- тимчасове навантаження на борту котловану;
- урахування всіх постійних і тимчасових характеристичних навантажень на етапі експлуатації наявної будівлі;
- стадійність виконання робіт.

Виконано розрахунок, в якому отримані значення деформацій ґрунтового масиву, фундаментів наявного будинку та конструкцій огороження котловану тунелів лінії метрополітену (рисунок 2).

Згідно з проведеними розрахунками впливу додаткові деформації фундаменту будівлі, що досліджується, при влаштуванні котловану тунелів лінії метрополітену не перевищують 14,мм, що менше допустимого значення відповідно до ДБН В.2.1-10:2018 таблиця Б.1., згідно з якою граничні деформації основи багатопверхових безкаркасних будинків із несучими стінами з цегляної кладки без армування, технічного стану «2», а саме граничні максимальні додаткові осідання – становлять 15 мм, відносна різниця осідань – становить 0.0010.

До початку виконання будівельних робіт із прокладання тунелю метрополітену

виконано 26 циклів інженерно-геодезичних спостережень за деформаціями будівлі, що досліджується. У цокольній частині будівлі встановлено 8 деформаційних марок, методом геометричного нівелювання II класу визначено позначки деформаційних марок та значення їх зміни між циклами спостережень. За період спостережень липень 2020 року – травень 2021 року встановлено наявність рівномірного осідання будівлі (рисунок 3). Середнє значення осідання становить -4.0 мм, відносна різниця осідань становить 0.00005, що не перевищує нормативне значення.

Таким чином, наявність осідань до початку виконання робіт з будівництва тунелів метро-

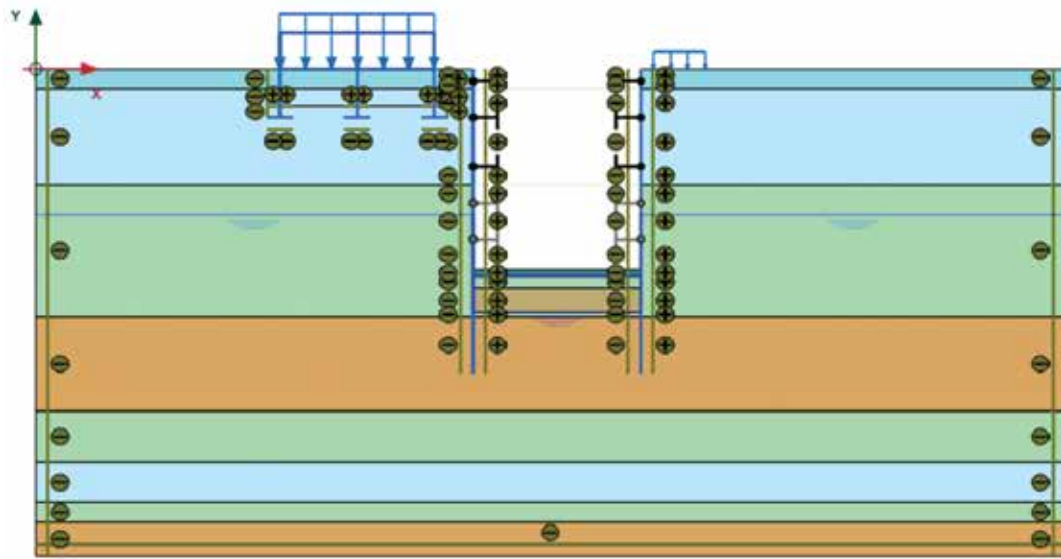


Рис. 1. Розрахункова модель перерізу

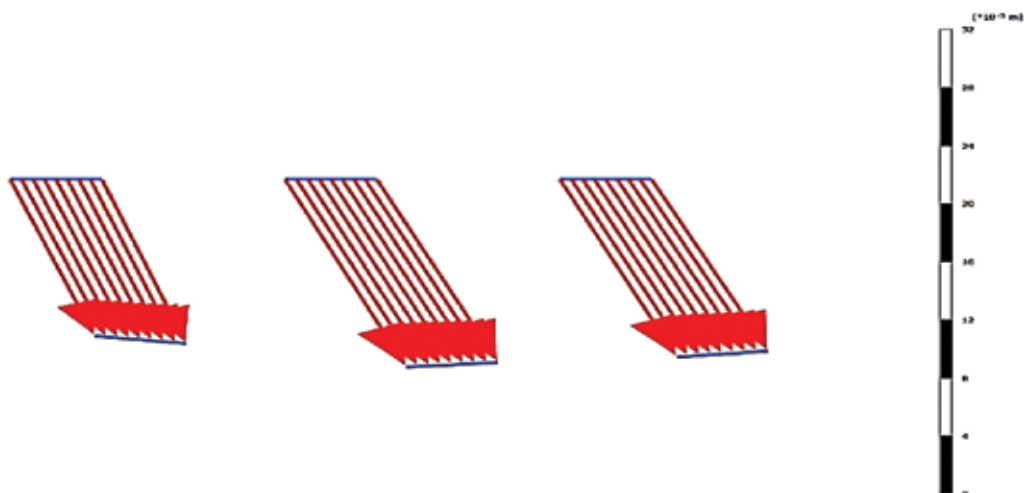


Рис. 2. Результати розрахунку: а – епюра загальних деформацій підшви стрічкового фундаменту будівлі (II група гр. станів) – максимальні деформації 14,0 мм

політену (4.0 мм), граничне значення розрахункових додаткових деформацій фундаменту будівлі в період влаштування тунелів лінії метрополітену (14.0 мм), а також можлива наявність непрогнозованих майбутніх технологічних деформацій потенційно можуть спровокувати перевищення нормативного значення додаткових осідань для будівлі, що досліджується.

Аналізуючи дані розрахунку впливу нового будівництва та дані інженерно-геодезичних спостережень, можна зробити висновок про таке:

- 1) розрахунками підтверджено наявність впливу будівництва тунелів метрополітену на наявну забудову. Як правило, під час виконання розрахунків вихідними даними, що характеризують природні фактори впливу, є статичні (незмінні) дані, наприклад, вологість, рівень залягання ґрунтових вод та ін. Водночас залишаються неврахованими природні фактори, що носять динамічний характер, – температура, середньомісячна кількість опадів;
- 2) в процесі будівництва методами інженерно-геодезичних спостережень встановлено сукупні деформації будівлі, що залежать

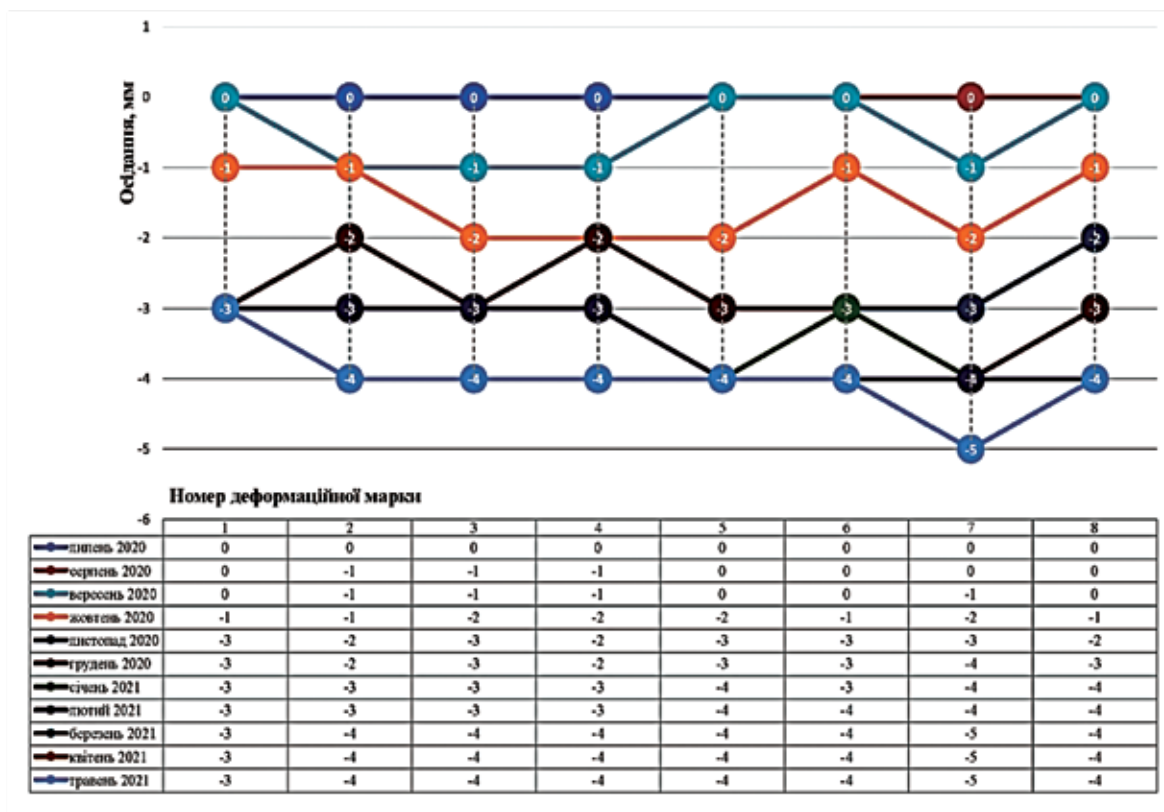


Рис. 3. Графік осідання деформаційних марок будівлі, що досліджується

як від власних осідань будівлі під впливом природних чинників, так і за рахунок впливу нового будівництва на наявну будівлю (початок підготовчих робіт на ділянці).

У результаті маємо синергетичний ефект – підсилення деформацій від впливу будівництва деформаціями, викликаними природними чинниками. Таку сукупність впливу важко передбачити під час виконання розрахунків, тому результати розрахунків доцільно корегувати на основі геодезичних інструментальних спостережень з урахуванням чинників як природнього, так і техногенного характеру.

Ураховуючи ґрунтові умови ділянки згідно інженерно-геологічних вишукувань, а саме рівень залягання ґрунтових вод – 11.6 м від відмітки поверхні землі, сушісок та піщані водонасичені ґрунти, можна допустити наявність сезонних коливань осідань будівлі, які спровокували появу деформації до початку будівництва.

Активна динаміка осідань відбулася протягом вересня-грудня 2020 року (рисунки 4, 5), що потенційно може бути пов'язано із сезонною зміною гідрологічних умов ділянки. Використовуючи дані відхилень Δn від норми місячної кількості опадів N (згідно даних Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського), застосовуємо фактор наявності понаднормової кількості опадів F (таблиці 1, 2).

$$\Delta n = N - k_o,$$

де N – норма місячної кількості опадів, мм; k_o – значення місячної кількості опадів, мм.

При $\Delta n < 0$ фактор наявності понаднормової кількості опадів $F = 0$, при $\Delta n > 0$ фактор наявності понаднормової кількості опадів $F = 1$.

Для визначення впливу зміни місячної кількості опадів на зміну осідань застосовуємо фактор наявності приросту осідання O , що розраховується як:

$$\Delta o = o_{n+1} - o_n,$$

де o_n – значення осідання за місяць спостереження, мм;

o_{n+1} – значення осідання за наступний місяць спостереження, мм.

При $\Delta o < 0$ фактор наявності приросту осідання $O = 0$, при $\Delta o > 0$ фактор наявності приросту осідання $O = 1$.

Будуємо графік залежності фактору наявності приросту осідання та фактору наявності кількості опадів, що перевищують норму (рисунок 6). Відповідно, активна динаміка осідань може бути пов'язана зі зміною місячної кількості опадів та водонасиченням піщаних ґрунтів, які впливають на стійкість фундаменту будівлі. Проведені дослідження підтверджують цю гіпотезу, але недостатній обсяг спостережень в міжсезонні періоди потребує їх продовження для визначення математичної

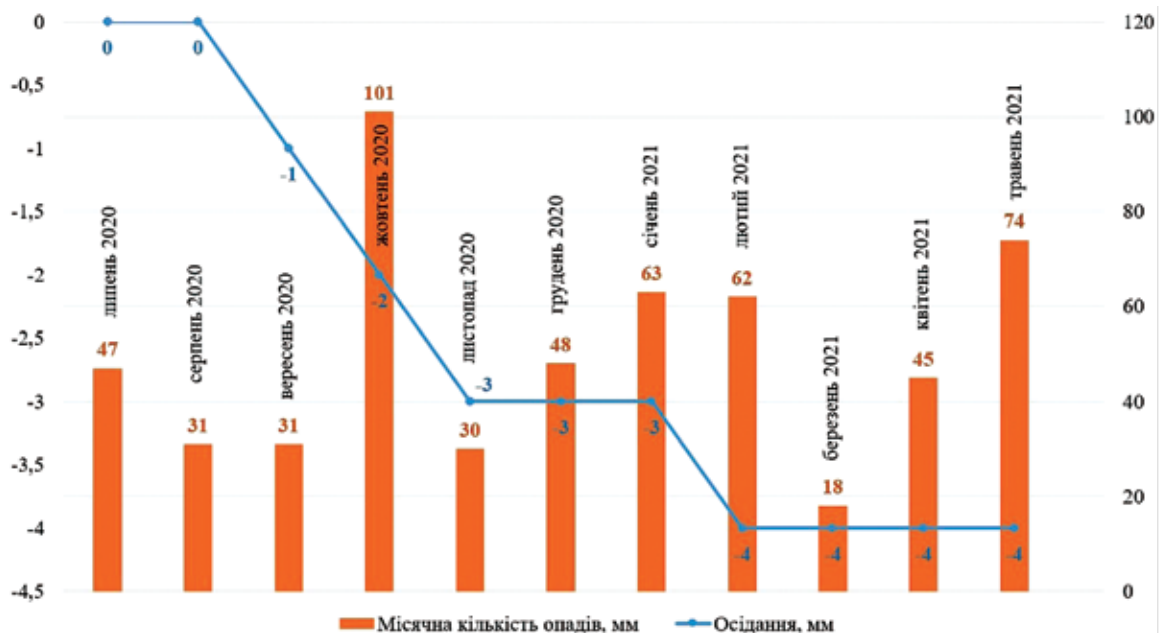


Рис. 4. Графік зміни середнього значення осідання деформаційних марок та місячної кількості опадів

залежності зміни осідань будівлі від сезонних метеорологічних та гідрогеологічних умов.

Додатковим чинником здатним спровокувати осідання будівлі в даному випадку може бути початок виконання підготовчих робіт на ділянці будівництва, а саме: перенесення комунікацій, переміщення важких механізмів і обладнання, вібрації руху транспорту. Відповідно, для визначення впливу техногенних

факторів на процеси деформації будівлі необхідно виконувати корегування тривалості циклу інженерно-геодезичних спостережень у період активного виконання підготовчих робіт, а також бажано мати дані інструментального моніторингу будівлі на етапі експлуатації (до початку виконання підготовчих робіт) для прогнозування можливого розвитку деформацій.

Таблиця 1. Порівняння зміни осідань будівлі та відхилень від норми місячної кількості опадів

Місяць	Липень 2020	Серпень 2020	Вересень 2020	Жовтень 2020	Листопад 2020	Грудень 2020	Січень 2021	Лютий 2021	Березень 2021	Квітень 2021	Травень 2021
Осідання, мм	0	0	-1	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-4
Відхилення місячної кількості опадів від норми	-41	-38	-16	66	-21	-4	26	23	-23	3	9

Таблиця 2. Порівняння фактору наявності приросту осідання будівлі та фактору наявності кількості опадів, що перевищують норму

Місяць	Липень 2020	Серпень 2020	Вересень 2020	Жовтень 2020	Листопад 2020	Грудень 2020	Січень 2021	Лютий 2021	Березень 2021	Квітень 2021	Травень 2021
Фактор наявності приросту осідання, O	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
Фактор наявності кількості опадів, що перевищувала норму, F	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1

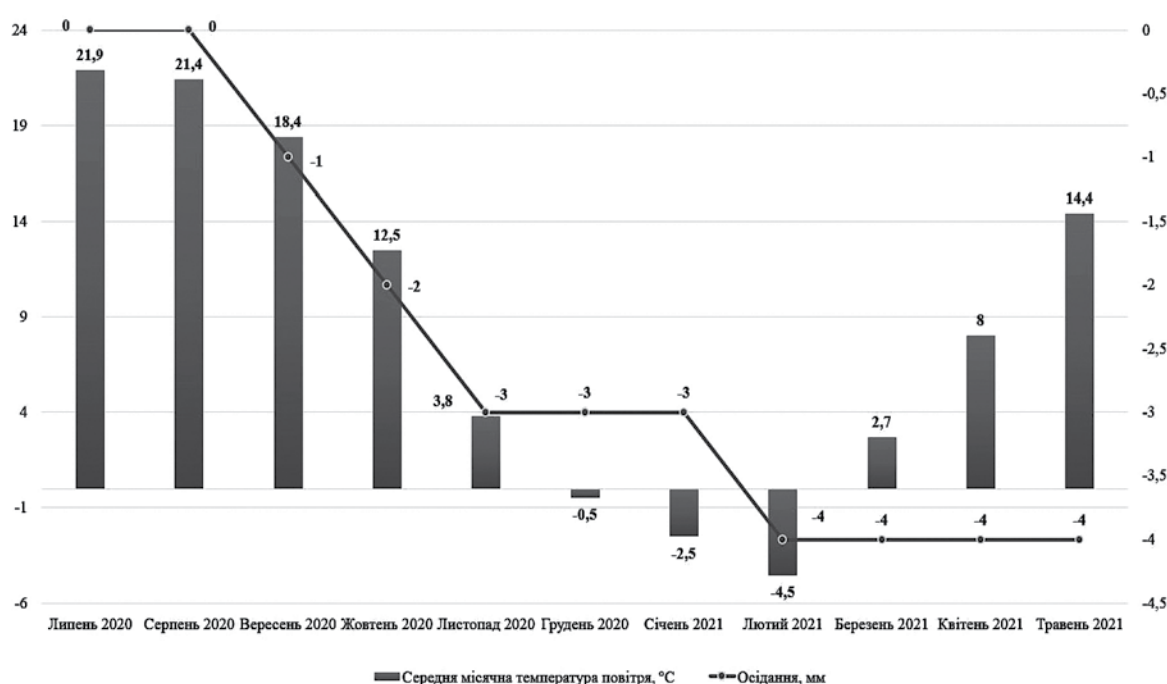


Рис. 5. Графік зміни середнього значення осідання деформаційних марок та середньої місячної температури повітря

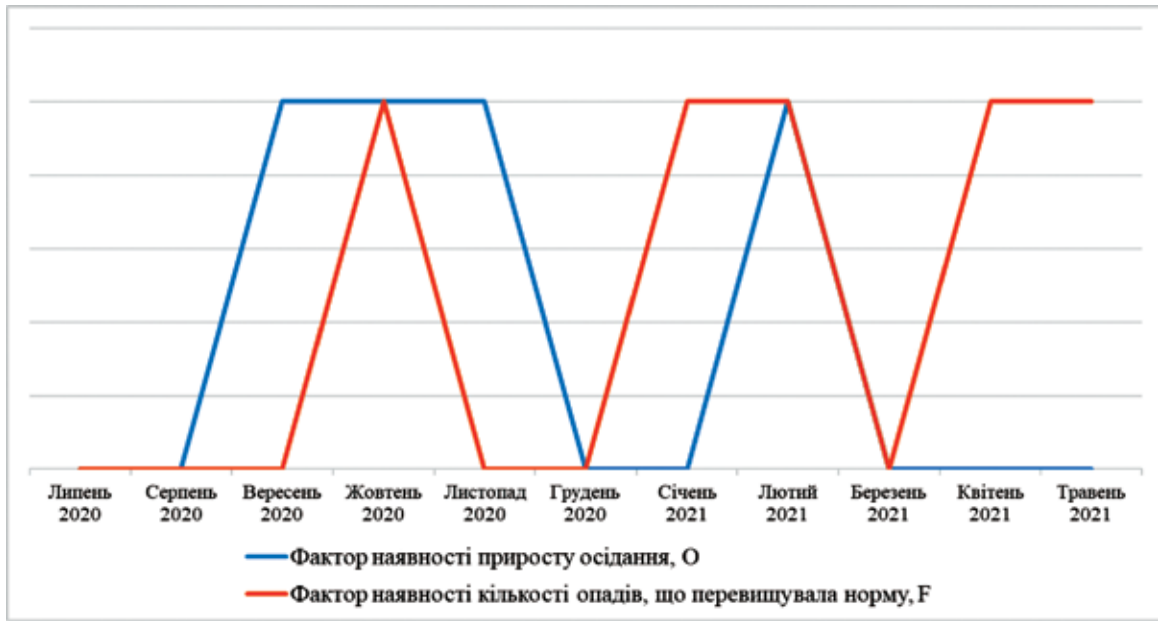


Рис. 6. Графік залежності факторів наявності приросту осідань будівлі та наявності понаднормової кількості опадів

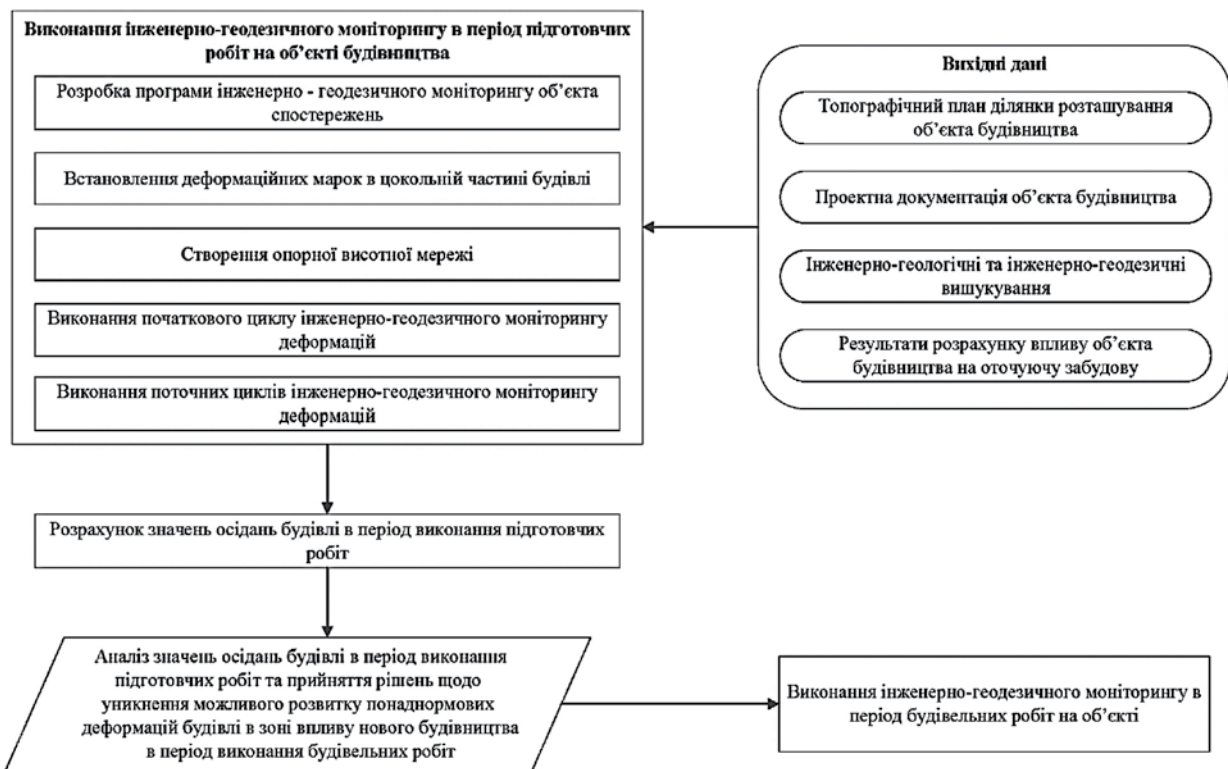


Рис. 7. Алгоритм інженерно-геодезичного моніторингу будівлі, що знаходиться в зоні впливу нового будівництва

Зафіксована наявність осідання будівлі, прилеглої до ділянки будівництва тунелів метрополітену, свідчить про необхідність виконання інженерно-геодезичного моніторингу прилеглих будівель, для яких розрахунко-

ві значення додаткових деформацій близькі до нормативних не тільки на етапі зведення споруди, а й на етапі виконання підготовчих робіт (рисунок 7). Для загального аналізу розвитку деформацій будівлі в зоні впливу

нового будівництва важливою є наявність виконавчої документації фактичного положення конструкцій та даних інструментального моніторингу будівлі в період її експлуатації.

Отримані значення осідання мають бути враховані в подальших розрахунках впливу будівництва тунелів метрополітену на оточуючу забудову. Під час зміни динаміки деформаційних процесів та появи нерівномірності осідань частота виконання інженерно-геодезичного моніторингу має бути збільшена. Для визначення факторів впливу на деформаційні процеси на етапі підготовчих робіт інженерно-геодезичні вимірювання мають бути ув'язані із загальним графіком виконання підготовчих робіт на ділянці будівництва.

Значення осідання будівлі в період виконання підготовчих робіт, їх аналіз та визначення динаміки розвитку деформаційних процесів із прив'язкою до етапів підготовчих робіт на будівельному майданчику є важливим параметром, що впливає на прийняття рішень стосовно виконання запобіжних заходів щодо недопущення розвитку понаднормових додаткових деформацій та завчасного здійснення заходів щодо забезпечення підвищення конструктивної жорсткості будівлі.

Висновки. Для правильної і своєчасної оцінки стану будівель, прилеглих до ділянок будівництва тунелів лінії метрополітену в умовах ущільненої забудови, точного прогнозу можливого розвитку деформацій, а також розробки ефективних компенсаційних заходів щодо недопущення дефектів та пошкоджень будівлі важливою є наявність даних щодо інструментального геодезичного контролю будівельно-монтажних робіт на етапі зведення будівлі, що відображена у виконавчій документації та даних інженерно-геодезичного моніторингу будівлі на етапі експлуатації.

но-геодезичного моніторингу будівлі на етапі експлуатації.

Щодо будівель у зоні впливу нового будівництва, для яких розрахункові значення додаткових деформацій близькі до нормативних, то важливим є здійснення інженерно-геодезичного моніторингу на етапі підготовчих робіт ділянки будівництва, що дозволить визначити наявність сезонних коливань осідань та появи осідань, спровокованих техногенним впливом початку виконання підготовчих робіт.

Для будівлі, що досліджується, активна динаміка осідань у вересні-грудні 2020 року, до початку виконання будівельних робіт на об'єкті будівництва, може бути викликана зміною гідрологічних умов ділянки внаслідок понаднормової кількості опадів та сезонною зміною температурного режиму. Для визначення залежності динаміки осідань будівлі від зміни кліматичних характеристик ділянки необхідні дані довготривалих інженерно-геодезичних спостережень будівлі. Зафіксована кореляція понаднормової кількості опадів та приросту осідань через обмежену кількість циклів інженерно-геодезичного моніторингу є недостатньою для визначення системних зв'язків сезонної зміни осідань будівлі і потребує продовження спостережень.

Відповідно, за наявності попередніх даних під час виконання підготовчих робіт на ділянці зведення тунелів метрополітену зміна динаміки осідань будівлі може бути проаналізована в повному обсязі та визначені нові фактори впливу, що провокують деформації будівлі. Отримані результати можуть бути враховані під час виконання розрахунку впливу будівництва тунелів метрополітену на оточуючу забудову та визначення граничних значень додаткових деформацій.

Література

1. Коваленко Л.О. Геодезичні спостереження за деформаціями будівель та споруд. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Т. 89. № 3. С. 185–188.
2. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. 2018. 36 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настава щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. 2017. 43с.
4. Максименко В.П., Мурашова О.В., Крошка Ю.В. Оцінка впливу нового будівництва на навколишню забудову засобами ВІМ і результатами натурних спостережень: наук.-техн. зб. Будівельне виробництво. Київ : Вид-во «Мастер книг», 2019. № 65. С. 84–92.
5. Григоровський П.Є., Мурашова О.В. Розробка інформаційної моделі впливу нового будівництва на експлуатаційну придатність будівель прилеглої забудови : наук.техн. зб. *Будівельне виробництво*. 2020. № 69. С. 16–21.
6. Чуканова Н.П. Удосконалення організаційно-технологічних рішень моніторингу технічного стану старої забудови : дис. канд. техн. наук : 05.23.08. Харків, 2020.

References

1. Kovalenko L.O. Geodetic observations of deformations of buildings and structures / L.O. Kovalenko // Scientific Bulletin of Construction. – 2017. – Vol. 89, № 3. – P. 185-188.
2. DBN B.2.1-10: 2018 Foundations and foundations of buildings and structures. Substantive provisions. 2018. – 36 p.
3. DSTU-N B B.1.2-18: 2016 Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. 2017. – 43 p.
4. Maksimenko V.P., Murasyova O.V., Kroshka Y.V. Assessment of the impact of new construction on the surrounding buildings by means of BIM and the results of field observations: scientific and technical collection Construction production. Kyiv: Master of Books Publishing House – 2019 – № 65. – P. 84-92.
5. Grigorovsky P.E., Murasyova O.V. Development of an information model of the impact of new construction on the operational suitability of buildings of adjacent buildings: scientific and technical collection Construction production. – 2020. – № 69. – P. 16–21.
6. Chukanova N.P. Improving organizational and technological solutions for monitoring the technical condition of old buildings: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.23.08 Kharkiv: 2020.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF INSTRUMENTAL MONITORING OF THE BUILDING ADJACENT TO THE CONSTRUCTION SITE OF THE SUBWAY TUNNELS DURING THE PREPARATORY WORKS

Abstract. *The article considers the results of calculating the impact of the construction of subway tunnels on the surrounding buildings and the results of engineering and geodetic monitoring of the building in the area of influence. Instrumental monitoring of buildings in the area of influence of construction of subway tunnels allows to trace occurrence and dynamics of development of deformation processes of the building, comparing the received values of the tracked parameters with settlement and standard values for prevention of decrease in operational suitability of the building. According to the results of the calculation of the impact, for the building under study, the values of additional deformations of the foundation are determined, which are limit and close to the normative values of additional deformations of the foundation. The results of engineering and geodetic monitoring at the stage of preparatory works for the building, for which the calculated values of additional deformations are close to the normative, are given. The appearance of uniform subsidence of the building foundation before the beginning of construction and installation works on the construction of the subway tunnel was recorded. It is determined that the appearance of unpredictable subsidence before the start of major construction and installation works or at the stage of preparatory work on the construction site, can cause exceeding the normative values of additional subsidence of the foundation, which in turn will increase costs and labor costs, and reducing its serviceability. The probable factors that provoked the development of deformations for the building under study and which were not taken into account when performing the calculation of the impact of new construction on the surrounding buildings are analyzed. The presence of a synergetic effect of strengthening of deformations caused by the influence of new construction, deformations of natural character, the change of which is dynamic, is determined. An algorithm for engineering and geodetic monitoring of buildings for which the calculated values of additional deformations are close to the norm, which allows to determine the own subsidence of the building in the area of new construction and take into account the obtained values and dynamics of subsidence changes in further calculations of impact.*

Key words: *engineering and geodetic monitoring, calculation of impact on surrounding buildings, deformations, limit values of additional subsidence.*

Hrihorovskyi P.Ye.

Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Kroshka Yu.V.

Head of the Department,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Basansky V.O.

Head of the Sector,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Osadcha I.V.

Junior Research Fellow,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Lyalko V.V.

Engineer,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv