

DOI: 10.32347/2076-815x.2021.78.41-53

УДК 711:624.04

д.т.н., професор **Банах В.А.**,  
viktorbanakh@gmail.com , ORCID: 0000-0001-7681-6370,  
к.т.н., доцент **Банах А.В.**,  
andrew.banakh@gmail.com , ORCID: 0000-0002-0517-2157,  
**Гребенюк І.В.**,  
saliongsx@yahoo.com , ORCID: 0000-0003-4721-2505,  
**Гребенюк О.В.**,  
gsxgev@meta.ua , ORCID: 0000-0002-0123-6803,  
Запорізький національний університет

## МІСТОБУДІВНІ АСПЕКТИ ДОТРИМАННЯ ВИМОГ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

*Проведено аналіз результатів досліджень технічного стану будівель і споруд міської забудови з точки зору дотримання вимог до їхньої надійності та довговічності. Запропоновано програму комплексних заходів для забезпечення дотримання вимог надійності та довговічності будівель і споруд, які експлуатуються тривалий час, у тому числі у складних інженерно-геологічних умовах. Показаний алгоритм проведення обстеження технічного стану, визначення попередніх деформацій, вибору розрахункових ситуацій, формування розрахункових моделей за допомогою прогностичного та ретроградного моделювання.*

*Ключові слова: технічний стан; міська забудова; попередні деформації; реконструкція; експлуатаційна придатність; розрахункова модель; прогностичне моделювання; ретроградне моделювання.*

**Постановка проблеми.** Однією з нагальних містобудівних проблем є дотримання вимог надійності та довговічності будівель і споруд, якими сформовано міську забудову та які експлуатуються тривалий час. Формально міська забудова потребує постійної актуалізації архітектурного простору для відповідності сучасним вимогам фізичного стану об'єктів будівництва, якості внутрішнього середовища будівель та інфраструктури, яка їх оточує. Сучасний період характеризується зростанням вимог до зручності, комфорту та безпеки життєвого середовища.

Якщо для звичайних умов експлуатації об'єктів будівництва на перший план виходять модернізація та покращення естетичних властивостей будівель і споруд, то для об'єктів міської забудови у складних інженерно-геологічних умовах пріоритетом є контроль їхнього технічного стану, відновлення

працездатності конструкцій та інженерних систем. Регулювання цих питань сучасними нормативними документами дає можливість забезпечити необхідні експлуатаційні якості нещодавно зведеним будівлям і спорудам, але є значна кількість об'єктів, які на сьогодні знаходяться у неналежному технічному стані. Ця ситуація погіршується тим, що свого часу більшість будівель у містах з балансу житлово-комунальних підприємств було передано до керуючих компаній та об'єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) без проведених капітальних ремонтів та інших регламентних заходів.

Таким чином, проблема полягає у необхідності розробки програми комплексних заходів для забезпечення дотримання вимог надійності та довговічності будівель і споруд, які експлуатуються тривалий час, у тому числі у складних інженерно-геологічних умовах.

**Викладення основного матеріалу та результатів дослідження.** Аналіз технічного стану будівель і споруд, експлуатація яких триває більше 20-25 років, для різних міст України показав, що у значній кількості таких об'єктів він є неналежним. У той же час змінюються умови експлуатації у бік погіршення, що обумовлено об'єктивними та суб'єктивними причинами. Окрім глобальних проблем, таких як зміни клімату (збільшення кліматичних навантажень і впливів) та геотехнічні (вплив з боку неоднорідних ґрунтових основ, складні інженерно-геологічні умови), суттєво впливають на міську забудову техногенні фактори (забруднення середовища, так звана «міська» сейсміка, відсутність регламентних ремонтів, у тому числі капітальних, стихійні реконструкції тощо) [1-3].

Програма заходів включає у себе перелік необхідних дій, які дозволять привести будівлі та споруди міської забудови у належний технічний стан та підтримувати його за умови дотримання вимог нормативних документів [4-6].

Враховуючи різноманіття об'єктів міської забудови, їхніх конструктивних систем, умов експлуатації, навантажень і впливів, технічного стану тощо, у першу чергу слід визначити поточний стан об'єкту з урахуванням ступенів пошкодження, кількості внесених змін до конструктивної частини, деформований стан об'єкту будівництва, який характеризується попередніми деформаціями [7].

Під попередніми маються на увазі деформації, накопичені будівельним об'єктом на момент визначення поточної розрахункової ситуації, у вигляді кренів та перекосів несучої системи будівель та споруд, зміни висотного положення несучих конструкцій, локальних зсувів частин конструкцій та їх вузлів, а також дефектів, що викликають зміщення центрів тяжіння перетинів. Вони можуть бути фактичними чи прогнозованими.

Для їх визначення передбачено три алгоритми:

1. Використання стандартних процедур визначення навантаження на фрагмент або перетворення результатів розрахунку в навантаження, реалізованому в більшості програмних комплексів, для отримання еквівалентних вузлових навантажень і додавання їх до відповідних вузлів у одному із завантажень.

2. Використання суперелементного підходу МСЕ, формування розрахункової моделі будівлі або споруди з використанням багаторівневих суперелементів, в якій взаємодія з ґрунтовою основою також моделюється спеціальними скінченими елементами, що враховують податливість основи та односторонній зв'язок між елементами в лінійній чи нелінійній інтерпретації.

3. Використання спеціальних процедур збереження як вихідних даних отриманих у результаті стандартного розрахунку деформованої схеми – як документ координат вузлів, а також напружень і зусиль у скінчених елементах – як еквівалентних вузлових навантажень у відповідному документі.

Коли комплексна інформація щодо об'єкту отримана, можуть бути вирішені задачі визначення його поточного напружено-деформованого стану, критеріїв надійності та довговічності, прогнозу щодо його подальшої поведінки при різних варіантах прогнозованих навантажень і впливів, що характеризується розрахунковими ситуаціями.

Для визначення ступеня відповідності таких розрахункових моделей методу скінчених елементів (МСЕ) необхідно провести тестування запропонованого апарату досліджень зіставленням з рішеннями, отриманими за допомогою відомих методів будівельної механіки, точними рішеннями, наведеними в науковій літературі, або результатами експериментальних досліджень.

Такі тестування були виконані для кожного класу розглянутих у дослідженні задач на моделях, сформованих засобами програмного забезпечення, що реалізує МСЕ у вітчизняних професійних програмних комплексах LIRA-Windows та SCAD Office. Для статичних задач були реалізовані чисельні експерименти для окремих конструкцій, результати яких зіставлялися з натурними випробуваннями реальних конструкцій (рис. 1).

Для проведення розрахунків необхідно визначитися з вибором розрахункової ситуації при моделюванні спільної роботи будівель і споруд з основами для складних інженерно-геологічних умов (рис. 2).

Для стадії експлуатації розрахункова ситуація визначена фактичним станом конструкцій, їх висотним положенням і загальними деформаціями системи «будівля (споруда) – основа», і невизначеність зберігається тільки при необхідності прогнозування подальшого впливу з боку основи. Для стадії проектування одним із способів визначення розрахункової ситуації є аналіз

проектних та інженерно-геологічних даних, на підставі якого складаються схеми розрахункових ситуацій і розраховуються їхні параметри залежно від виду ґрунтових умов (рис. 3).

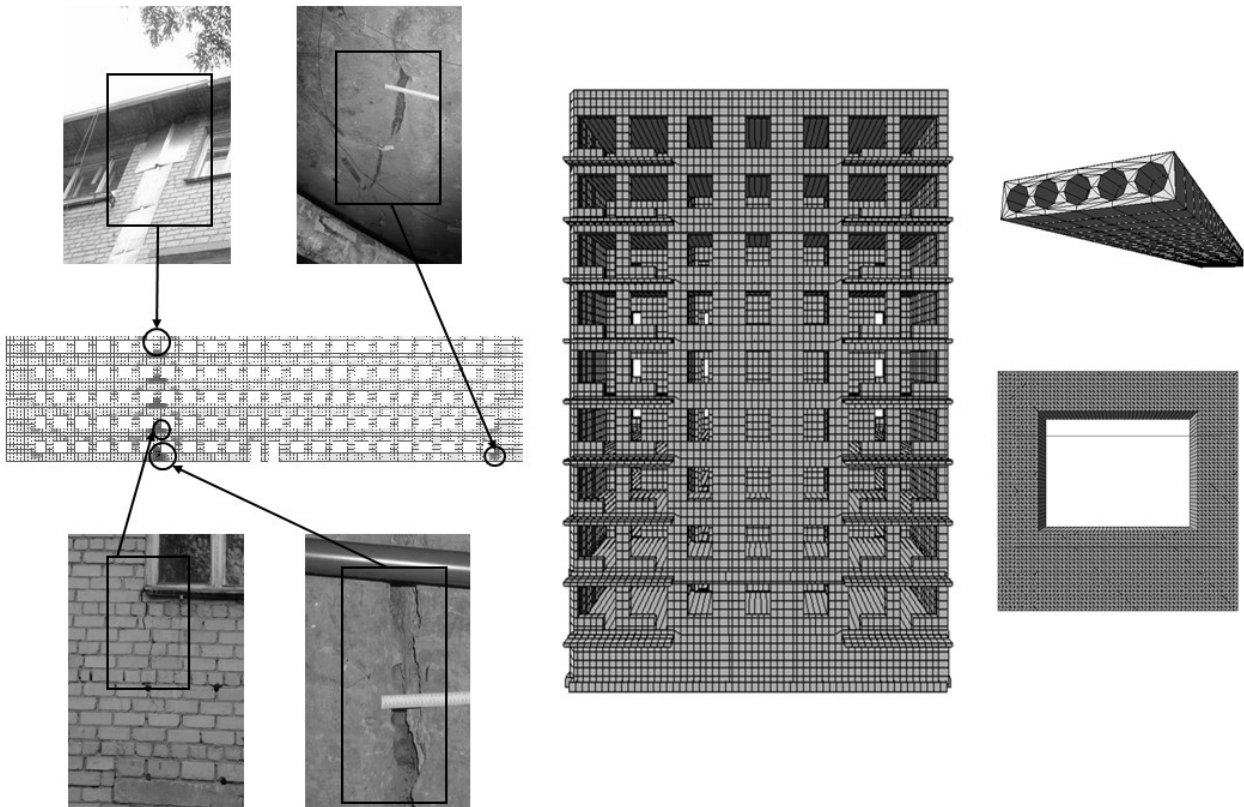


Рис. 1. Тестування розрахункових моделей за результатами натурних експериментів

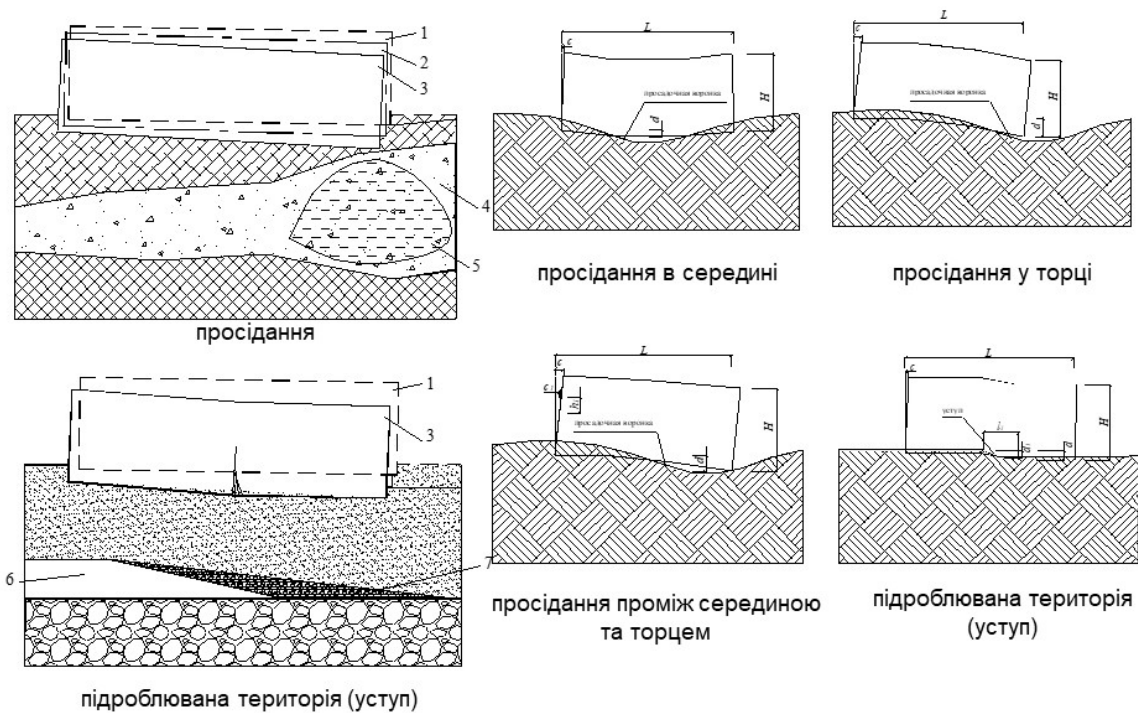


Рис. 2. Моделювання взаємодії будівель і споруд з ґрунтовими основами

У результаті проведених досліджень були отримані значення лінійних і кутових переміщень вузлів розрахункових моделей за ступенями свободи, зусилля у стержневих елементах, напруги та розподілені зусилля – у пластинчатих. Відповідно до методики оцінки адекватності розрахункових моделей за результатами аналітичних розрахунків та експериментальним даним, які беруться за еталонні, виконано аналіз відхилень отриманих розрахункових параметрів від еталонних розрахунків або даних. Результати уточнення параметрів напружено-деформованого стану конструкцій будівель і споруд за рахунок визначених попередніх деформацій наведено на рис. 4.

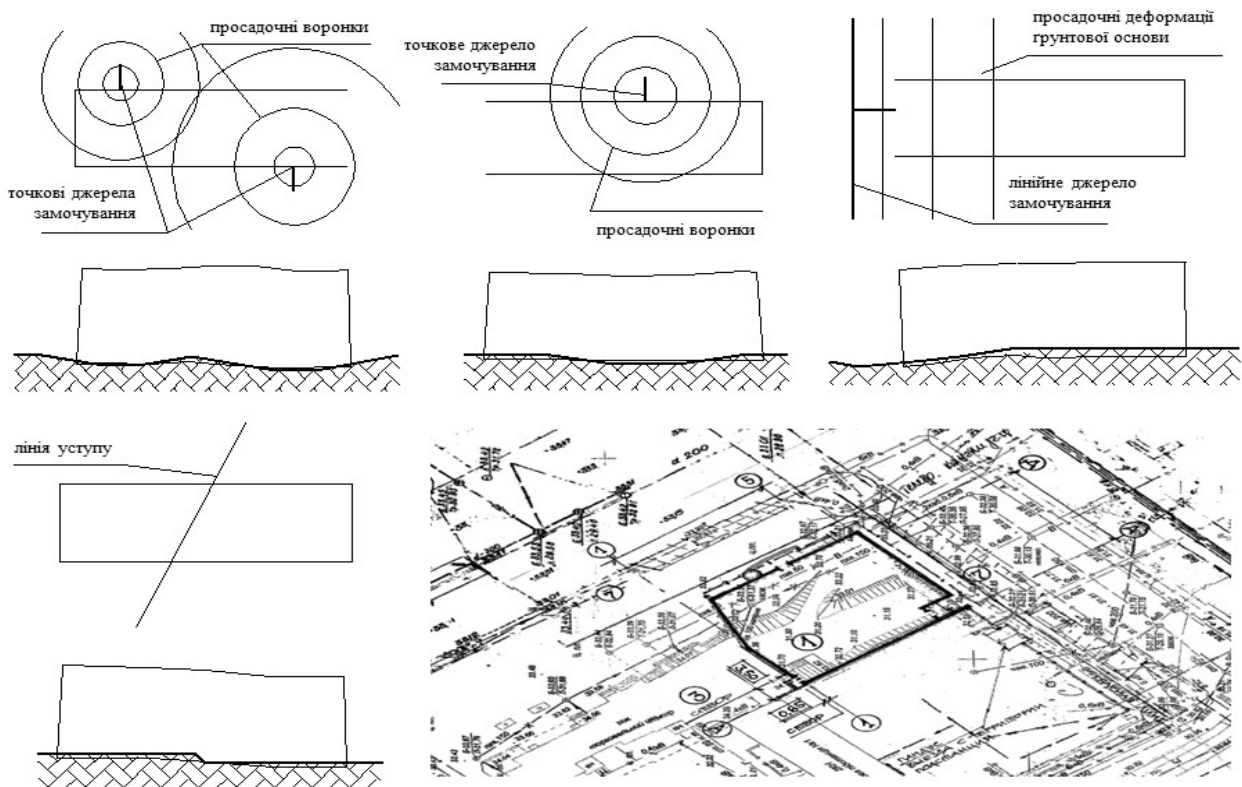
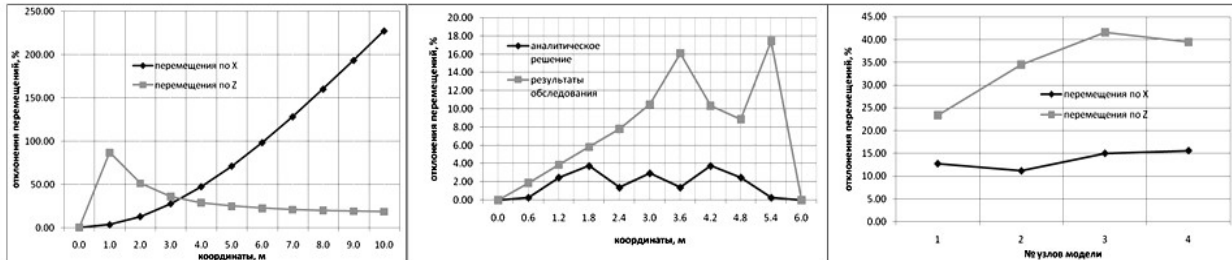


Рис. 3. До вибору розрахункової ситуації

Після процедури визначення попередніх деформацій для досліджуваних експлуатованих будівель та перевірки адекватності застосовуваних розрахункових моделей необхідно провести аналіз фактичного стану несучих будівельних конструкцій, наявності дефектів та пошкоджень, а також наявних суттєвих змін у конструктивній системі будівлі у зв'язку з проведеними локальними реконструкціями (утворення нових отворів у несучих конструкціях зовнішніх та внутрішніх стін та розширення існуючих, застосування конструкцій підсилення окремих елементів, влаштування нових та розширення існуючих балконів, прибудови, надбудови, зміна призначення окремих приміщень, особливо якщо це все носило стихійний характер та не було офіційно оформлено дозвільними документами). Це проблемний момент,

оскільки отримати доступ до приватизованих приміщень можливо тільки у разі добровільної згоди власника, операцій з нерухомістю або при виникненні аварійних ситуацій.

#### відхилення переміщень (%) при врахуванні попередніх деформацій



#### відхилення згинальних моментів (%)

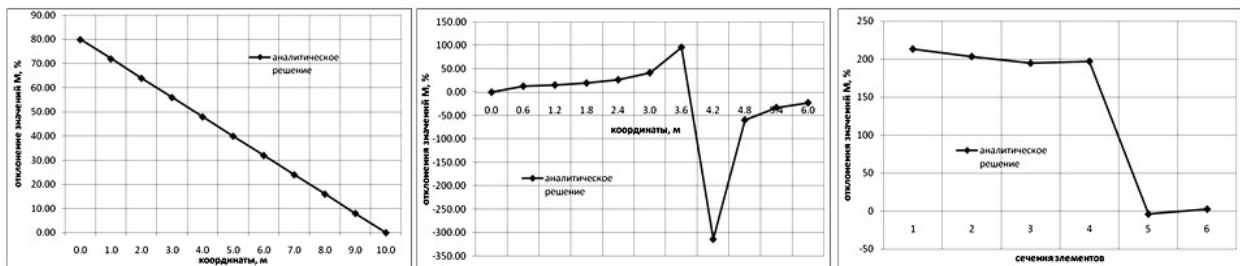


Рис. 4. Відхилення параметрів напружено-деформованого стану елементів будівель при врахуванні попередніх деформацій

Враховуючи ступінь відповідальності об'єктів міської забудови, особливо якщо мова йде про багатоквартирні будівлі, доцільно було б вирішити проблему у правовому полі, забезпечивши доступ до приватних помешкань у порядку виключення для проведення аудиту стану несучих конструкцій, які критично впливають на надійність та довговічність будівлі в цілому [8]. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є горезвісна паспортизація будівель та споруд з регулярним, кожних 5 років, обстеженням технічного стану з видачою рекомендацій щодо подальшої експлуатації об'єкту міської забудови [9].

При коригуванні розрахункової моделі будівлі або споруди з метою внесення до неї змін у конструктивну систему, дефектів та пошкоджень, отриманих за період експлуатації, необхідно одержати в результаті розрахунків картину напружено-деформованого стану, яка відображає реальний стан обстеженої будівлі з місцями концентрації критичних напружень саме в місцях розташування дефектів та пошкоджень. Це ж коригування вимагає внесення, при наявності, всіх змінених конструктивних елементів та елементів підсилення несучих конструкцій з метою виявлення нових зон концентрації напружень та прогнозування вірогідного пошкодження інших конструкцій при подальшій експлуатації (рис. 5, 6).

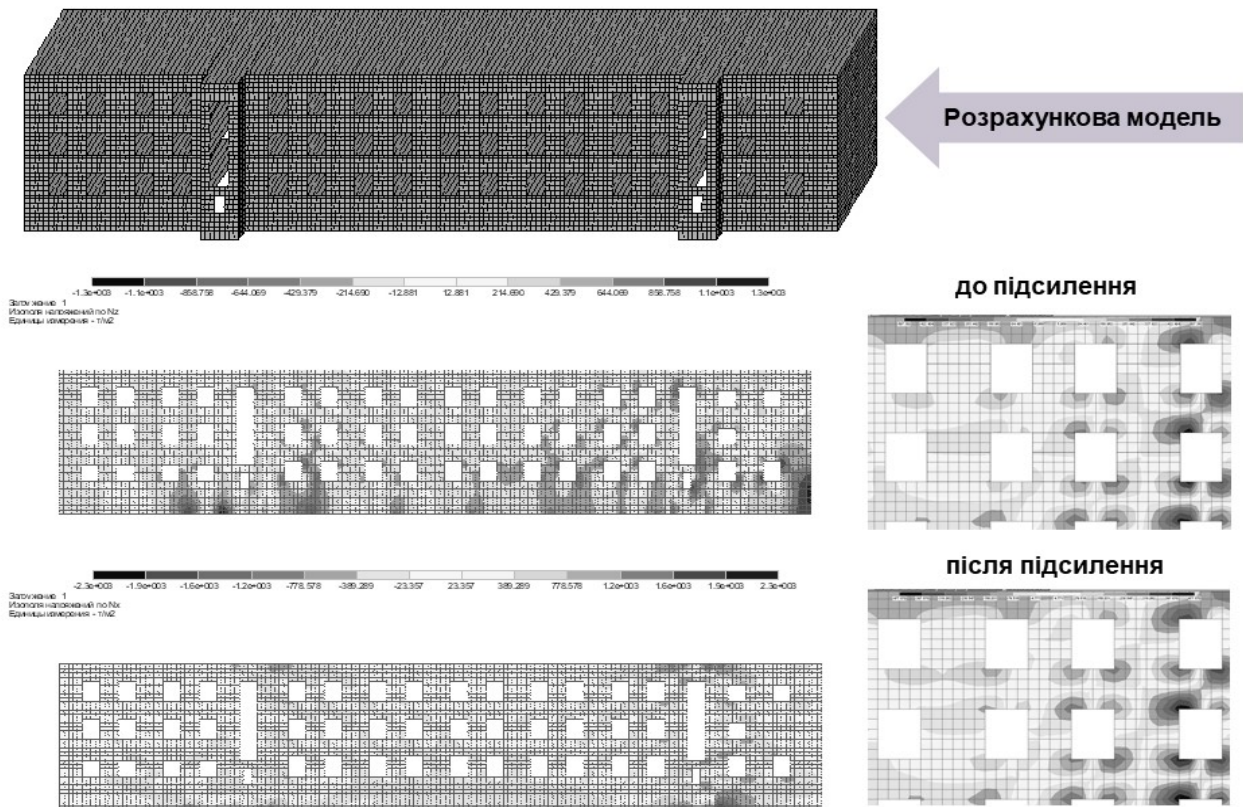


Рис. 5. Коригування розрахункової моделі з урахуванням підсилення конструкцій

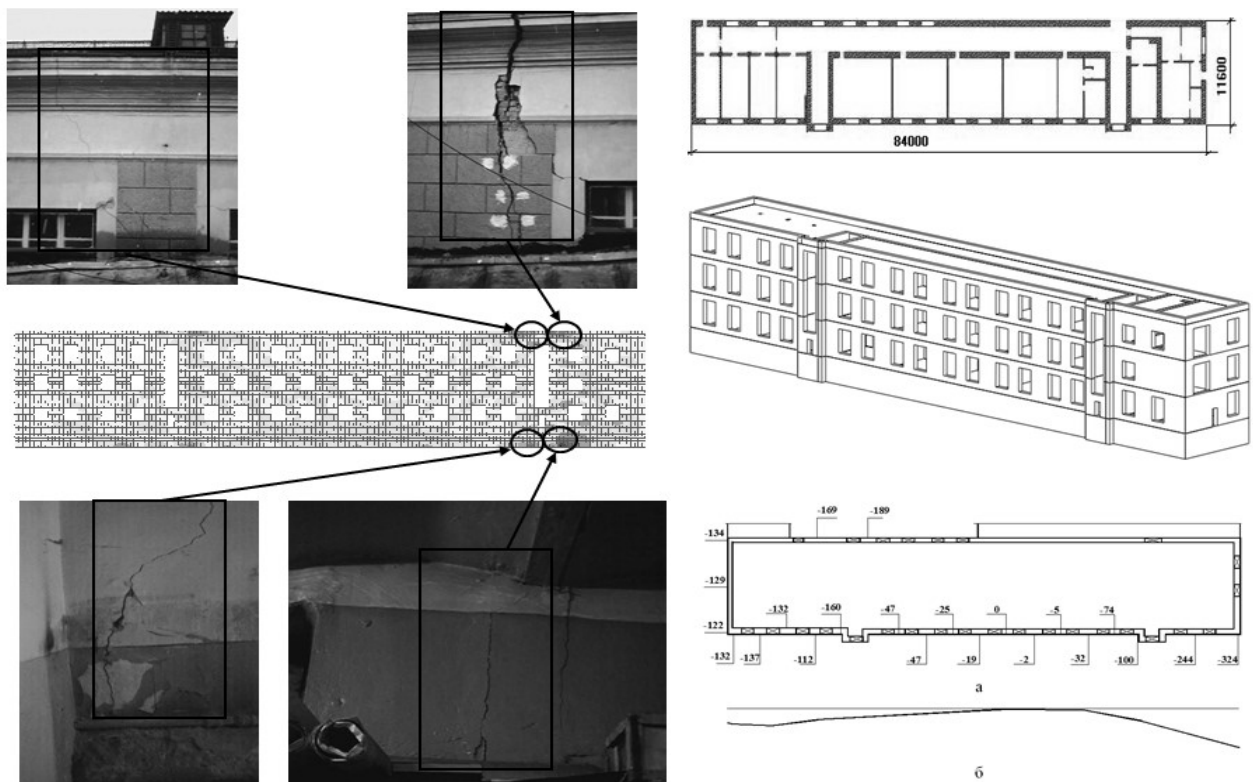


Рис. 6. Прогностичне моделювання з коригуванням розрахункової моделі

Таким чином, після формування скоригованої розрахункової моделі, для з'ясування можливих проблем експлуатації будівлі або споруди у майбутньому

необхідно скористатися можливостями прогностичного моделювання та відповідно до фактичної ситуації із зовнішніми впливами визначити всі розрахункові ситуації, виникнення яких можливо при подальшій експлуатації об'єкту (див. рис. 3 та 6). Після проведення аналізу результатів розрахунків є можливість визначитися з підсиленням конструкцій, ушкодження яких у майбутньому є найбільш вірогідним, або зосередитися на заходах щодо недопущення виникнення такої розрахункової ситуації [10].

Більш складним, але не менш необхідним, ніж прогностичне, є ретроградне моделювання для об'єктів, у яких проводиться відновлення експлуатаційних характеристик шляхом ліквідації наднормативних деформацій.

В результаті проведених досліджень зміни напружено-деформованого стану будівлі, що зазнала деформацій ґрунтової основи, в процесі її вирівнювання (рис. 7), можна зробити висновок, що в процесі вирівнювання деформованої будівлі напруження, що виникають у несучих елементах, не завжди знижуються, а у деяких випадках можуть перевищувати гранично допустимі значення матеріалу для конструкцій. Це пояснюється складною реакцією просторової системи на зовнішні впливи, нерівномірним розподілом жорсткостей елементів будівлі, наявністю дефектів та зон граничних напружень.

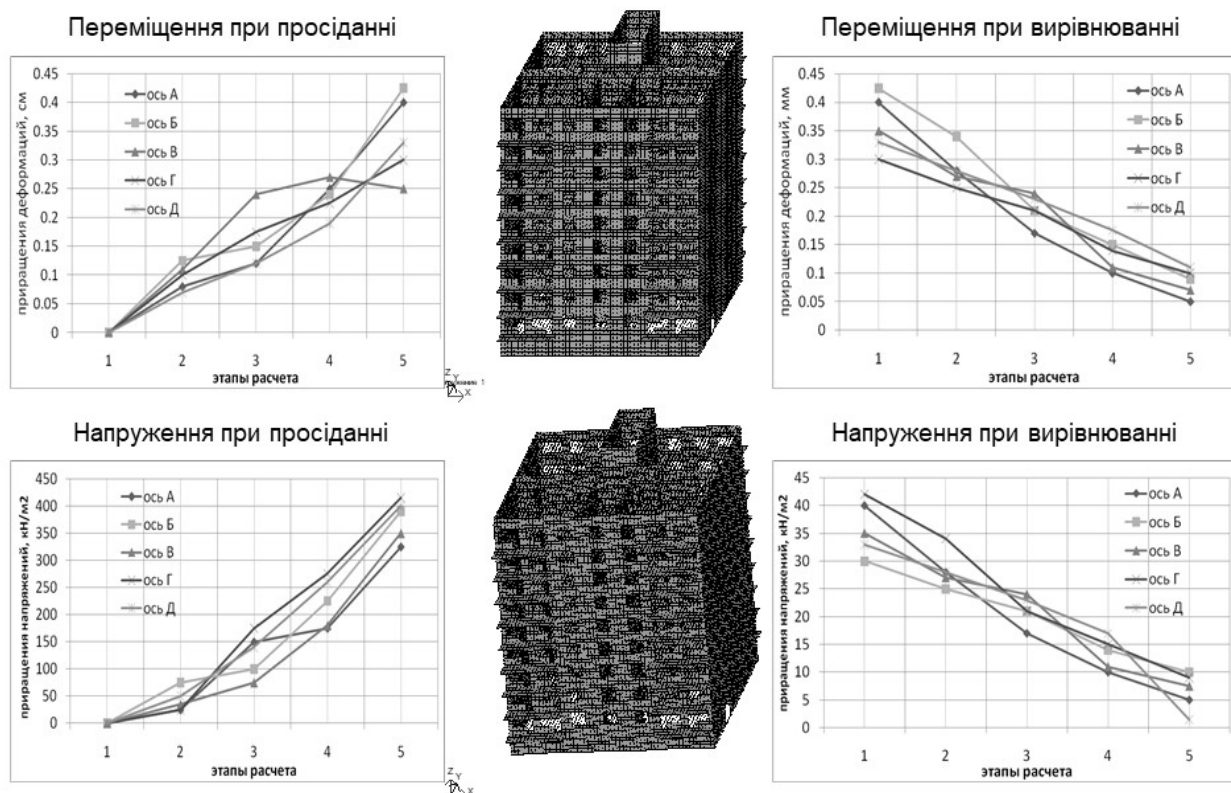


Рис. 7. Ретроградне моделювання процесу відновлення експлуатаційних якостей будівлі

Отже, такий метод відновлення експлуатаційних характеристик будівель



та споруд може бути рекомендований для будівель і споруд будь якої конструктивної системи при наявності детальної та актуальної інформації щодо технічного стану, а також за умови дотримання технологічних вимог та постійного моніторингу стану об'єкта [11].

Останнім пунктом програми є внесення даних про актуальний технічний стан об'єкту міської забудови, його розрахункові моделі, рекомендації щодо подальшої експлуатації та заходи щодо забезпечення надійності та довговічності до бази даних із застосуванням BIM та геоінформаційних технологій, звісно, при наявності такої бази даних [12].

**Висновки.** Виконані дослідження та аналіз містобудівних аспектів забезпечення вимог надійності та довговічності об'єктів міської забудови, результатів обстеження технічного стану будівельних конструкцій, а також практика реалізації розрахункових обґрунтувань із застосуванням попередніх деформацій, прогностичного та ретроградного моделювання, дозволяють зробити наступні висновки та надати такі рекомендації.

Усі моделі, що використовуються для чисельних експериментів з урахування впливу параметрів розрахунку на зміну напружено-деформованого стану конструкцій будівель і споруд, повинні бути адекватні фізичним об'єктам тією мірою, якою це необхідно для аналізу та узагальнення даних. Доведено, що результати детального обстеження будівель та споруд можуть бути основою для формування адекватних розрахункових моделей та постановки чисельних експериментів.

Будівлі та споруди, що експлуатуються тривалий час, у разі проведення в них реконструкції вже перебувають у попередньо деформованому стані, що позначається на умовах роботи конструкцій та на величині внутрішніх зусиль в основних конструктивних елементах.

Розрахунки експлуатованих будівель у стадії реконструкції доцільно розбивати на два етапи: спочатку виконується розрахунок моделі будівлі з урахуванням деформацій та дефектів, параметри яких отримані в результаті обстеження, для визначення можливості реконструкції та необхідності підсилення конструктивних елементів, а потім виконується коригування розрахункової моделі з урахуванням заходів з реконструкції, та її розрахунок.

При такому підході з'являється можливість не тільки отримати достовірні параметри напружено-деформованого стану конструкцій будівлі з урахуванням передісторії та особливостей її експлуатації, а й спрогнозувати подальшу роботу реконструйованої будівлі за ймовірної несприятливої зміни умов її експлуатації (розвиток нерівномірних деформацій ґрунтових основ, утворення та розвиток дефектів та деформацій) у конструкціях, утворення в них нових дефектів, зміна корисного технологічного навантаження тощо). Також

з'являється можливість моделювання життєвого циклу об'єкту, що експлуатується, на підставі інформації, отриманої системами моніторингу його стану.

### Список використаних джерел

1. Прусов Д.Е. Теорія та методологія прогнозування наслідків інженерної підготовки перетворення міських територій зі щільною забудовою та складними геологічними умовами : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.20. Київ: КНУБА, 2015. 429 с.
2. Банах А.В. Фактори взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2017. Вип. 49. С. 251-257.
3. Єгоров Ю.П., Савін В.О., Галич В.Г. та ін. Вплив антропогенних факторів на деформації будівель, що експлуатуються впродовж тривалого часу. Містобудування та територіальне планування. 2017. Вип. 65. С. 71-85.
4. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. [Чинний від 2017-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 29 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 30 с.
6. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 44 с.
7. Банах В.А. Статико-динамические расчетные модели зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях: монография. Запорожье : Издательство ЗГИА, 2012. 334 с.
8. Проблеми та перспективи розвитку житлової забудови в умовах комплексної реконструкції міста : монографія / Ю.І. Гайко та ін. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 247 с.
9. Наукові основи розвитку будівельної галузі України : монографія / І. Д. Павлов та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 460 с.
10. Safety assessment of existing buildings and structures : monography / K. I. Eremin et. al. Stockholm, Sweden : ASV Construction, 2016. 268 p.
11. Банах В.А., Гребенюк О.В., Гребенюк І.В., Банах М.С. Використання сучасних інформаційних технологій для забезпечення безаварійної експлуатації будівель і споруд на основних стадіях їх життєвого циклу. Містобудування та територіальне планування. 2018. Вип. 68. С. 27-31.
12. Банах В.А., Банах М.С. Применение современных BIM и геоинформационных технологий в городском планировании и содержании

городской застройки. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 62. Ч.1. С. 36-41.

д.т.н., профессор **Банах В.А.**,  
к.т.н., доцент **Банах А.В.**,  
**Гребенюк І.В., Гребенюк О.В.**,  
Запорожский национальный университет, г. Запорожье

## **ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Проведен анализ результатов исследований технического состояния зданий и сооружений городской застройки с точки зрения соблюдения требований к их надежности и долговечности. Предложена программа комплексных мер по обеспечению соблюдения требований надежности и долговечности зданий и сооружений, эксплуатируемых длительное время, в том числе в сложных инженерно-геологических условиях. Показан алгоритм проведения обследования технического состояния, определения предварительных деформаций, выбор расчетных ситуаций, формирование расчетных моделей с помощью прогностического и ретроградного моделирования.

Ключевые слова: техническое состояние; городская застройка; предварительные деформации; реконструкция; эксплуатационная пригодность; расчетная модель; прогностическое моделирование; ретроградное моделирование.

D.Sc., professor **Viktor Banakh**,  
Ph.D., associate professor **Andrii Banakh**,  
**Ihor Grebeniuk, Olena Grebeniuk**,  
Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia

## **URBAN ASPECTS OF ENSURING REQUIREMENTS FOR RELIABILITY AND DURABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES OF URBAN DEVELOPMENT**

The analysis of the results of researches of the technical condition of buildings and structures of urban development from the point of view of compliance with the requirements for their reliability and durability is done. A complex program of events

to ensure compliance with the requirements of reliability and durability of buildings and structures exploited for a long time in difficult engineering-geological conditions is proposed. The program of events includes a list of necessary actions that will bring buildings and structures of urban development into proper technical condition and maintain it in compliance with the requirements of regulatory documents. First, it is proposed to determine the current technical state and the deformed state of the construction object with preliminary deformations, the damage degree and the number of changes made to the project's structural part, taking into account the variety of urban development objects, their structural systems, initial technical condition, exploitation conditions, current loads and impacts, etc. An algorithm of moderation of a survey of the technical condition, determination preliminary deformations, choosing design situations, forming computational models using prognostic and retrograde modeling is shown. Methods of checking the adequacy of computational models by comparing them with solutions obtained using well-known methods of structural mechanics, exact solutions given in the scientific literature, or the results of experimental studies are presented. The necessity of analyzing the actual state of the bearing structures, the presence of defects and damages, as well as significant changes in the structural system of the building in connection with the finished local reconstructions, for example, arranging the new openings or the expansion of the existing openings in the bearing structures of external and internal walls, the use of reinforcement structures of specific elements, installation of new and expansion of existing balconies, annexes, superstructures, changes in the purpose of specific compartments, especially if all of it was of a spontaneous character and was not officially formalized with permits, is proved.

Key words: technical condition; urban development; preliminary deformations; reconstruction; serviceability; computational model; predictive modeling; retrograde modeling.

## REFERENCES

1. Prusov D.E. Teoriia ta metodolohiia prohnozuvannia naslidkiv inzhenernoi pidhotovky peretvorennia miskykh terytorii zi shchilnoiui zabudovoiui ta skladnymy heolohichnymy umovamy : dys. ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.20. Kyiv: KNUBA, 2015. 429 s. {in Ukrainian}
2. Banakh A.V. Faktory vzaiemodii pryrodnoi ta antropohennoi mistobudivnykh system. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. 2017. Vyp. 49. S. 251-257. {in Ukrainian}
3. Yehorov Yu.P., Savin V.O., Halych V.H. ta in. Vplyv antropohennykh faktoriv na deformatsii budivel, shcho ekspluatuiutsia vprodovzh tryvalooho chasu. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2017. Vyp. 65. S. 71-85. {in

Ukrainian}

4. DBN V.1.1-45:2017. Budivli i sporudi v skladnih inzhenerno-geologichnih umovah. Zagalni polozhennia. [Chinnii vid 2017-09-01]. Vid. ofits. Kiiv : Minregion Ukraini, 2017. 29 s. {in Ukrainian}

5. DBN V.1.2-14:2018. Zagalni printsipi zabezpechennia nadiinosti ta konstruktivnoi bezpeki budivel i sporud. [Chinnii vid 2019-01-01]. Vid. ofits. Kiiv : Minregion Ukraini, 2018. 30 s. {in Ukrainian}

6. DBN V.2.2-15:2019. Zhitlovi budinki. Osnovni polozhennia. [Chinnii vid 2019-12-01]. Vid. ofits. Kiiv : Minregion Ukraini, 2019. 44 s. {in Ukrainian}

7. Banakh V.A. Statiko-dinamicheskie raschetnye modeli zdaniy i sooruzheniy v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh : monografiya. Zaporozhye : Izdatelstvo ZGIA, 2012. 334 s. {in Russian}

8. Problemi ta perspektivi rozvitku zhitlovoi zabudovi v umovah kompleksnoi rekonstruktsii mista : monografiya / Yu.I. Gaiko ta in. Kharkiv : KhNUMG im. O. M. Beketova, 2019. 247 s. {in Ukrainian}

9. Naukovi osnovi rozvitku budivelnoi galuzi Ukraini : monografiya / I. D. Pavlov ta in. Zaporizhzhia : ZDIA, 2017. 460 s. {in Ukrainian}

10. Safety assessment of existing buildings and structures : monography / K. I. Eremin et. al. Stockholm, Sweden : ASV Construction, 2016. 268 p. {in English}

11. Banakh V.A., Grebeniuk O.V., Grebeniuk I.V., Banakh M.S. Viktoristannia suchasnih informatsiynih tehnologii dlia zabezpechennia bezavariinoi ekspluatatsii budivel i sporud na osnovnih stadijah ih zhsttevogo tsiklu. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2018. Vip. 68. S. 27-31. {in Ukrainian}

12. Banakh V.A., Banakh M.S. Primenenie sovremennih BIM i geoinformatsionnih tehnologiy v gorodskom planirovanii i soderzhanii gorodskoi zastroyki. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2016. Vip. 62. Ch.1. S. 36-41. {in Russian}