

## Реконструкція адміністративного будинку на глинистих ґрунтах

Вероніка Жук<sup>1</sup>, Олексій Хоменко<sup>2</sup>

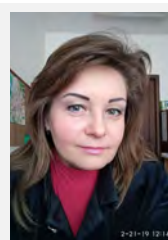
Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,  
<sup>1</sup>zhuk.vv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1114-3192  
<sup>2</sup>olexiykhomenko@gmail.com

DOI: 10.32347/0475-1132.43.2021.52-66

**Анотація.** Нарівні з новим будівництвом питання реконструкції існуючих будівель і споруд в Україні залишається актуальним. Додатково, актуальним питанням є приведення у відповідність до вимог сьогодення значної кількості раніше зведених будівель. Сьогодні численна кількість будівель і споруд з різних причин знаходиться у незадовільному або аварійному стані, є законсервованими або навіть перебувають у закинутому стані. Деякі з них можуть отримати друге життя після зміни призначення приміщень, розширення площ, збільшення поверховості, заміни несучих конструкцій та ін. При цьому існуючі несучі конструкції часто потребують часткового або повного підсилення внаслідок фізичного зносу або збільшення навантаження після реконструкції. Забезпечити надійну експлуатацію будівель після реконструкції, задовольнити сучасні потреби і вимоги при збереженні привабливих історичних фасадів – це актуальна задача для багатьох об'єктів в нашій країні і особливо у столиці.

Проведене дослідження було виконано на прикладі реального об'єкту в м. Києві щодо реконструкції адміністративної будівлі з надбудовою і прибудовою нежитлових приміщень. Проектом реконструкції було передбачено перепланування основної будівлі, яку за архівними даними було зведено до 1940-х років, збільшення поверховості павільйону, який було прибудовано у 2000 році, а також передбачалася прибудова нежитлових приміщень.

В рамках дослідження було виконано аналіз перерозподілу зусиль в несучих конструкціях з врахуванням осідання фундаментів нових опор. Було проаналізовано зміну внутрішніх зусиль у несучих конструкціях металевих каркасів за даними числового моделювання з врахуванням впливу ґрунтової основи, який проявляється у



**Вероніка Жук**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н., доц.



**Олексій Хоменко**  
магістр кафедри  
геотехніки

виникненні нерівномірних переміщень баз колон, а саме:

- виконано перевірку несучої здатності основи існуючих фундаментів в умовах реконструкції будинку;
- визначено комбінацію навантаження на фундаменти під нові опори за результатами просторового розрахунку металевих каркасів прибудови;
- визначено переміщення баз колон для розрахунку просторової роботи металевих каркасів прибудови з врахуванням осідання фундаментів;
- виконано аналіз перерозподілу зусиль в несучих конструкціях з врахуванням осідання фундаментів нових опор.

Встановлено за результатами дослідження, що врахування деформації основи фундаментів суттєво впливає на напружений стан надземних конструкцій каркасних споруд, що дозволяє підвищити надійність всіх елементів каркасу.

**Ключові слова.** Реконструкція, каркас, осідання, внутрішні зусилля, числове моделювання, напружено-деформований стан.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Виконання розрахунків спільної роботи будівель і споруд з основою з використанням комп'ютерного моделювання є актуальним питанням для практики проектування. Проте, досвід проектування та результати проведення моніторингу деформацій виявили наявність значних розбіжностей між розрахунковими і фактичними значеннями осідання. Це пояснюється невідповідністю розрахункових схем для виконання моделювання взаємодії будівлі з основою, застосуванням певних спрощень та припущень при розробці моделей ґрунтового середовища.

Сьогодні все ще трапляються випадки розрахунків надземної частини будівель і споруд без урахування реальних геологічних умов навіть не зважаючи на значний прогрес в розвитку методів розрахунку. Часто при виконанні розрахунків застосовується припущення, що основа є абсолютно жорсткою. Таке спрощення обумовлено простотою реалізації розрахунку у програмних комплексах. Але такий підхід призводить до появи помилкових результатів, оскільки характер поведінки конструкції на жорсткій основі та з урахуванням геологічних особливостей майданчика суттєво відрізняється.

Наряду з цим, найбільш популярним сьогодні серед конструкторів-проектувальників надземної частини будівель і споруд залишається підхід розрахунку з використанням методики плити на пружній основі. Такий підхід залишається популярним через простоту реалізації моделі ґрунтового середовища для комп'ютерного моделювання.

В будівельній галузі на етапі виконання розрахунків та прийняття проектних рішень сьогодні підвищується важливість врахування всіх особливостей геологічних умов будівельного майданчика.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Врахування особливостей взаємодії каркасних будівель та ґрунтової основи при виконанні геотехнічних розрахунків є важливим етапом під час проектування надземних

та фундаментних конструкцій будівель. Досвід розрахунків показує, що перерозподіл внутрішніх зусиль залежить від взаємодії всіх елементів системи «ґрунтова основа – фундамент - будівля» [1-5].

Дослідженнями впливу врахування ґрунтового середовища, його параметрів на перерозподіл напружень між елементами каркасу та формуванням деформацій осідання фундаментів займалися ряд науковців, серед яких А.О.Бартоломей, І.П.Бойко, Б.І.Далматов, Р.Катценбах та інші. Питання порівняння різноманітних підходів врахування ґрунтової основи при виконанні розрахунків спільної роботи будинку з ґрунтовою основою були висвітлені у наступних роботах:

Порівняння результатів розрахунку будівлі з різними варіантами моделювання ґрунтового середовища було виконано В.Носенком та О.Кашоїдою [5]. Висвітлено результати порівняння напружено-деформованого стану систем «основа – фундаменти – надземні конструкції», що були змодельовані різними способами: без врахування основи, за допомогою коефіцієнтів жорсткості основи, та шляхом моделювання ґрунтового масиву об'ємними скінченними елементами.

Дослідження І.Жупаненко [2] присвячено аналізу достовірності різних методик визначення коефіцієнтів постелі при різних варіантах ґрунтових умов.

У науковій праці В.Носенка та О.Кашоїди [4] представлено результати порівняння напружено-деформованого стану вертикальних елементів каркасу монолітного будинку, в залежності від методу моделювання ґрунтового середовища та паль.

## МЕТА РОБОТИ

Метою виконаного дослідження є аналіз перерозподілу зусиль в несучих конструкціях з врахуванням осідання фундаментів нових опор за результатами числового моделювання взаємодії елементів системи «ґрунтова основа-фундамент-будівля».

Об'єктом дослідження є адміністративний будинок з надбудовою та прибудовою нежитлових приміщень, що підлягає реконструкції. Предметом дослідження є

напружено-деформований стан фундаментів будинку в умовах реконструкції. Науковою новизною можна назвати наступні елементи дослідження:

- застосовано методу вибору оптимального організаційно-технологічного рішення при реконструкції будівлі з використанням просторової візуалізації, що дозволяє побудувати профіль ефективного вирішення.
- встановлено, що такий підхід дозволяє оцінити обране поєднання чинників, порівнюючи його з іншими варіантами, вибірково змінюючи вплив одного або декількох параметрів. Просторова візуалізація дозволяє звести важкий процес врахування різноманітних чинників впливу до перебору варіантів з миттєво оцінюваним результатом (візуальне представлення складних геометричних форм, деталізація стикування окремих елементів).
- проаналізовано зміну внутрішніх зусиль у несучих конструкціях металевих каркасів за даними числового моделювання з врахуванням впливу ґрунтової основи, який проявляється у виникненні нерівномірних переміщень баз колон.
- встановлено, що врахування деформації основи фундаментів суттєво впливає на напружений стан надземних конструкцій каркасних споруд, що дозволяє підвищити надійність всіх елементів каркасу.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

За проектом реконструкції будівлі (рис.1) з надбудовою і прибудовою нежитлових приміщень передбачено демонтаж покрівлі одноповерхового павільйону, і влаштування відповідних рівнів ярусів перекриттів (рис.2-3).

Загалом будівля до реконструкції складається з трьох архітектурних будівельних об'єктів: двоповерхова цегляна будівля з горищем (з мансардним поверхом) і підвалом, двоповерхова частина з горищем (мансардним поверхом) та прибудований павільйон.

Конструктивна схема прибудови - просторовий металевий каркас, стовпчасті фундаменти, металеві балки покриття. Каркас має кілька ярусів. Проектом також

передбачено перепланування основної будівлі.



Рис.1. Будівля до реконструкції, головний фасад

Fig.1. Building before reconstruction, the main facade

Ідея реконструкції будівлі полягає у тому, щоб максимально зберегти існуючі будівельні конструкції павільйону із металевим каркасом для подальшого використання, створити повноцінний третій поверх в осях «1-10», «Б-К» і прибудувати триповерхову будівлю з нежитловими приміщеннями в осях «1-10», «К-Л»; «1-2», «Е/1-К» (рис.4).

Реалізація поставленої задачі при реконструкції досягається через створення складної просторової конструктивної схеми надбудови з прибудовою таким чином, що металевий каркас є єдиним просторовим остовом надбудови і прибудов, а також об'єднаний із цегляною частиною існуючої будівлі по осі «3», в осях «В-Ж»

Просторова жорсткість каркасу забезпечується просторовою роботою металевих каркасів (колони, ферми, балки, вертикальні і горизонтальні в'язі), а також його взаємозв'язком з існуючою будівлею, яка має чарункову структуру з цегляних стін. Взаємозв'язок по осі «3» відбувається через вузли обпирання ферм на монолітний залізобетонний пояс, влаштований по цегляній стіні та через балки по осі «В».

Відповідно до схеми фізико-географічного районування України територія досліджень належить до Лісостепової зони Київської височинної області. В геоморфологічному відношенні ділянка вишукувань знаходиться в межах балки, що впадає в долину річки Либідь. Рельєф ділянки похилий, упо-



Рис.2. Фасади будівлі до реконструкції (а) та після (б)  
 Fig.2. Facades of the building before reconstruction (a) and after (b)

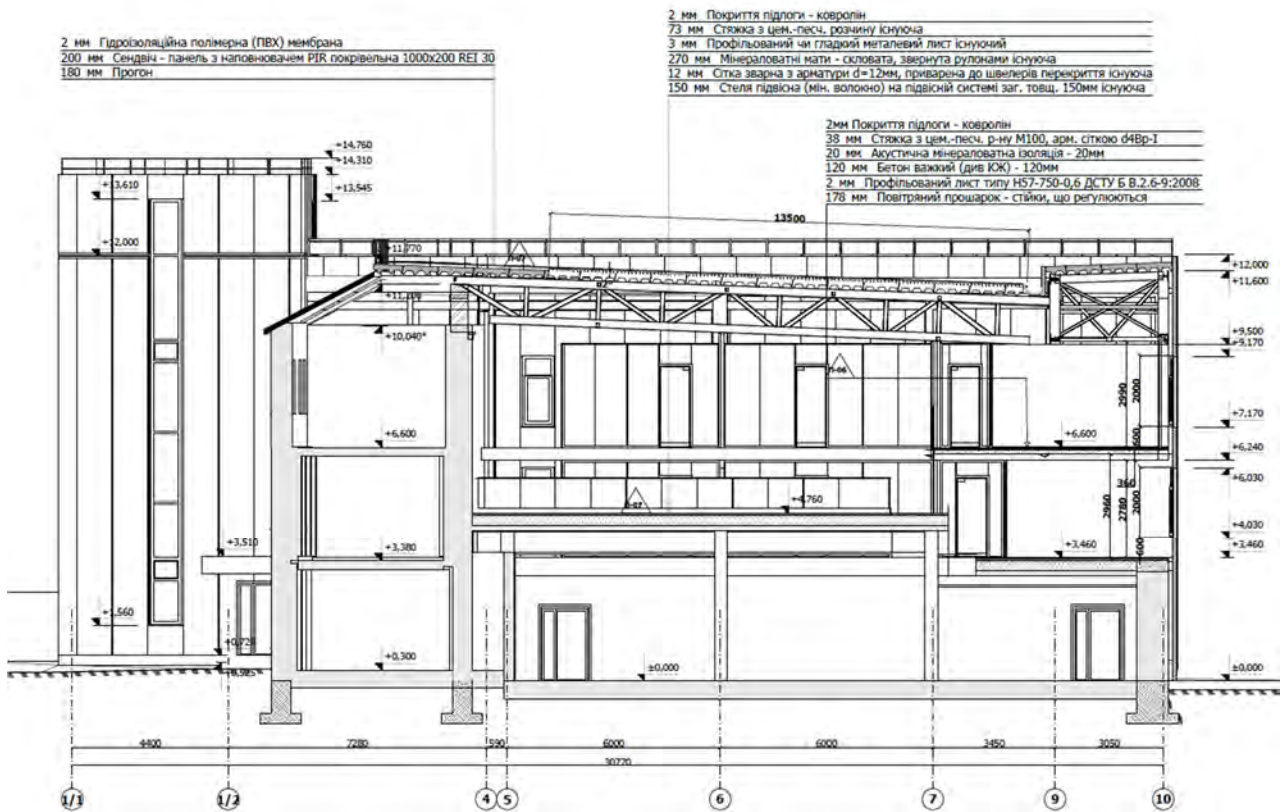


Рис.3. Розріз будівлі після реконструкції  
 Fig.3. Section of the building after reconstruction

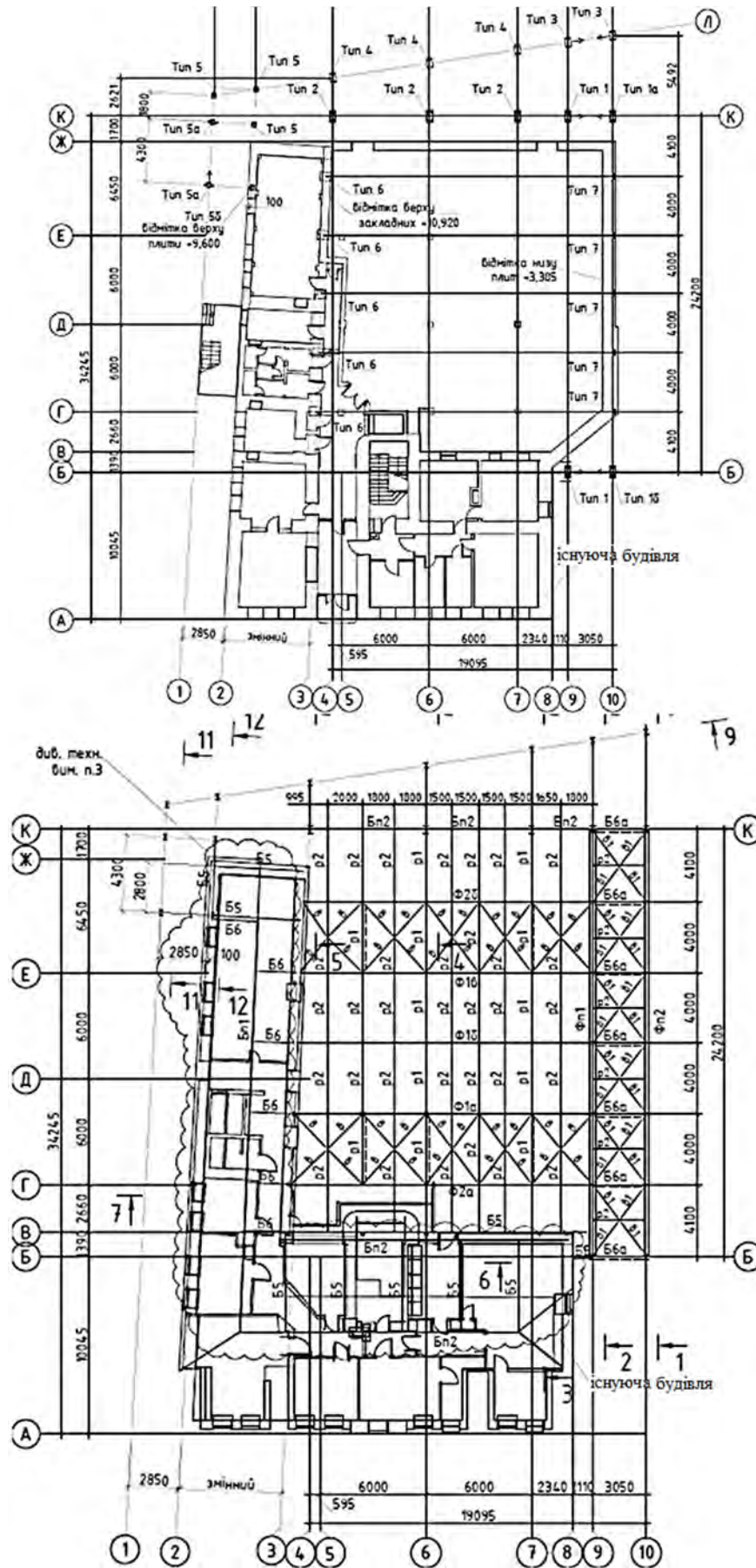


Рис.4. Схема розташування баз колон та металевих конструкцій по верхнім поясам ферм  
 Fig.4. The layout of the bases of the columns and the metal structures on the upper belts of trusses

рядкований (спланований насипними грунтами, характеризується коливанням умовних висотних відміток в середньому 117,00-118,64 м (рис.4).

В геоструктурному відношенні досліджувана територія розташована в межах північно-східної частини Українського кристалічного масиву. Будова верхньої частини земної кори двоповерхова. Нижнім структурним поверхом є архей-протерозойський кристалічний фундамент, верхній – мезокайнозойський осадовий чохол, який залягає на денудованій поверхні фундаменту, що має загальний пологий нахил у північно-східному напрямі.

Тектонічний режим характеризується повільними диференційними вертикальними висхідними і низхідними рухами земної кори. В сучасних умовах це не спричиняє особливих змін поверхні.

Пробуреними до глибини 8,0 м свердловинами встановлено, що геологічний розріз ділянки складений верхньо-неоплейстоценовими делювіальними відкладами балки, що літологічно представлені піщанистими супісками, з прошарками і лінзами пісків та мілкими пісками, з прошарками супісків. З поверхні відклади перекриті шаром насипних грунтів, що представлені, в основному, піщанистими супісками з включеннями будівельного сміття 10-30% (рис.5).

Гідрогеологічні умови ділянки, на розвідану глибину (8,0м.) характеризуються наявністю витриманого горизонту ґрунтових вод. Рівень водоносного горизонту ґрунтових вод в період вишукувань зафіксований на глибинах 5,60-6,10м, що відповідає умовним відміткам 112,36-112,76 м. Живлення горизонту ґрунтових вод відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, не виключена також техногенна складова живлення. Режим ґрунтових вод не постійний, залежить від пори року та кількості опадів. В періоди танення великої кількості снігу, чи рясних, тривалих злив рівень горизонту може бути вищим до 0,5 м. від рівня зафіксованого під час вишукувань

По номенклатурному виду, складу, стану та фізико-механічним характеристикам на території ділянки вишукувань виділено

п'ять інженерно-геологічних елементів, детальний опис яких наведено в умовних позначках до інженерно-геологічного розрізу (табл.1, рис.5)

Ділянка вишукувань знаходиться в стійкому стані. Негативні інженерно-геологічні процеси і явища не спостерігаються. Категорія ґрунтів за сейсмічністю –II. По сукупності факторів територія вишукувань належить до II-ї (середньої) категорії інженерно-геологічних умов. Негативні інженерно-геологічні процеси і явища не спостерігаються. В процесі реконструкції та подальшої експлуатації будівлі значних змін інженерно-геологічних умов не очікується.

За роки експлуатації будівлі та павільйону в їх конструкціях виниклим пошкодження, що можна класифікувати наступним чином:

- вертикальні тріщини із шириною розкриття до 4 мм на фасадах основної будівлі, що виникли через нерівномірні деформації основи фундаментів в т.ч. при прокладанні ліній метрополітену, а також при будівництві та реконструкції транспортних розв'язок на Московській площі;
- морозобійне руйнування оздоблення та кладки зовнішніх стін на глибину до 2 см;
- поверхнева корозія металевих колон в зоні примикання до фундаментів.

Вказані пошкодження впливають переважно на довговічність конструктивних елементів та загальну жорсткість будівлі.

Характеристика технічного стану основних конструктивних елементів за даними обстеження:

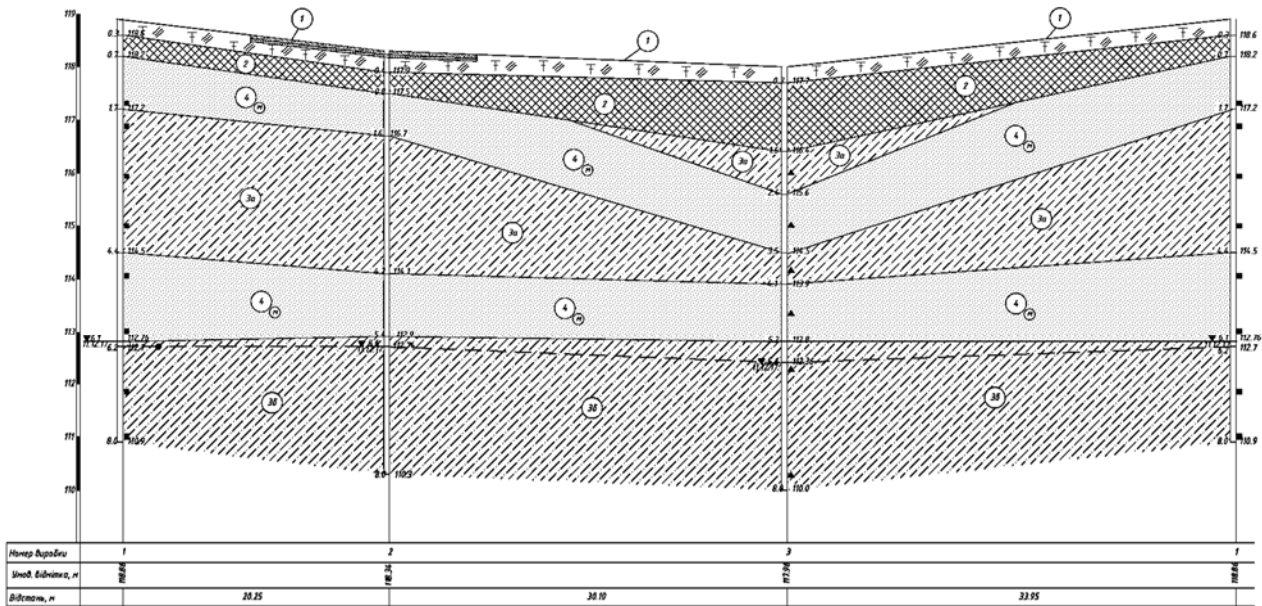
- Фундаменти монолітні залізобетонні, окремостоячі неглибокого закладання на природній основі. Проектним рішенням передбачене влаштування фундаментів розмірами 1,5x1,5 м під середні несучі колони та 1,2x1,2 м під крайні несучі колони. Зовнішні огорожувальні конструкції зведені на фундаментних балках. Основою фундаментів служать ІГЕ - 3а (супісок піщанистий з прошарками і лінзами пісків). Для встановлення відповідності параметрів фундаментів проектним рішенням було розроблено шурфи. За результатами обстеження було встановлено, що параметри існуючих фундаментів та їх

армування відповідають проектним рішенням. Технічний стан фундаментів в шурфах - задовільний.

- Колони - металеві. Виконані із прокатних профілів (два швелери №24, переріз «коробка»). Основні пошкодження - це поверхнева корозія металу в зоні примикання до фундаментів.
- Покриття - плоске рулонне по плоским азбоцементним листам. Рулонний килим укладений на плоскі азбоцементні листи. Ці

листи спираються на жорсткий мінераловатний утеплювач, укладений по профлисту. Під профлистом влаштовано шар утеплювача товщиною до 150 мм, який укладений на пароізоляцію та арматурну сітку. Ознак протікання покрівлі не зафіксовано. Технічний стан задовільний.

За результатами аналізу проекту і перевірок розрахунків існуючого стану балок покриття до реконструкції було встановлено:



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Стратиграфічні

Літологічні

- т Н техногенні відклади
  - 1 Асфальт на щєбні
  - 2 Грунтово-рослинний шар: дерн, суглинок чорний, гумусований
  - 3а Насипний ґрунт: супісок піщанистий, сірий, темно-сірий, перемішаний з жовто-сірим, злеганий, з включенням будівельного сміття від 10 до 30%
  - 3б Супісок піщанистий, бурий, жовто-бурий, жовто-сірий, з частими прошарками і лінзами пісків, твердий і пластичний (I<sub>L</sub> - 0.5 д. о.)
  - 4 Супісок піщанистий, бурий, жовто-бурий, жовто-сірий, з частими прошарками і лінзами пісків, пластичний (I<sub>L</sub> - 0.5 д. о.)
  - 4 Пісок м'який, жовто-сірий, світло-жовтий, середньої щільності, з тонкими лінзами і прошарками супісків, мало-середнього ступеня водонасичення
- Неоплейстацен. Верхня ланка РIII-Н
- д РIII делювіальні відклади

Консистенція глинистих ґрунтів		Ступінь вологості піщаних ґрунтів
глин і суглинків	супісків	
тверда	тверда	мало-го ступеня водонасичення
напівтверда		
тугопластична		
м'якопластична	пластична	середнього ступеня водонасичення
текуча	текуча	насичений водою

Інші

- Глибина залягання та умовна відмітка усталеного рівня ґрунтових вод  
Дата заміру
- Глибина та умовна відмітка підшви шару чи забоя виробки.
- Точка відбору ґрунту з не порушеною структурою
- Точка відбору ґрунту з порушеною структурою
- Місце відбору проби води
- Номер інженерно-геологічного елемента

Рис.5. Інженерно-геологічний розріз майданчика  
Fig.5. Geological conditions of the construction site

Табл. 1. Фізичні характеристики ґрунтів будівельного майданчика  
 Table 1. Physical characteristics of soils of the construction site

ІГЕ	Характеристика інженерно-геологічного елемента (ІГЕ)	Геологічний індекс				Гранулометричний склад, % фракції, мм		Продовна вологість, W	Вологість на межі		Число пластичності I <sub>p</sub>	Показник текучості I <sub>L</sub>	Щільність часток ґрунту, ρ <sub>s</sub> г/см <sup>3</sup>	Щільність ґрунту, ρ г/см <sup>3</sup>	Щільність сухого ґрунту, ρ <sub>d</sub> г/см <sup>3</sup>	Коефіцієнт пористості, e	Коефіцієнт водонасичення, S <sub>r</sub>	Коефіцієнт фільтрації К <sub>f</sub> , м/добу	Кут внутрішнього тертя, φ°	Лиме зв'язання с, К <sub>л</sub>	Модуль деформації E, МПа	Розрахункові значення					
		Пісок	Пісок Пил	Глина	>0,1	текучості, W <sub>L</sub>	розкучудання, W <sub>p</sub>		ρ <sub>L</sub>	ρ <sub>H</sub>												α=0,85		α=0,95			
																						ρ <sub>L</sub>	φ <sub>L</sub>	с <sub>L</sub>	ρ <sub>L</sub>	φ <sub>L</sub>	с <sub>L</sub>
1	ґрунтово-рослинний шар	Не нормуються																									
2	Насипний ґрунт																										
3а	Супісок піщанистий, бурий, жовто-бурий, живто-сірий, з частими прошарками і лізмами пісків, твердий і пластичний (IL < 0.5 д.о.)	ІН						0,130	0,15	0,12	0,03	0,32	2,65	1,83	1,62	0,64	1,054	1,100	26	15	21	1,81	26	15	1,81	24	12
3б	Супісок піщанистий, бурий, жовто-бурий, живто-сірий, з частими прошарками і лізмами пісків, пластичний (IL < 0.5 д.о.)	PPII-H						0,170	0,18	0,15	0,03	0,66	2,65	1,91	1,63	0,625	0,72	1,100	24	13	18	1,89	24	13	1,88	22	10
4	Пісок м'який, жовто-сірий, світло-жовтий, середньої щільності, з тонкими лізмами і прошарками супісків, малоого-середнього ступеню водонасичення.	PPII-H						0,080					2,65	1,77	1,62	0,633	0,35	5,500	33	2	28	1,75	33	2	1,74	30	1



- існуюче покриття виконане без бетону;
- із врахуванням експлуатації існуюче покриття як площадки для відпочину несуча здатність металевих балок покриття (головних і другорядних) забезпечена.

За даними перевірочних розрахунків конструкцій після реконструкції було прийнято наступні конструктивні рішення та концепції: каркас надбудови металевий, перекриття із монолітного залізобетону по профлисту, легкі підлоги (лінолеум, ламінат по плиті без вирівнюючих стяжок), покриття експлуатоване ( $150 \text{ кг/м}^2$ ).

Перевірочні розрахунки показали, що:

- ґрунтова основа і конструкція фундаментів дозволяють виконати надбудову одним поверхом без підсилення. При надбудові двома поверхами необхідне підсилення фундаментів крайніх рядів А/3, А/4, Б/5 В/5 (ділянки з вантажною площею  $18 \text{ м}^2$ ), фундаменти середніх рядів підсилення не потребують (при умові, що в осях 3-4/Б-В залишиться ліхтар в межах 2 і 3 надбудованого поверхів). В іншому випадку необхідне буде підсилення фундаментів середніх рядів
- балки існуючого покриття, які будуть слугувати несучими елементами міжповерхового перекриття після реконструкції, необхідно підсилювати (наприклад, існуючі балки взяти «в коробку» із швелерів №20), також і вузли примикання до колон.
- колони і анкерні кріплення до фундаментів потрібно перевіряти розрахунком після архітектурної концепції і прийнятих конструкцій перекриття і покриття.

На основі проведеного дослідження та виконаних перевірочних розрахунків була встановлена можливість реконструкції павільйону з надбудовою.

Для фундаментних конструкцій існуючих несучих елементів будинку було виконано перевірку несучої здатності ґрунтової основи та величини осідання. Виконані розрахунки показали, що значення сумарної деформації ґрунтової основи для всіх існуючих фундаментів будівлі не перевищує граничне за вимогами чинних нормативних документів. Таким чином, ґрунтова основа може бути розрахована за деформаціями за схемою лінійно-деформованого простору.

При розрахунку просторової роботи сталевих каркасу і ґрунтової основи та визначення їх взаємодії та впливу переміщень фундаментів та напружено-деформований стан сталевих конструкцій ґрунтова основа може бути змодельована за схемою лінійно-деформованого простору.

На етапі розробки проектних рішень та подальшої реалізації процесу будівництва на об'єкті реконструкції було застосовано 3D-візуалізацію з використанням «Tekla Structures» (рис.6), що значно полегшує роботу з підрядними організаціями та відчутно покращує ефективність організації процесів будівництва.

Тривимірні інформаційні моделі, створені за допомогою «Tekla Structures», для всіх учасників будівельних проектів виводять ефективність на новий рівень: інженери-конструктори, проектувальники, виробники металевих або залізобетонних конструкцій, підрядники та керівники проектів отримують доступ до моделей, що автоматично оновлюються, з необхідною насиченістю даними, які дозволяють кожному створювати, комбінувати, керувати і обмінюватися технологічною інформацією в режимі реального часу. Робота з деталізованою моделлю дозволяє всім учасникам будівельного проекту бачити усі його складові, виявляти та виправляти помилки ще на етапі проектування. Такий підхід дозволяє обійтися без переробок, непотрібних ризиків та непередбачених витрат під час будівництва. Використання інформаційної моделі забезпечує ефективний процес ВІМ, який значно покращує розуміння, допомагає приймати ефективні рішення, створювати досконаліші конструкції та формувати комерційну цінність.

Для об'єкту реконструкції було розроблено модель (рис.6) з використанням «Tekla Structures», яка деталізовано ілюструє всі складові елементи існуючої будівлі, а також вузли стикування існуючих елементів будинку та нових конструкцій, влаштування яких було заплановано на етапі реконструкції. Розроблену тривимірну модель сталевих каркасу прибудови після реконструкції представлено на рис.7.

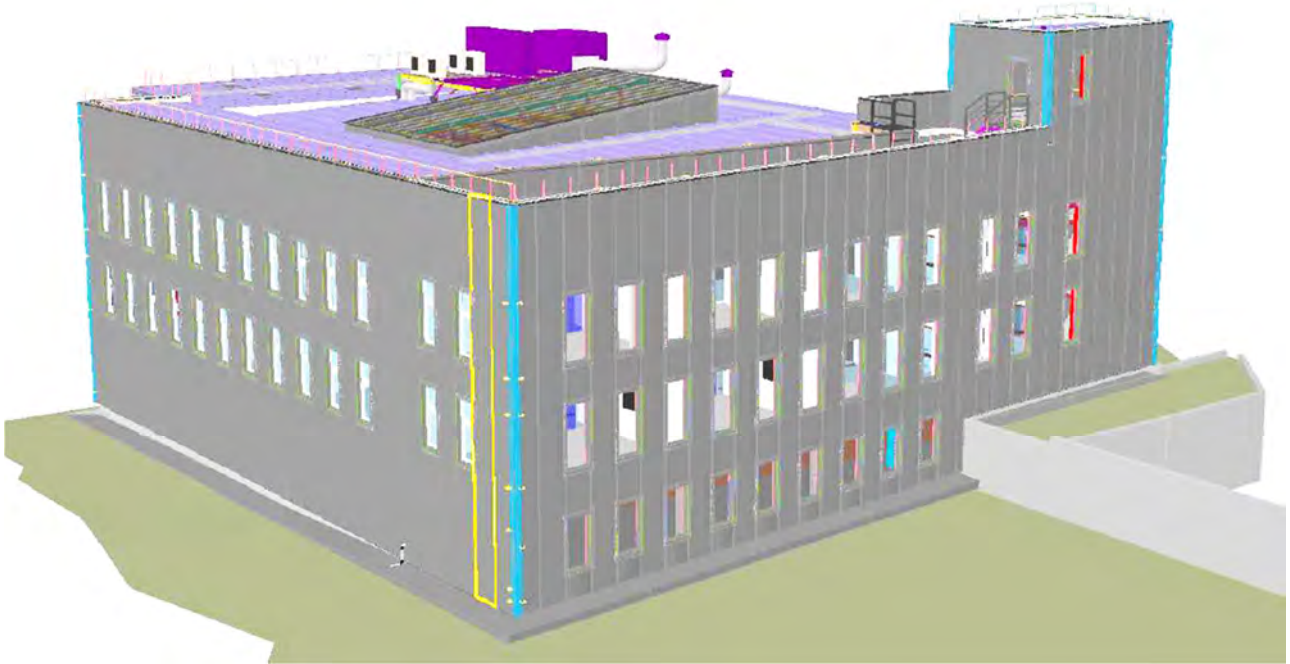


Рис.6. 3D-візуалізація будівлі після реконструкції з використанням «Tekla Structures»  
 Fig.6. 3D-visualization of the building after reconstruction using "Tekla Structures"

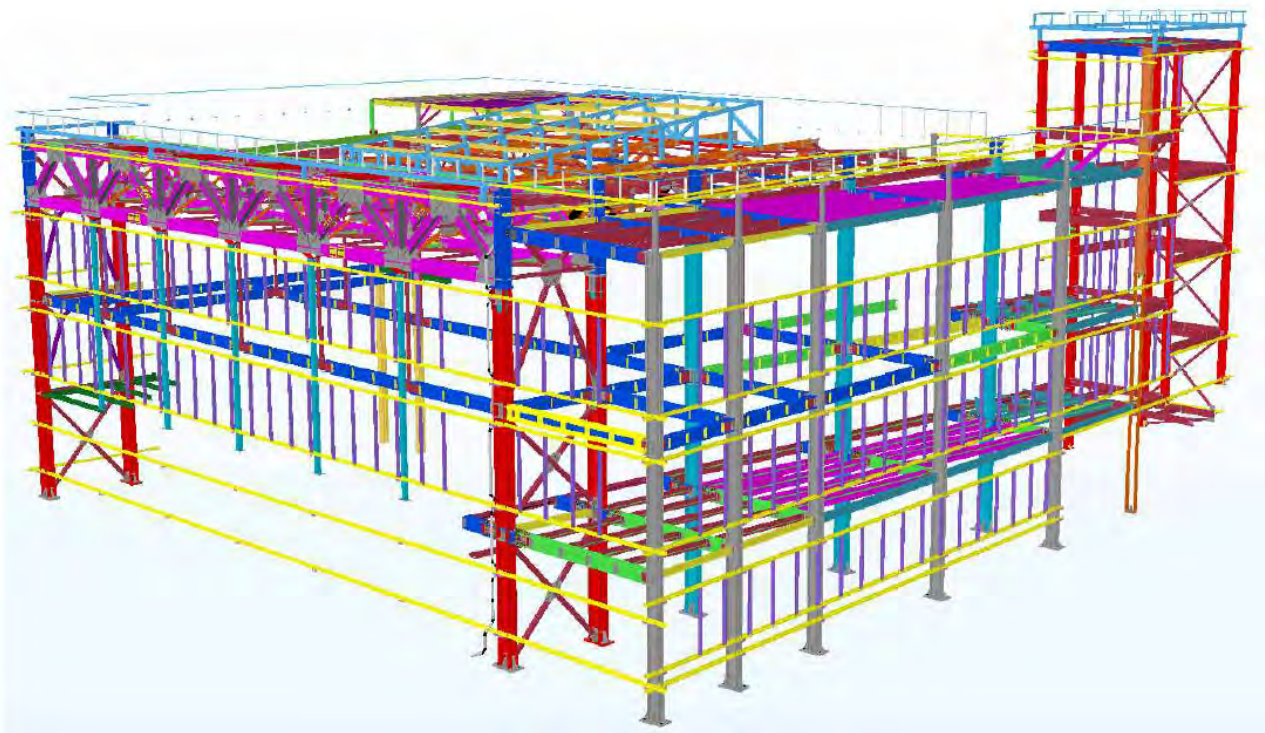


Рис.7. Модель металевого каркасу прибудови після реконструкції з використанням «Tekla Structures»  
 Fig.7. Model of a metal framework of an extension after reconstruction with use of "Tekla Structures"

Під час реконструкції будинку було заплановано розробку котловану та влаштування монолітних залізобетонних фундаментів під бази колон металевого каркасу прибудови. Отримання напружено-

деформованого стану несучих конструкцій існуючої частини будинку та нових додаткових елементів було реалізовано шляхом комп'ютерної симуляції взаємодії всіх елементів будівлі з ґрунтовим масивом.

Для реалізації поставлених задач дослідження було виконано розрахунки спільної роботи будинку з ґрунтовою основою шляхом числового моделювання з використанням ПК ЛІРА. Скінчено-елементна модель, що була розроблена для виконання досліджень представлена на рис.8.

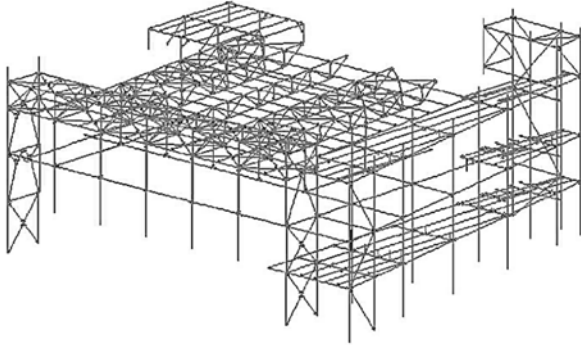


Рис.8. Скінчено-елементна модель каркасу прибудови (ПК ЛІРА)

Fig.8. Finite element model of the extension frame (PC LIRA)

За результатами просторового розрахунку металевого каркасу в програмному комплексі ЛІРА-САПР без врахування осідання опор було встановлено, що перший граничний стан (міцність, стійкість елементів) і другий (експлуатаційна придатність, прогини і переміщення) граничний стан для всіх елементів металевого каркасу забезпечені. Зусилля у основних несучих елементах не перевищують значень зусиль, вказаних у таблицях в проектній документації.

На наступному етапі було виконано дослідження впливу взаємодії каркасу з ґрунтовим масивом (табл.2). Аналіз виконаних розрахунків стосовно дослідження впливу врахування осідання опор на перерозподіл внутрішніх зусиль у елементах металевого каркасу прибудови наведено у вигляді графіків (рис.9), які ілюструють величину приросту внутрішніх зусиль у несучих конструкціях каркасу.

Аналіз результатів підтверджує суттєво тривимірний характер напружено-деформованого стану конструкцій каркасу, що підтверджує необхідність виконання розрахунків з врахуванням впливу ґрунтової основи фундаментів будинку.

За результатами розрахунків (табл.2)

було зафіксовано збільшення поздовжнього зусилля  $N$  у окремих елементах металевого каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 10...45%. При цьому збільшення зусиль в елементах за абсолютною величиною не перевищує 21 т. У елементі каркасу №4024 збільшення зусилля прогнозується у 13 разів. У елементі №4310 відбулася зміна знаку зусилля на протилежний.

Було виявлено збільшення крутного моменту  $M_k$  в окремих елементах металевого каркасу, що складає в середньому в 10...40%. При цьому збільшення зусиль за абсолютною величиною не перевищує 0,004 т\*м. У елементах №4011, 4041, 4274, 4285, 4315, 4316, відбулася зміна знаку зусилля на протилежний. У елементах каркасу №4288, 4289 збільшення зусилля прогнозується у 4 рази.

Дослідження показало збільшення згинального моменту  $M_y$  в деяких елементах металевого каркасу прибудови в діапазоні 15...50%. При цьому збільшення зусиль за абсолютною величиною не перевищує 1,5 т\*м. У елементах №4273, 4277, 4281, 4282, 4309, 4314, 5810, 5819, відбулася зміна знаку зусилля на протилежний. У елементі каркасу №4314 збільшення зусилля прогнозується до 8 разів.

Аналіз результатів показав збільшення поперечного зусилля  $Q_z$  у окремих елементах металевого каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 5...60%. При цьому збільшення зусиль за величиною не перевищує 0,9 т. У елементах №4273, 4274, 4277, 4281, 4282 відбулася зміна знаку зусилля на протилежний. У елементі каркасу №4314 збільшення зусилля очікується до 4 разів.

Було отримано збільшення згинального моменту  $M_z$  у окремих елементах металевого каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 5...45%. При цьому збільшення зусиль за абсолютною величиною не перевищує 0,4 т\*м. У елементах №4012, 4277, 4279, 4301 відбулася зміна знаку зусилля на протилежний. У елементі каркасу №4271 збільшення зусилля прогнозується у 84 рази.

Порівняння результатів виявило збільшення поперечного зусилля  $Q_y$  у окремих елементах металевого каркасу, яке знахо-

Табл.2. Значення внутрішніх зусиль в несучих елементах каркасу (вибірково)  
 Table 2. The internal effort's values in bearing elements of the frame (part)

№ елем	Внутрішні зусилля в несучих елементах каркасу											
	без врахування осідання опор						з врахуванням осідання опор					
	<i>N</i>	<i>M<sub>k</sub></i>	<i>M<sub>y</sub></i>	<i>Q<sub>z</sub></i>	<i>M<sub>z</sub></i>	<i>Q<sub>y</sub></i>	<i>N</i>	<i>M<sub>k</sub></i>	<i>M<sub>y</sub></i>	<i>Q<sub>z</sub></i>	<i>M<sub>z</sub></i>	<i>Q<sub>y</sub></i>
	(Т)	(Т*М)	(Т*М)	(Т)	(Т*М)	(Т)	(Т)	(Т*М)	(Т*М)	(Т)	(Т*М)	(Т)
3995	78,941	0,002	0,005	0,027	-1,468	-0,639	68,685	0,002	0,011	0,028	-1,136	-0,346
3996	95,762	0,003	0,049	0,027	-0,418	0,222	87,243	0,003	0,057	0,028	-0,525	0,199
3997	95,766	0,003	0,089	0,027	-0,66	0,1	87,248	0,003	0,1	0,028	-0,733	0,078
3998	99,404	0,003	0,112	0,027	-0,718	0,303	93,244	0,003	0,126	0,028	-0,758	0,211
3999	99,545	0,003	0,176	-0,057	-1,067	-0,221	93,379	0,003	0,194	-0,064	-0,967	-0,067
4000	72,868	-0,002	0,068	-0,057	-0,538	0,241	69,548	-0,001	0,076	-0,064	-0,716	0,119
4007	-95,159	0,002	-0,889	0,5	-0,644	0,958	-107,52	0,002	-0,852	0,45	-0,339	1,281
4008	-95,086	0,002	-0,161	0,526	-0,515	0,871	-107,44	0,002	-0,2	0,598	-0,695	0,658
4009	-104,46	0,003	0,654	-0,733	-0,385	1,048	-119	0,004	0,723	-0,811	-0,244	1,259
4010	-104,39	0,003	-0,46	0,654	-0,522	1,238	-118,93	0,003	-0,511	0,738	-0,695	1,053
4012	-92,908	0,007	-0,378	0,245	-0,516	0,892	-110,12	0,007	-0,47	0,341	-0,726	0,705
4052	64,991	0,001	0,135	0,029	-0,281	0,093	65,912	0,001	0,145	0,03	-0,301	0,076
4053	64,995	-0,001	0,198	-0,077	-0,382	-0,075	65,916	-0,001	0,212	-0,083	-0,379	-0,06
4270	-121,81	-0,001	0,398	-0,511	-0,087	1,331	-127,71	-0,003	0,44	-0,291	-0,104	1,316
4271	-110,6	-0,001	-0,644	0,603	-0,002	0,832	-117,98	-0,001	-0,151	0,417	-0,167	0,707
4273	-139,65	0,003	-0,479	0,587	-0,085	1,668	-144,3	0,006	-0,625	-0,348	-0,038	1,668
4274	-129,92	0,002	0,724	-0,71	-0,441	0,562	-144,28	-0,004	-1,338	0,164	-0,667	0,335
4285	-202,63	0,002	-0,696	0,786	-0,81	1,726	-217,22	-0,004	-1,009	0,79	-0,584	1,971
4286	-199,44	-0,002	0,873	-0,749	-1,028	0,713	-214,8	-0,005	0,57	-0,745	-1,305	0,478
4287	-220,83	-0,002	-0,624	1,291	-1,626	0,849	-234,63	-0,005	-0,92	1,353	-1,434	1,035
4288	-219,6	-0,001	1,959	-1,25	-2,668	-0,145	-232,48	-0,004	1,786	-1,268	-2,896	-0,33
4289	-186,43	-0,001	-0,542	0,964	-1,552	0,15	-197,07	-0,004	-0,749	1,167	-1,413	0,319
4290	-190,92	-0,001	1,389	-0,975	-2,919	-0,591	-201,19	-0,001	1,588	-1,136	-3,012	-0,68
4314	-88,765	0,002	0,2	-0,199	-0,181	0,654	-84,276	0,002	-0,026	-0,761	-0,299	0,502
4321	-137,93	-0,001	-0,308	0,419	-1,238	0,117	-133,42	-0,001	-0,209	0,319	-1,129	0,228
4322	-84,539	-0,001	0,531	-0,347	-0,769	0,051	-83,336	-0,001	0,429	-0,467	-0,88	0,009
4323	-77,11	-0,002	-0,163	0,171	-0,483	0,189	-77,897	-0,002	-0,506	0,31	-0,507	0,192
5806	70,524	0,001	-0,013	0,321	3,363	1,045	63,522	0,003	-0,015	0,288	3,744	1,133
5807	70,526	0,001	0,646	-0,315	1,436	0,793	63,525	0,003	0,576	-0,281	1,637	0,891
5817	177,31	0,002	1,263	0,631	-1,004	0,555	165,53	0,003	1,063	0,532	-0,978	0,591
5818	177,31	0,002	-1,835	-1,549	-1,762	0,252	165,53	0,003	-2,121	-1,592	-1,813	0,291
5827	223,53	0,002	-1,834	1,71	-1,472	0,29	215,43	0,001	-2,12	1,735	-1,525	0,275
5828	223,53	0,002	1,586	-1,319	-1,793	-0,014	215,43	0,001	1,349	-1,259	-1,818	-0,028
5837	219,51	-0,002	-1,052	1,304	-1,718	0,085	215,14	-0,002	-1,17	1,281	-1,777	0,057
5838	219,51	-0,002	1,557	-1,313	-1,632	-0,22	215,14	-0,002	1,392	-1,126	-1,636	-0,248
5847	163,18	-0,003	-1,07	1,125	-1,901	-0,285	160,8	-0,005	-0,862	0,968	-2,045	-0,356
5848	163,18	-0,003	1,181	-1,076	-1,078	-0,588	160,8	-0,005	1,075	-1,241	-1,082	-0,659
5857	57,774	-0,001	-0,689	-0,336	-0,742	0,269	57,414	-0,002	-0,705	-0,344	-0,776	0,286
5858	57,775	-0,001	-0,689	0,81	-0,718	0,226	57,415	-0,002	-0,705	1,03	-0,754	0,247

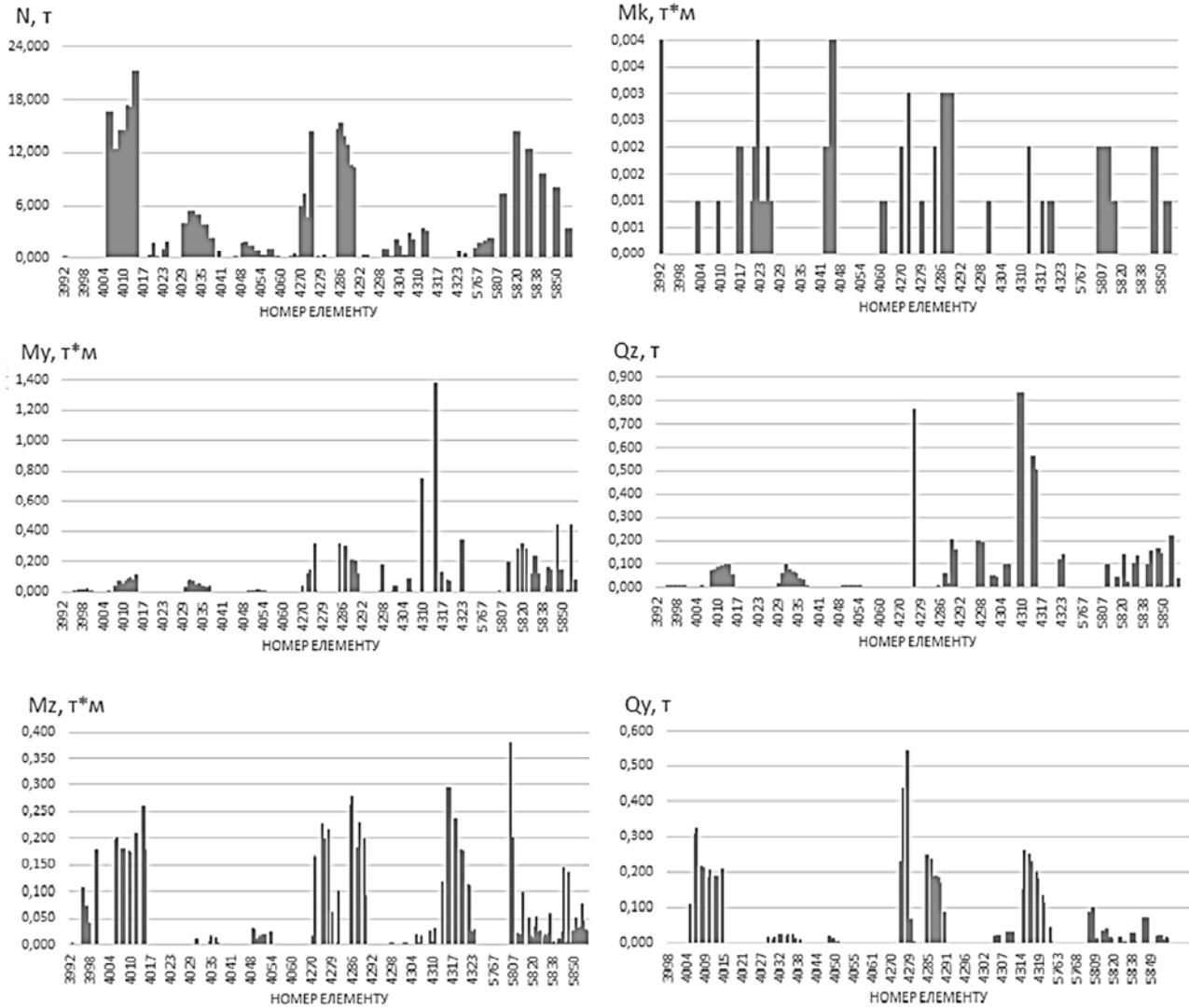


Рис.9. Графіки приросту зусиль при врахуванні осідання опор  
 Fig.9. Graphs of the increase in effort taking into account the subsidence of the supports

диться в середньому в межах 9...52%. При цьому збільшення зусилля за величиною не перевищує 0,5 т. У елементах №4000, 4054, 4271, 4282, 4315, 5820 відбулася зміна знаку зусилля на протилежний. У елементі каркасу №4287 збільшення зусилля прогнозується до 10 разів.

Отже, результати проведеного дослідження доводять, що застосування числового моделювання та виконання комп'ютерних розрахунків з врахуванням осідання опор каркасу, з врахуванням взаємодії надземної частини каркасу будинку з ґрунтовою основою, суттєво впливає на перерозподіл внутрішніх зусиль у несучих конструкціях та дозволяє підвищити надійність проектних рішень.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз виконаних розрахунків для дослідження впливу ґрунтової основи на перерозподіл внутрішніх зусиль у елементах металевого каркасу прибудови показав:

- За результатами розрахунків зафіксовано збільшення поздовжнього зусилля  $N$  у окремих елементах каркасу, яке знаходиться в межах 10...45%. При цьому збільшення зусиль в елементах за абсолютною величиною не перевищує 21т.

- Зафіксовано збільшення крутного моменту  $M_k$  в окремих елементах металевого каркасу, що складає в середньому в 10...40%.

- Розрахунки показали збільшення згинального моменту  $M_y$  в деяких елементах металевго каркасу в межах 15...50%. При цьому збільшення зусилля за абсолютною величиною не перевищує 1,5 т\*м.

- Зафіксовано збільшення поперечного зусилля  $Q_z$  у окремих елементах металевго каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 5...60%. При цьому збільшення зусилля за величиною не перевищує 0,9 т.

- Отримано збільшення згинального моменту  $M_z$  у окремих елементах металевго каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 5...45%. При цьому збільшення зусилля за абсолютною величиною не перевищує 0,4 т\*м.

- Зафіксовано збільшення поперечного зусилля  $Q_y$  у окремих елементах металевго каркасу, яке знаходиться в середньому в межах 9...52%. При цьому збільшення зусилля за величиною не перевищує 0,5 т.

- Зафіксовано при виконанні розрахунків з врахуванням осідання опор випадки зміни знаку зусилля у окремих елементах каркасу на протилежний.

- Виконані розрахунки показали, що елементи каркасу дуже чутливо реагують на наявність нерівномірних осідань фундаментів опор.

- Аналіз результатів підтверджує суттєво тривимірний характер напружено-деформованого стану несучих конструкцій каркасу будинку, що потребує виконання розрахунків з врахуванням впливу ґрунтової основи фундаментів для підвищення надійності проектних рішень як фундаментних так і надземних конструкцій будинку.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С.Городецкий, И.Д.Евзеров. – Київ: ФАКТ, 2007. – 392с.
2. Жупаненко І. Чисельний аналіз методів розрахунку ґрунтової основи та методів визначення коефіцієнтів постелі / І.Жупаненко // *Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2020. – Вип. 41. – С. 64-71.
3. Кожанов Ю.А. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции с учетом основания / Ю.А.Кожанов, А.Г.Ефименко, В.А.Загильский, А.П.Якубенко // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – 2013. – №8 (185). – С. 42-47.
4. Носенко В. Вплив вибору моделі основи на напружено-деформований стан вертикальних несучих елементів монолітно-каркасного будинку / В.Носенко, О.Кашоїда // *Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2020. – Вип. 41. – С. 45-54.
5. Носенко В. Числове моделювання напружено-деформованого стану пальового фундаменту будинку з використанням різних моделей ґрунтової основи / В.Носенко, О.Кашоїда // *Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2019. – Вип. 38. – С. 34-43.

#### REFERENCES

1. Horodetskyi A., Evzerov Y. (2007). *Kompiuternye modeli konstruktseyi* [Computer models of structures], Kyiv: FAKT, 392 (in Russian).
2. Zhupanenko I. (2020). *Chyselnyi analiz metodiv rozrakhunku gruntovoi osnovy ta metodiv vyznachennia koefitsientiv posteli* [Numerical analysis of calculating methods of the soil base and methods of determining stiffness coefficients] *Osnovy ta fundamenty: Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Kyiv: KNUBA, 41, 64-71 (in Ukrainian).
3. Kozhanov Yu., Efymenko A., Zahylskyi V., Yakubenko A. (2013). *Analyz napriazhenno-deformirovannoho sostoianya zhelezobetonnoi konstruktseyi s uchetom osnovaniya* [Analysis of the stress-strain state of a reinforced concrete structure, taking into account the base] *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 8(185), 42-47 (in Ukrainian).
4. Nosenko V., Kashoida O. (2020). *Vplyv vyboru modeli osnovy na napruzhenno-deformovanyi stan vertykalnykh nesuchykh elementiv monolitno-karkasnoho budynku* [Influence of the base model choice on the stress-strain state of vertical load-bearing elements of a monolithic frame building] *Osnovy ta fundamenty: Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Kyiv: KNUBA, 41, 45-54 (in Ukrainian).
5. Nosenko V., Kashoida O. (2019). *Chyslove modeliuвання napruzhenno-deformovanoho stanu palovoho fundamentu budynku z vykorystanniam riznykh modelei gruntovoi osnovy*

[Numerical modeling of the stress-strain state of the pile foundation of the building using different models of the soil base] *Osnovy ta fundamenti: Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Kyiv: KNUBA, 38, 34-43 (in Ukrainian).

### **Reconstruction of an administrative building on clay soils**

*Veronika Zhuk,  
Oleksii Khomenko*

**Summary.** Along with new construction, the issue of reconstruction of existing buildings and structures in Ukraine remains relevant. The topical issue is to bring a significant number of previously erected buildings in line with today's requirements. Today, many buildings and structures for various reasons are in poor or emergency condition, are preserved or even abandoned. Some of them may get a second life after changing the purpose of the premises, expanding the area, increasing the number of floors, replacing load-bearing structures, etc. However, existing load-bearing structures often require partial or complete reinforcement due to physical wear or increased load after reconstruction. Ensuring reliable operation of buildings after reconstruction, meeting modern needs and requirements while preserving attractive historic facades is an urgent task for many facilities in our country and especially in the capital.

The study was performed on the example of a real object in Kyiv on the reconstruction of an administrative building with a superstructure and extension of non-residential premises. The reconstruction project provided for the redevelopment of the main building, which according to archival data was erected by the 1940s. The reconstruction project also provided for an increase in the number of floors in the pavilion, which was added in 2000. And also, the extension of non-residential premises was provided.

As part of the study, an analysis of the redistribution of forces in the load-bearing structures was performed, taking into account the subsidence of the foundations of new supports. The change of internal forces in the load-bearing structures of the metal frame was analyzed according to numerical simulations taking into account the influence of the soil base, which is manifested in the occurrence of uneven movements of the bases of the columns.

The aim of the study is to analyze the redistribution of forces in the load-bearing structures, taking

into account the subsidence of the foundations of new supports based on the results of numerical modeling of the interaction of elements of the system "soil base-foundation-building". To realize this:

- the bearing capacity of the existing foundations was checked in the conditions of the house reconstruction;
- the combination of loading on the bases under new support according to results of spatial calculation of a metal framework of an extension is defined;
- the movement of the bases of the columns was determined to calculate the spatial work of the metal frame of the extension, taking into account the subsidence of the foundations;
- the analysis of redistribution of efforts in bearing designs is considered taking into account subsidence of the bases of new support.

It is established that taking into account the deformation of the foundation base significantly affects the stress state of the aboveground structures of frame structures, which increases the reliability of all elements of the frame.

**Key words.** Reconstruction, frame, settlement, efforts, numerical simulation, stress-strain state.