

НАУКОВА РОБОТА
НА ТЕМУ: «КОНСТРУКТИВНА БЕЗПЕКА МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ У
ДОВГОТРИВАЛІЙ ПЕРСПЕКТИВІ ЯК СКЛАДОВА БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ»

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Безпека життєдіяльності як мешканців житлових будівель, так і працівників промислових підприємств полягає у забезпеченні нормальних санітарно-гігієнічних умов у приміщеннях – температурно-вологісного режиму, опалення, вентиляції, освітлення тощо. Десятиліття тому в словнику інженерів з'явилося поняття «конструктивна безпека», яке перш за все відноситься до будівель і споруд, але саме від технічного стану останніх багато в чому залежить санітарно-гігієнічні умови в місцях тривалого знаходження людей, а також психологічна рівновага людей, які мають бути впевнені у непохитності несучих конструкцій стін, перекриття, інших конструкцій, справності технологічного обладнання.

Результати натурних досліджень деформацій об'єктів міської забудови говорять про особливості реакції масиву ґрунтів, які є основами для будівель і споруд, на тиск від їхньої ваги, що проявляються лише в тривалій перспективі. Через 40...80 років експлуатації об'єктів будівництва рівномірні та нерівномірні деформації основи, підйом середнього рівня ґрунтових вод та ін. призводять до порушення санітарно-гігієнічних умов і погіршення комфорту мешканців або працівників, загрози зупинення виробництва.

Оскільки ці явища не враховуються при плануванні забудови та проектуванні окремих об'єктів і, відповідно, заходи з інженерного захисту території не застосовуються, виникає необхідність у дослідженні та прогнозуванні вказаних процесів при будівництві нових споруд.

Таким чином, **метою** роботи є визначення залежності осідань ґрунтової основи від її складу та поверхневого тиску об'єктів міської забудови у часовій області (протягом їх нормативного терміну експлуатації).

У відповідності до поставленої мети, дослідження було спрямовано на вирішення наступних **завдань**: розглянути фізико-механічні характеристики ґрунтової основи при взаємодії із забудовою та визначити найвагоміші з них; проаналізувати й узагальнити особливості інженерно-геологічних і

гідрогеологічних умов забудованих територій м. Запоріжжя; розробити модель взаємодії ґрунтової основи із забудовою у часовій області.

Об'єкт дослідження – змінення характеристик ґрунтів при дії тиску від об'єктів міської забудови.

Предмет дослідження – інженерно-геологічні та деформаційні характеристики ґрунтів.

Методи дослідження. Структурно-логічний аналіз; історичний аналіз; порівняльний аналіз; багатофакторне регресивне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше проаналізовано та узагальнено дані обстежень технічного стану об'єктів забудови і прилеглих до них територій двох районів м. Запоріжжя на різних етапах їх експлуатації. Виявлено тенденції реологічних змін інженерно-геологічних і деформаційних характеристик ґрунтів, що є основами для будівель і споруд, зокрема рівня ґрунтових вод, рівномірних і нерівномірних осідань ґрунту. Визначено залежність осідань ґрунтової основи від її складу та поверхневого тиску від об'єктів міської забудови у часовій області.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність роботи полягає у впровадженні результатів у діяльність Державної установи «Запорізький обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України», екологічних установ і служб з охорони праці. Матеріали роботи впроваджені у навчальний процес кафедр прикладної екології та охорони праці та міського будівництва і господарства Запорізького національного університету.

Наукова робота включає 30 сторінок тексту, 6 рисунків, 4 таблиці, 14 використаних джерел посилання. Обсяг основного тексту – 30 сторінок.

КОНСТРУКТИВНА БЕЗПЕКА, МІСЬКА ЗАБУДОВА, ТРИВАЛА ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ, ҐРУНТОВА ОСНОВА, ПОВЕРХНЕВИЙ ТИСК.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 Проблематика механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи .	6
2 Фізико-механічні характеристики ґрунтової основи при взаємодії із збудовою	9
3 Особливості інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов збудованих територій м. Запоріжжя	13
4 Залежність змінення розрахункових параметрів ґрунтової основи від поверхневого тиску забудови у часовій області.	21
5 Розробка багатофакторної регресивної моделі та аналіз результатів її застосування	22
ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	29

ВСТУП

Безпека життєдіяльності як мешканців житлових будівель, так і працівників промислових підприємств полягає у забезпеченні нормальних санітарно-гігієнічних умов у приміщеннях – температурно-вологісного режиму, опалення, вентиляції, освітлення тощо. Десятиліття тому в словнику інженерів з'явилося поняття «конструктивна безпека», яке перш за все відноситься до будівель і споруд, але саме від технічного стану останніх багато в чому залежить санітарно-гігієнічні умови в місцях тривалого знаходження людей, а також психологічна рівновага людей, які мають бути впевнені у непохитності несучих конструкцій стін, перекриття, інших конструкцій, справності технологічного обладнання.

Результати натурних досліджень деформацій об'єктів міської забудови говорять про особливості реакції масиву ґрунтів, які є основами для будівель і споруд, на тиск від їхньої ваги, що проявляються лише в тривалій перспективі. Через 40...80 років експлуатації об'єктів будівництва рівномірні та нерівномірні деформації основи, підйом середнього рівня ґрунтових вод та ін. призводять до порушення санітарно-гігієнічних умов і погіршення комфорту мешканців або працівників, загрози зупинення виробництв. Оскільки ці явища не враховуються при плануванні забудови та проектуванні окремих об'єктів і, відповідно, заходи з інженерного захисту території не застосовуються, виникає необхідність у дослідженні та прогнозуванні вказаних процесів при будівництві нових споруд.

Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації засобів інженерного захисту територій, окремих об'єктів будівництва, прогнозування механічної реакції будівлі або споруди як єдиної конструкції протягом усього терміну експлуатації, а також для визначення планувально-функціонального призначення території.

1 Проблематика механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи

В умовах концепції сталого розвитку задачі планування та забезпечення розвитку міста є комплексними та містять, зокрема, екологічні, містобудівні, архітектурні, інженерно-будівельні, соціально-економічні та інші аспекти. Місто, як надскладна система, складається з багатьох систем і підсистем, які взаємодіють між собою та одночасно є взаємозалежними. Їх можна розділити на дві великі групи – природну та антропогенну містобудівні системи. Взаємні зв'язки всіх систем необхідно враховувати при вирішенні питань належної експлуатації та збереження існуючої забудови, а також містобудівного освоєння, розвитку та реконструкції території. При цьому важливими завданнями є визначення, аналіз ступеню впливу різноманітних факторів взаємодії природної та антропогенної систем та їх складових протягом всього часу використання й експлуатації території [1].

Особливо це стосується сформованих міст (зокрема історично), де одночасно з вищевказаними розв'язується задача реконструкції забудови та територій взагалі задля збільшення та модернізації житлового фонду, покращення санітарно-гігієнічних умов проживання людей, створення рекреаційних міських об'єктів, розміщення нових громадських закладів тощо за умов ефективного використання територій.

Сьогодні, наприклад, залишаються невирішеними питання комплексного містобудівного аналізу можливості нового будівництва на територіях з існуючою забудовою та його впливу на розташовані поруч будівлі та споруди з метою запобігання стрімкого погіршення їх технічного стану та суттєвого скорочення терміну експлуатації [2].

Містобудівний аналіз території, що передуює її освоєнню (збудові) або реконструкції має ставити за мету прогнозування наслідків [3] та ступеню їх впливу в довготривалій перспективі як на природні компоненти середовища, так і на антропогенні (будівлі та інженерні споруди, інші об'єкти архітектури). Тому забезпечення належної надійної експлуатації території слід закладати ще

на етапах планування містобудівного освоєння територій та їх інженерної підготовки з відображенням у генеральних планах, детальних планах територій, планах зонування та іншій містобудівній документації.

Саме багатовекторний прогнозний аналіз природних умов території, виходячи з їх особливостей, може надати можливість створити оптимальну функціонально-планувальну структуру міста з чітким розташуванням районів забудови хоча б на нормативний термін її експлуатації. В процесі такого аналізу досліджується вплив забудови міста та всього, що пов'язане з нею (антропогенної системи), на природні умови (природну систему), змінення природних умов в довгостроковій перспективі та, відповідно, реактивний вплив змінених природних умов на об'єкти забудови.

При зміненні природних умов території постає проблема стійкості природної системи міста під дією антропогенних факторів. Відповіді на питання, наскільки можна впливати на природну систему без суттєвого її змінення та які заходи інженерної підготовки слід застосовувати, щоб одночасно мінімізувати додаткове антропогенне навантаження на територію та максимально зберегти початкову стійкість природної системи.

Результатами прогнозування наслідків містобудівного освоєння територій може бути оцінка варіантів планувальних рішень і будівельного зонування, підбір варіантів інженерної підготовки з оцінкою витрат на захист території, а також оцінка економічних збитків при порушенні стійкості території в довгостроковій перспективі.

Стосовно реконструкції територій слід зазначити, що комплексній забудові більшості міст характерно непропорційний розвиток і незавершеність житлових районів і мікрорайонів. В сучасних умовах комплексна реконструкція міської забудови може бути важливою частиною вирішення задачі забезпечення житлом.

Теорія та методологія взаємодії природної та антропогенної систем при містобудівному освоєнні територій спрямована на розробку наукових основ і практичних рекомендацій, які об'єднували би в одну задачу весь комплекс

теоретичних, науково-технічних, інженерно-будівельних, екологічних і соціально-економічних питань, а також на вироблення рішення шляхом багатофакторного аналізу забудованих територій або таких, що тільки плануються до забудови, з метою їх комплексної реконструкції або забудови.

В рамках теорії, що розробляється, досліджуються фактори впливу в підсистемах «територія – нова забудова» та «територія – існуюча забудова – нове будівництво» та прогнозуються наслідки такої взаємодії, на основі яких в залежності від обсягів і ризиків впливу на стійкість міської території можна отримати масштаби та характеристики передбачуваної необхідної інженерної підготовки, а також виробити підходи до перспективного планування забудови та реконструкції груп будівель і оцінювання територіально-будівельних ресурсів. У процесі містобудівного проектування та територіального планування це дозволить планувати просторовий розвиток забудови, її щільність, оцінку потенційних територіальних ресурсів (мінімальних ділянок розміщення і максимальної висотності забудови) із збереженням існуючої забудови міста.

Концепція зонування міських територій може бути побудована на виявленні взаємозв'язків між характеристиками та особливостями території, забудови (існуючої або запланованої), передбаченого будівництва, заходів інженерної підготовки території, показниках стійкості території. Така концепція має бути основою перспективного планування освоєння або реконструкції міських територій з метою забезпечення їх раціонального використання та експлуатації, збереження та розвитку забудови, і має бути відображена у генеральних планах і проектах детального планування територій як основних документах, що визначають і вирішують задачі комплексного територіального планування.

При цьому необхідно проводити науково-технічний аналіз можливостей проведення забудови або реконструкції окремих ділянок міської території на основі створення та вдосконалення ефективних методів розрахунку і досліджень об'єктів міського будівництва, а також здійснення наступного

інженерно-будівельного супроводу заходів з інженерної підготовки міських територій та відповідним плануванням містобудівної діяльності.

Загалом це дозволить планувати і розвивати міську забудову та проектувати реконструкцію об'єктів існуючої забудови, здійснюючи перехід від проектування і будівництва окремих будівель і споруд до комплексного планування забудови та реконструкції кварталів, мікрорайонів і районів міста, забезпечуючи збереження нової та існуючої забудови у задовільному технічному стані та її безпечну експлуатацію впродовж як мінімум нормативного терміну.

Окрім використання результатів у практиці містобудування та територіального планування, теорія і методологія взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем може бути підґрунтям для подальших наукових досліджень і практичних розробок за напрямками розробки моделей процесів реконструкції міської забудови та містобудівного освоєння територій в цілому, обґрунтування містобудівних рішень з планування нової забудови та реконструкції існуючої, планування розвитку міста, здійснення оцінки наслідків містобудівних рішень з освоєння нових територій і реконструкції територій, що експлуатуються, на стадіях передпроектної проробки, вдосконалення нормативної бази планування забудови та реконструкції міських територій тощо.

2 Фізико-механічні характеристики ґрунтової основи при взаємодії із забудовою

В теорії взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем аналізується комплекс явищ і процесів, притаманних певній території, що розглядається [4].

Компоненти цих систем в процесі містобудівного освоєння або реконструкції міських територій знаходяться під впливом різноманітних факторів, які розділяються на активні та реактивні [5].

Фактори, які впливають на рівень стійкості природно-техногенної підсистеми містобудівної системи, виділені у [3], однак більш пізні дослідження (наприклад, [2]) показують необхідність розширення та уточнення первісного переліку чинників, часткового змінення їх взаємного зв'язку, а також перегляду ступеню їх дії на містобудівні системи (як природну, так і антропогенну) [1, 6, 7].

Крім того, раніше проводилися доволі вичерпні дослідження щодо прогнозування наслідків інженерної підготовки реконструкції міських територій зі щільною забудовою та складними геологічними умовами [2]. Однак процеси взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем розпочинаються при інженерній підготовці також нової території під забудову, при цьому відбиваються при подальшій експлуатації та розвитку міста, тому й задачі теорії взаємодії природної та антропогенної систем в процесі містобудівного освоєння територій більш ширші та всеохоплюючі.

Фактори взаємодії виражаються впливом на компоненти вказаних систем, які мають кожен власну характеристику. В цілому, схему та параметри взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем, яку можна звести до механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи, показано на рис. 1. Всі параметри підлягають наступній формалізації в єдиній задачі та є розрахунковими характеристиками математичної моделі механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи в залежності від мети розрахунку.

Розглянемо параметри механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи детальніше. Природна система характеризується рельєфом території, який визначається функцією криволінійної поверхні або координатами обраних точок поверхні, складом ґрунтів, кожен шар яких має власні межі та фізико-механічні характеристики. Межі шарів ґрунту визначаються координатами точок або функціями криволінійних поверхонь, фізико-механічні характеристики визначаються за результатами інженерно-геологічних вишукувань і розглядаються наступні:

E – модуль деформацій ґрунту, основна механічна характеристика, що

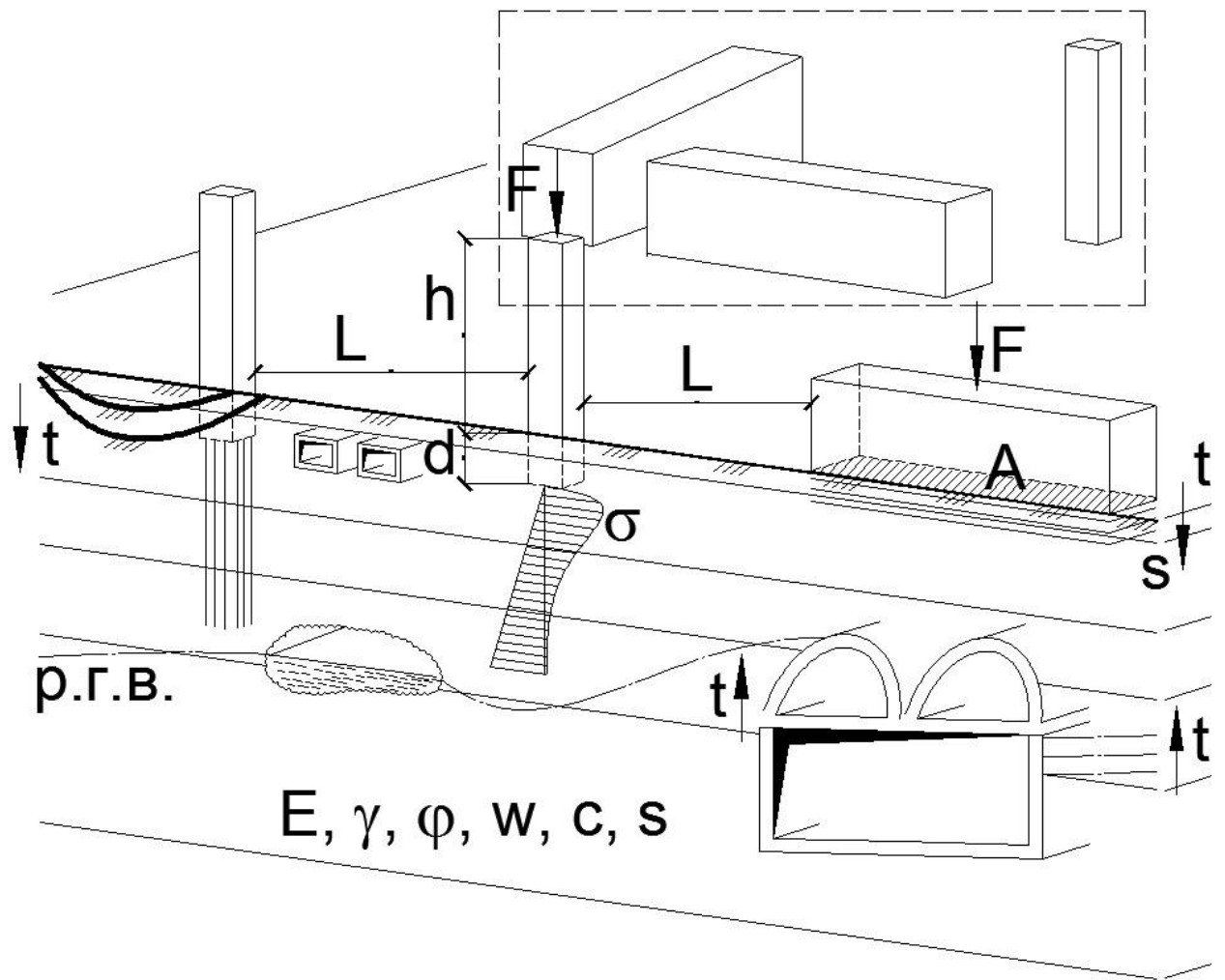


Рисунок 1 – Параметри взаємодії природної та антропогенної систем

виражає міцність ґрунту;

γ – щільність ґрунту;

ϕ – кут природного відкосу ґрунту;

w – водонасиченість ґрунту;

c – коефіцієнт жорсткості ґрунту;

s – показник осідання ґрунту під навантаженням тощо.

До параметрів природної системи також відносяться:

– рівень ґрунтових вод, який визначається координатами точок або функціями криволінійних поверхонь;

– наявність карстів, природних каналів підземних річок, що визначаються координатами межених точок і міцністю склепіння;

– підземні річки та інші водойми характеризуються гідрогеологічними параметрами (водним режимом та ін.);

– підземні горизонти водоскиду вод, що фільтруються з денної поверхні, що визначаються функціями криволінійних поверхонь або координатами точок.

Наземні річки та інші водойми характеризуються зміненням рельєфу поверхні території, стійкістю узбережь і гідрологічними характеристиками (водним режимом та ін.).

Антропогенна система містить об'єкти забудови поверхні та підземного простору території, які мають узагальнені параметри:

A – площа забудови;

F – сукупна вага об'єкту забудови, що також включає всі зовнішні навантаження та дії на будівлю або споруду;

h – висотність забудови;

L – відстань між об'єктами забудови, яка також характеризує щільність забудови;

d – заглибленість об'єктів надземної забудови у ґрунт.

Підземні штучні об'єкти – канали, тунелі, бункери, резервуари для збору ливневих вод, шахти та штольні тощо – характеризуються глибиною залягання, габаритними розмірами та/або протяжністю, а також всіма характеристиками для наземних об'єктів.

Реактивні фактори механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи також мають свої параметри, що співвідносяться зі зміненням вихідних значень параметрів як природної, так і антропогенної систем.

До них відносяться:

– напруження в ґрунті від об'єктів забудови, а також сумарні осідання ґрунту;

– значення нерівномірних осідань та просідання ґрунту (при наявності такої можливості);

– осідання ґрунту в довгостроковій перспективі від ваги забудови;

– підйом рівня ґрунтових вод в довгостроковій перспективі;

- концентрація ґрунтових вод біля підземних споруд;
- змінення власних характеристик шарів ґрунту (водонасиченість, модуль деформації, щільність та ін.);
- змінення рельєфу поверхні території за будь-яких причин (як при осіданнях та просіданні ґрунту, так і при відкритій розробці, влаштуванні котлованів під забудову тощо).

Всі перелічені вище параметри змінюються з часом від початку містобудівного освоєння територій й надалі – протягом всього періоду експлуатації та реконструкції територій, будівель і споруд. Тому створення математичної моделі, яка б включала ці параметри, їх взаємний вплив і змінення з часом, вирішить задачу прогнозування та розрахунку змін природно-антропогенного середовища в результаті містобудівної діяльності в рамках проектного аналізу на всіх його рівнях для надійної та довговічної експлуатації об'єктів забудови, а такої сталого та збалансованого розвитку територій.

3 Особливості інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов забудованих територій м. Запоріжжя

В останні роки значно збільшилася кількість об'єктів міської забудови, що мають незадовільний та аварійний технічний стан, при тому, що термін експлуатації більшості з них, зазначений у чинних будівельних нормах [8], складає 100 років, натомість на даний час вони прослужили лише 35...60 років. Наприклад, у місті Запоріжжя офіційно визнано «передаварійними» близько 2 % багатоквартирного житлового фонду. Звісно, більшість таких будівель була занедбана скоріше при експлуатації, ніж за причин недоліків у проектах чи містобудівних прорахунків, однак при тому, що проблема набуває значного масштабу, частково її вирішення можна шукати на містобудівному рівні.

В процесі містобудівної діяльності, експлуатації міських територій, істотно змінюються зовнішні умови порівняно з тими, що враховувалися у проектах. Зміни зовнішніх умов викликані різноманітними чинниками –

факторами взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем [5].

Одними з найзначніших таких факторів є рельєф місцевості, гідрографія, геологічна будова, гідрогеологічні умови території, інженерно-геологічні характеристики ґрунтів [3].

Особливості інженерно-геологічних досліджень у м. Запоріжжя обумовлені специфікою ґрунтових і гідрогеологічних умов його території:

- наявністю переважно потужної товщі лесових просідаючих ґрунтів;
- за типом просідання ґрунти переважно такі, що мають величину просідання понад 5 см;
- різкими перепадами рівня ґрунтових вод навіть у межах досить обмеженої території, що пояснюється геоморфологічними особливостями територій, їх висотними відмітками та щільністю забудови;
- впливом Дніпровського водосховища;
- наявністю частково діючих шламонакопичувачів;
- поступовим розтіканням потужних водних куполів, що формуються у промислових зонах і т.д.

Територія м. Запоріжжя входить до складу південної платформної частини України, та згідно до схеми районування лесових порід вона відноситься до придніпровської підобласті області українського кристалічного щита нельодовикової зони [9].

Лесові ґрунтові породи відносяться до четвертинних відкладень, які мають широке покривне розповсюдження на більшій частині території України та значною мірою визначають специфіку архітектурно-планувальних рішень, характер і методи будівництва різноманітних будівель і споруд. В першу чергу це стосується зон, де лесові товщі мають максимальні потужності та с позицій будівельних норм відносяться до складних інженерно-геологічних умов з можливим просіданням лесових ґрунтів в умовах їх замочування на понад 5 см.

В даному розділі визначаються характерні особливості інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов території м. Запоріжжя на основі збору, аналізу та систематизації матеріалів інженерно-геологічних вишукувань, що

виконувалися різними відомчими спеціалізованими організаціями впродовж 60-х рр. ХХ ст. – 2010-х рр. ХХІ ст.

Порізанисть території ярушно-балковою системою та її загальний уклін у бік долини Дніпра обумовлюють різкі перепади відміток поверхні – 17...105 м. Найбільш високі абсолютні відмітки характерні для рівнинних і слабо пологих ділянок вододілів, до яких в тому числі відноситься 6-те селище Запоріжжя («Соцмісто») з абсолютними відмітками 60...75 м та деякі інші райони міста.

Пологі схили вододілів в окремих місцях переходять в урвисті оголені береги Дніпра та ярів або створюють схили балок і місцевих понижень, що виникають на фоні загального підвищеного рельєфу території. Мінімальні абсолютні відмітки поверхні рельєфу (17...19 м) фіксуються в заплаві Дніпра.

Лівобережна частина долини Дніпра має чотири надзаплавні тераси, поверхня та уступи яких практично знівельовано як під впливом комплексу природних факторів, так і в результаті антропогенної діяльності.

Згідно до [10], територія міста входить до складу територій України, лесові ґрунтові породи яких здатні при замочування до значних деформацій – просідань. Так, на високих відмітках, де лесова товща сягає потужності 25...40 м, загальне можливе сумарне просідання ґрунтів складає 75...100 см і більше (тобто значно більші за 5 см). До цього типу умов відносяться зони розвитку надзаплавних терас В, Г і частково Б (див. рис. 2...3). До типу ґрунтових умов зі значеннями просідаючих деформацій до 5 см відносяться ділянки надзаплавних терас А та частково Б, а також окремі підтоплені зони міських територій, які, проте, мають високі відмітки поверхні.

Ускладнюючими факторами для території міста й, відповідно, нормальної – безаварійної – експлуатації об'єктів забудови є:

- загальнорегіональна тенденція підняття рівня підземних вод у межах міських територій в результаті значного зменшення можливості природного водообміну між атмосферою та ґрунтами;

- практично повсюдні та постійні значні втрати води з чисельних систем підземних водоносних комунікацій та її інфільтрація в ґрунти, а також ряд

інших факторів, що в сукупності з вищевказаними призводять до створення локальних куполів ґрунтово-техногенних вод, зниженню несучої здатності лесових ґрунтів і підтопленню територій, що мають низькі відмітки, чи територій, на яких відсутні прошарки піщаних ґрунтів, або поблизу від поверхні яких залягають більш важкі ґрунти з низькою фільтраційною здатністю.

Центральною частиною міста, враховуючи специфіку його розташування, а саме – витягнутість вздовж річки Дніпро, прийнято вважати район проспекту Соборного (в минулому Леніна) від площі Запорізької (в минулому Леніна) до вулиці Базарної (в минулому Анголенка) (рис. 2).

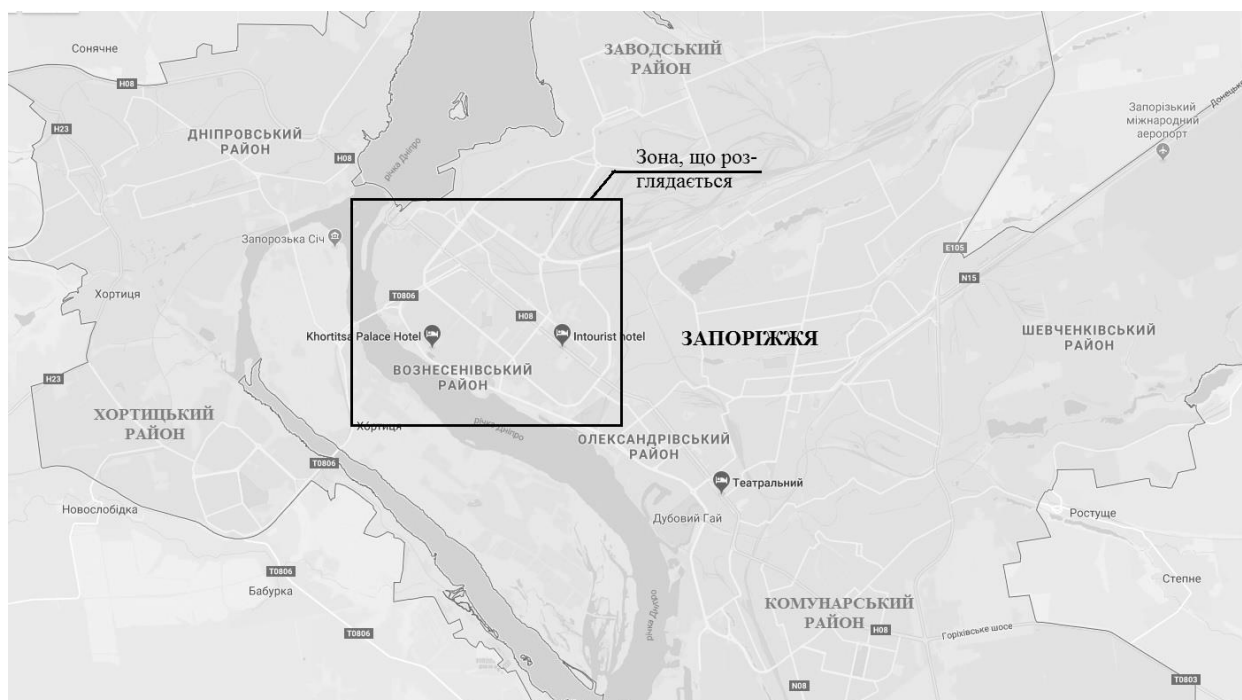


Рисунок 2 – Схематична карта м. Запоріжжя

Просторове розміщення міста та його центральної частини вздовж долини Дніпра обумовлює особливості рельєфу поверхні та геолого-геоморфологічної будови території. В цілому в межах центральної частини міста виділяються дві морфоструктури, що характеризуються властивими формами рельєфу, геолого-геоморфологічними, інженерно-геологічними та гідрогеологічними умовами:

- 1) на ділянці від пл. Запорізької до району вул. Гагаріна;
- 2) від вул. Гагаріна до р. Мокра Московка.

Забудова частини міста на ділянці від пл. Запорізької до вул. Гагаріна, за виключенням окремих будівель, в цілому здійснювалася в 50-ті рр. ХХ ст. без попередньої інженерної підготовки ґрунтів основ з метою покращення їх будівельних характеристик і заходів з підсилення несучих конструкцій будівель; водоносні мережі, які є найважливішим фактором замочування ґрунтів основ, виконувалися без урахування складності геологічних умов.

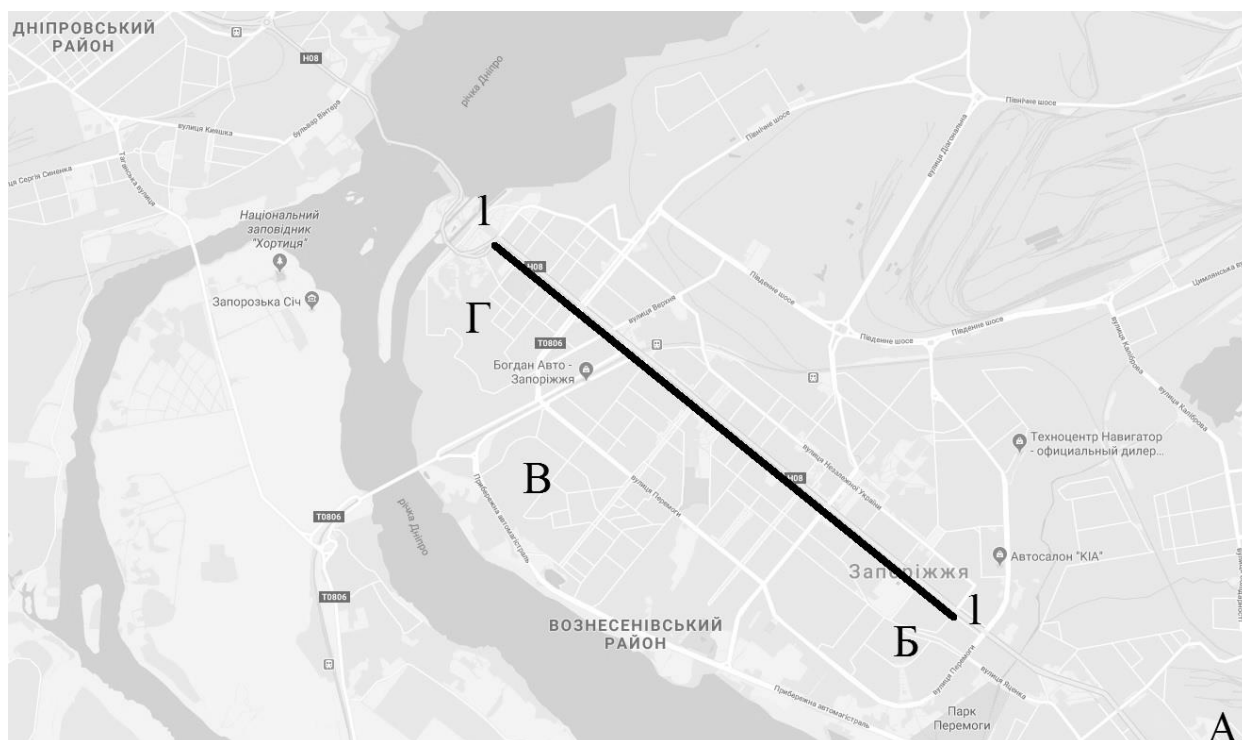
Забудова зони міста від вул. Гагаріна до майдану Волі та окремі будівлі в районі вул. Базарної здійснювалася в основному у 60-70-ті рр. ХХ ст. із застосуванням різноманітних методів перетворення будівельних характеристик лесових просідаючих ґрунтів і конструктивних заходів, передбачених нормами.

Враховуючи вік забудови, призначення та технічний стан її об'єктів, кількість пошкоджених та аварійних будівель, а також практичну відсутність заходів попередньої інженерної підготовки ґрунтів основ та ін., найбільший інтерес для дослідження має центральна частина м. Запоріжжя на ділянці від пл. Запорізької до району вул. Гагаріна. В адміністративному відношенні ця частина міста входить до складу Дніпровського (в минулому Ленінського) та Вознесенівського (в минулому Орджонікідзевського) районів (рис. 3).

Ділянка, що розглядається, характеризується спокійним рівнинним рельєфом з доволі високими абсолютними відмітками поверхні – близько 60...80 м (за Балтійською системою висот), на фоні якого виділяються понижена частина рельєфу з абсолютними відмітками 57...60 м (балка Алюмінієва, що перетинає пр. Соборний в районі бульвару Шевченка) та підвищена з відмітками 80...86 м (майдан Героїв / пл. Фестивальна).

В геоморфологічному відношенні обрана ділянка в цілому є вододільною частиною лівого корінного берега Дніпра, який складається потужною товщею лесових суглинисто-супіщаних відкладень (близько 19...34 м), що залягають на корі вивітрювання кристалічних порід (гранітів), вивітрених у верхній частині до жорствяно-щебеневого стану. В окремих місцях – наприклад, на частині

території, що розглядається, між вул. Лермонтова та Гагаріна, – лесова товща підстилається піщаними ґрунтами неогенового віку.



А...Г – зони розвитку надзаплавних терас Дніпра; 1-1 – лінія інженерно-геологічного розрізу

Рисунок 3 – Схематична карта зони м. Запоріжжя, що розглядається

Лесові ґрунти до рівня ґрунтових вод просідають, тобто при замочуванні водою здатні давати просадки – осідання з різким погіршенням їх будівельних властивостей. Потужність просідаючої товщі в основному складає 13...21 м, за виключенням району балки Алюмінієвої, де вона зменшується до 4 м. Ґрунтові умови за просіданням в цілому характеризуються як такі, що мають величину просідання понад 5 см, в Алюмінієвій балці – до 5 см.

Підземні води, що визначають потужність просідаючої товщі та ґрунтові умови території, залягають на глибинах 4,6...27 м (відповідно, у балці та по вул. Гагаріна) від існуючої поверхні. Абсолютні відмітки рівня підземних вод змінюються в межах 41...66 м, а поверхня дзеркала підземних вод повторює форму рельєфу – підвищується на вододільних ділянках і знижується у

від'ємних формах рельєфу. Максимальна відмітка відзначається на найбільш підвищеній частині – район пл. Фестивальної, мінімальна – на передсхильній частині балки Капустянка (район вул. Гагаріна), де відбувається різке зниження рівня з огляду на близьке розташування зони розвантаження.

За інженерно-геологічним районуванням територія, що розглядається, відноситься до такої, що потенційно підтоплюється, а в районі Алюмінієвої балки – до підтопленої. За сукупністю геоморфологічних, інженерно-геологічних і гідрогеологічних факторів ділянка, що розглядається, класифікується як складна. Категорія складності території в цілому третя, в зоні приблизно між вул. 12-го Квітня та Лермонтова – друга.

Схематичну карту ґрунтових умов території м. Запоріжжя з умовно виділеними районами та типами ґрунтових умов за просіданням у межах цих районів для зони міста, що розглядається, наведено на рис. 4.





Територію міста було поділено на 14 умовних районів за ґрунтовими умовами (центральна зона, що розглядається, містить 3 таких райони), для кожного з яких складено зведені геолого-літологічні колонки та визначено:

- коефіцієнти відносного просідання ґрунтів під дією власної ваги та при умовно реальному навантаженні 20 т/м^2 ;
- деформаційні та міцнісні властивості ґрунтів;
- потужності просідаючої товщі;
- загальна сумарна просадка лесової товщі під дією власної ваги та умовно реального навантаження;
- рівень ґрунтових вод.

Інженерно-геологічний розріз частини території міста, що розглядається, який містить основні потужності шарів ґрунту (в метрах) та рівень ґрунтових вод, наведено на рис. 5. Інженерно-геологічні ґрунтові умови усереднено за зведеними геолого-літологічними колонками, висотні позначки рельєфу утрировано, межі шарів ґрунту та рівень ґрунтових вод інтерпольовано.

Таким чином, територія м. Запоріжжя відноситься до районів України зі складними інженерно-геологічними та гідрогеологічними умовами, будівельне



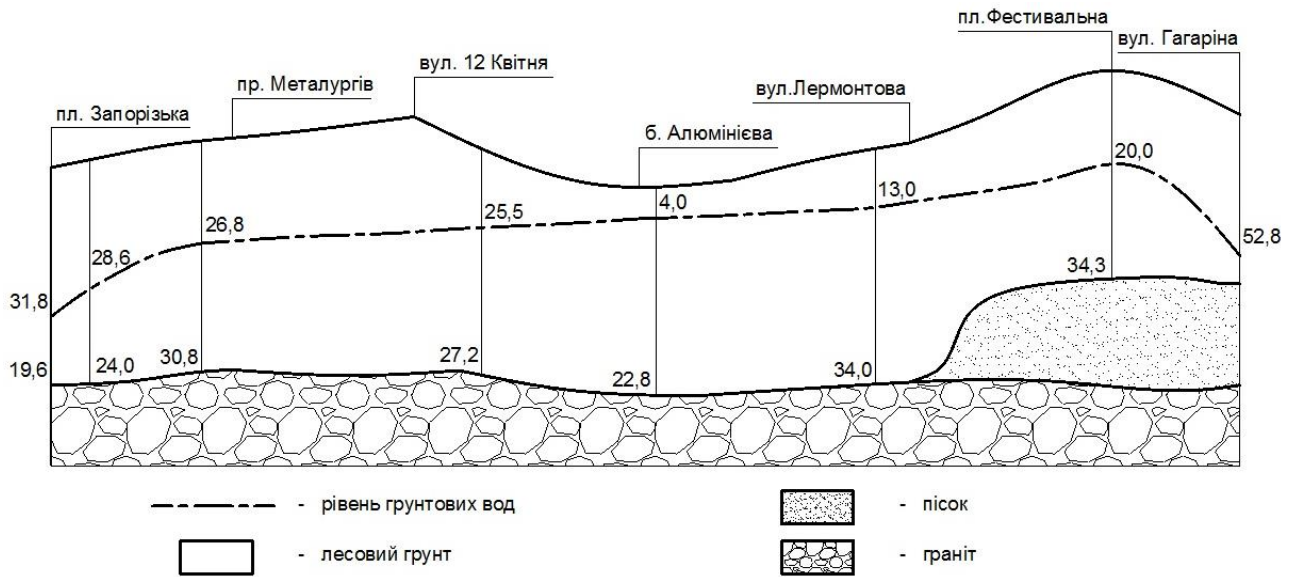
-  – межі умовних районів;
-  – зони розвитку заплавної відкладень;
-  – ділянки, на яких просідаючі деформації менше 5 см;
-  – ділянки з просідаючою товщею потужністю більше 15 м.

6...8 – умовні райони за ґрунтовими умовами; I...II – ділянки території за типом просідання; А...Г – зони розвитку надзаплавних терас Дніпра; 1-1 – лінія інженерно-геологічного розрізу

Рисунок 4 – Схематична карта ґрунтових умов зони м. Запоріжжя

освоєння яких і наступна експлуатація об'єктів вимагають суворого дотримання норм і правил, що регламентують антропогенну (інженерно-господарську) діяльність у таких специфічних умовах. Територія центральної частини міста за сукупністю факторів, що впливають на категорію складності інженерно-геологічних умов, характеризується як складна. На фоні ділянок зі значними товщами просідаючих ґрунтів, замочування яких призводить до суттєвої аварійності будівель, мають місце підтоплені зони, які також чинять

несприятливий вплив на умови експлуатації об'єктів забудови.



Рисунку 5 – Інженерно-геологічний розріз частини території міста

4 Залежність зміння розрахункових параметрів ґрунтової основи від поверхневого тиску забудови у часовій області

У якості вихідних даних розглядаються результати інженерних вишукувань, наведені у [10, 9]. Параметри визначалися для одних і тих же територій міської забудови з різницею у 25 років, що дозволяє дослідити зміни умов природного середовища та антропогенного тиску на нього у часовій області.

Враховуючи багатофакторність процесу, для створення математичної моделі пропонується застосувати кореляційний аналіз впливу параметрів взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем.

Обраний математичний метод застосовувався і апробований у дослідженнях в інших галузях науки, техніки та архітектури [12, 13], тому доцільно за аналогією використати його для вирішення проблемних питань містобудування. В роботі [12] є система ознак, притаманних різноманітним факторам, а також проводиться багатофакторний аналіз цієї системи, який

ґрунтується на базових поняттях і методах, наведених у [14].

З усієї сукупності факторів, пов'язаних в систему, необхідно обрати одну результативну ознаку – функцію, а всі інші слід вважати факторними ознаками – змінними аргументами функції, кожна з яких виражає той чи інший параметр і вимірюється в одиницях цього параметру.

5 Розробка багатфакторної регресивної моделі та аналіз результатів її застосування

У якості результуючої ознаки Y можна обирати будь-який фактор, однак найбільш показовим (небезпечним) для об'єктів забудови на даній території є осідання (просідання) ґрунту s .

Факторні ознаки позначаються $X_1 \dots X_n$ (в даному випадку $X_1 \dots X_2$) і виражають узагальнені характеристик елементів природної та антропогенної містобудівних систем, попередньо розглянуті у [11]. Враховуючи тривалість процесу деформування та вплив різних факторів на результуючу ознаку, у якості узагальнених параметрів доцільно обрати час t і параметр комплексу забудови (тиск на ґрунт або поверхню території) P .

Інформація про змінні величини, що характеризують природні та антропогенні фактори впливу, наведена в табл. 1.

Для того, щоб побудувати багатфакторну регресивну модель результуючої ознаки осідання (просідання) ґрунту s , насамперед необхідно відібрати факторні ознаки у модель. З цією метою формується матриця парних коефіцієнтів кореляції, наведена в табл. 2.

Таблиця 1 – Інформація про змінні

Позначення признаку	Ознака	Одиниця вимірювання
Y	Осідання (просідання) ґрунту, s	м
X_1	Час, t	рік
X_2	Параметр комплексу забудови (тиск на поверхню), P	t/m^2

Таблиця 2 – Парні коефіцієнти кореляції

	Y	X ₁	X ₂
Y	1	0,99116	0,8759
X ₁	0,99116	1	0,91544
X ₂	0,8759	0,91544	1

В першому рядку цієї матриці розташовані коефіцієнти R_{yx} , що характеризують тісноту взаємозв'язку результуючої ознаки з кожною факторною ознакою.

Результати розрахунку багатомірної регресії незалежних змінних наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку багатомірної регресії

Змінна	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Кореляція	Коефіцієнт регресії	T
X ₁	22,5	15,138	0,99116	0,01099	21,13
X ₂	93,25	38,134	0,8759	-0,0007248	5,1346

При цьому залежна змінна (результуючий признак) має:

- середнє значення – 0,217;
- середнє квадратичне відхилення – 0,14236.

Рівняння матриці парних коефіцієнтів кореляції має наступні значення власних показників:

- вільний член – 0,03625;
- коефіцієнт множинної кореляції R_B – 0,99424;
- $S_{\text{зал.}}$ – 0,017304;
- кількість ступенів свободи $k_1 = p - 2$;
- кількість ступенів свободи $k_2 = n - p - 1 = 7$;
- $F_{\text{спос.}}$ – 301,09.

Аналізуючи отримані результати, спочатку потрібно розглянути вибіркового множинний коефіцієнт кореляції $R_B = 0,99424$.

Перш ніж робити висновок про тісноту взаємозв'язку між результуючою

ознакою та сукупністю факторних ознак, необхідно перевірити значущість вибіркового множинного коефіцієнту кореляції при рівні значущості 0,01. Для цього висуваються гіпотези:

$$H_0: R_{\text{ген}} = 0;$$

$$H_1: R_{\text{ген}} \neq 0.$$

Визначаються:

$$T_{\text{спос.}} = 24,539;$$

$$t_{\text{крит.дв.}}(0,01; 7) = 3,5.$$

Оскільки $T_{\text{спос.}} > t_{\text{крит.дв.}}(0,01; 2)$, нульова гіпотеза відкидається, отже справедливою є конкуруюча гіпотеза $H_1: R_{\text{ген}} \neq 0$. Таким чином, $R_b = 0,99424$ є значущим, і зв'язок між результуючою ознакою та сукупністю факторних ознак, що входять до регресивної моделі, тісний.

Також для побудови множинної регресивної моделі необхідно визначити коефіцієнт детермінації:

$$D = (R_b)^2 \cdot 100 \% = (0,99424)^2 \cdot 100 \% = 98,8513 \%$$

Отже, варіація результуючої ознаки (осідання або просідання ґрунту s) в середньому на 98,8513 % пояснюється за рахунок варіації факторних ознак, що входять у модель (час t , параметр забудови – тиск на поверхню P).

Множинна регресивна модель має вигляд:

$$Y = 0,03725 + 0,01099 \cdot X_1 - 0,0007248 \cdot X_2.$$

Аналізуючи сформовану модель, необхідно перевірити її значущість при рівні значущості 0,01. Для цього висуваються гіпотези:

H_0 : модель незначуща ($H_0: A_1 = A_2 = \dots = A_p = 0$);

H_1 : модель значуща (H_1 : хоча б одне $A_i \neq 0$ та змінюється від 1 до p).

Нульова гіпотеза перевіряється за допомогою випадкової величини F , яка має розподіл Фішера-Снедекора. Визначається:

$$F_{\text{спос.}} = 301,09;$$

$$F_{\text{крит.}}(0,01; 2; 7) = 9,55.$$

Оскільки $F_{\text{спос.}} > F_{\text{крит.}}(0,01; 7; 2)$, нульова гіпотеза відкидається, дійсною є конкуруюча гіпотеза, тобто багатofакторна регресивна модель є значущою.

Зміст коефіцієнтів регресії полягає в тому, наскільки зміниться результуючий фактор (осідання ґрунту s) при збільшенні відповідного факторного признаку на одиницю:

- при збільшенні часу t – на 0,01099;

- при збільшенні тиску на поверхню P – на $-0,0007248$.

Від коефіцієнтів регресії можна перейти до коефіцієнтів еластичності, які показують, на скільки відсотків зміниться результуючий фактор (осідання ґрунту s) при збільшенні відповідного факторного признаку на 1 %:

- при збільшенні часу t – на 1,14;

- при збільшенні тиску на поверхню P – на $-0,311$.

Порівнюючи коефіцієнти еластичності за абсолютною величиною, можна стверджувати, що результуючий признак (осідання ґрунту s) більш чуттєвий до змінення факторного признаку часу t .

У стандартизованому масштабі рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 6,62 \cdot X_1 - 1,62 \cdot X_2.$$

Порівнюючи коефіцієнти рівняння за абсолютною величиною, можна стверджувати, що найбільший вплив на результуючий признак (осідання ґрунту

s) здійснює факторний признак час t.

Перераховуючи значення результуючого признаку (осідання ґрунту s) за допомогою отриманого рівняння, можна одержати залишки визначення залежної змінної, наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунку багатомірної регресії

Задане значення	Визначене значення	Залишок	Відхилення, %
0,03	0,029	0,001	3,45
0,05	0,052	-0,005	-5,77
0,1	0,0983	0,0017	1,73
0,15	0,145	0,005	3,45
0,18	0,181	-0,001	-0,55
0,24	0,232	0,008	3,45
0,25	0,26	-0,01	-3,85
0,32	0,335	-0,015	-4,48
0,4	0,386	0,014	3,63
0,45	0,441	0,009	2,04

З табл. 4 видно, що абсолютне значення максимального відхилення результуючого фактору – осідання ґрунту, – що визначалося за рівнянням регресивної моделі, складає 5,77 % у порівнянні з фактично визначеним значенням за результатами інженерних вишукувань і натурних досліджень. Тому отриману багатофакторну регресивну модель механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи можна вважати адекватною.

Графічно результати моделювання зручно представляти у вигляді просторового графіку залежності результуючого фактору від узагальнених параметрів механічної взаємодії забудови та ґрунтової основи, показаного на рис. 6 (побудований за результатами даного дослідження).

При цьому функцією отриманої поверхні просторового графіку, наведеного на рис. 6, є поліном другого ступеня:

$$s = 0,0189 + 0,0039 \cdot t - 0,0003 \cdot P + 0,0006 \cdot t^2 - 0,0002 \cdot t \cdot P + 3,7348 \cdot 10^{-5} \cdot y^2.$$

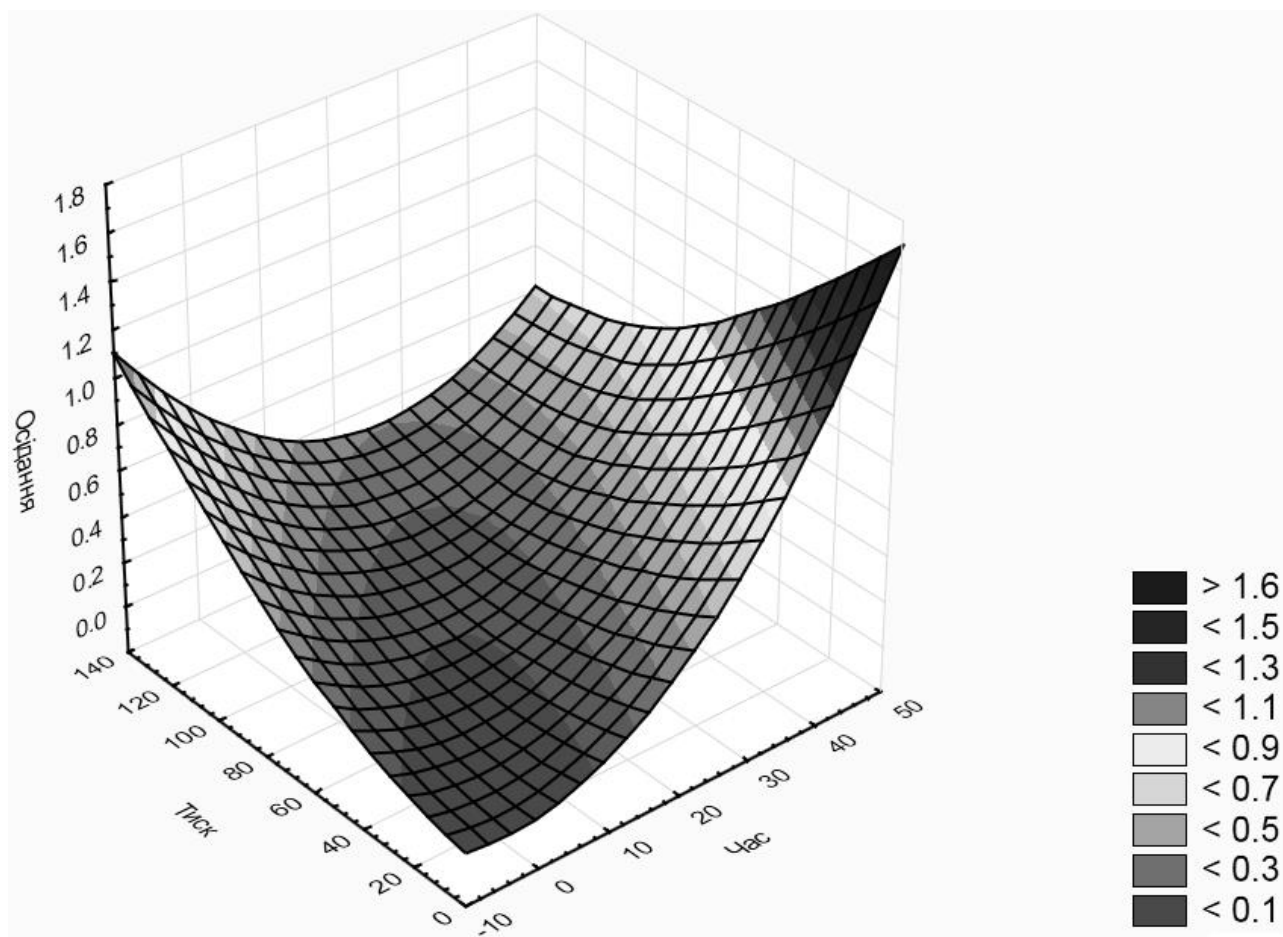


Рисунок 6 – Просторовий графік залежності узагальнених параметрів моделі

ВИСНОВКИ

1. Територія м. Запоріжжя відноситься до районів України зі складними інженерно-геологічними та гідрогеологічними умовами, будівельне освоєння яких і наступна експлуатація об'єктів вимагають суворого дотримання норм і правил, що регламентують антропогенну (інженерно-господарську) діяльність. Територія центральної частини міста за сукупністю факторів, що впливають на категорію складності, характеризується як складна. На фоні ділянок зі значними товщами просідаючих ґрунтів, замочування яких призводить до суттєвої аварійності будівель, мають місце підтоплені зони, які також чинять несприятливий вплив на умови експлуатації об'єктів забудови.

2. При виділенні інтегральних факторних ознак отримано багатофакторну регресивну модель, яка пов'язує узагальнений параметр природної системи – осідання ґрунту, узагальнений параметр антропогенної системи – тиск на поверхню забудованої території, і час взаємодії. Абсолютне значення максимальної розбіжності результатів інженерних вишукувань і натурних досліджень та тих самих параметрів, розрахованих за отриманою моделлю, складає 5,77 %, що говорить про її адекватність.

3. Отримана модель дозволить прогнозувати можливі погіршення показників надійності та довговічності будівель, споруд, інших об'єктів міської забудови у довготривалій перспективі (навіть більшій за нормативний термін експлуатації об'єкту), що впливає на санітарно-гігієнічні умови їх експлуатації й у випадку порушень цих умов веде до значних витрат на капітальний ремонт і відновлення, а також раціонально планувати розвиток міст і вид забудови у питанні функціонального призначення територій в залежності від фактично встановлених природних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Банах А. В. Причинно-наслідковий зв'язок факторів взаємодії природної та антропогенної систем в процесі містобудівного освоєння територій. *Проблеми розвитку міського середовища : науково-технічний збірник*. Київ: НАУ, 2018. Вип. 1 (20). 251 с. С. 13-23.
2. 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.
3. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста. Київ: КНУБА, 2005. 386 с.
4. Банах А. В. Концептуальні основи теорії взаємодії природної та антропогенної систем в контексті регіональної політики і сталого розвитку міських територій. *Містобудування та територіальне планування : науково-технічний збірник*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 66. С. 25-31.
5. Банах А. В. Фактори взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування : науково-технічний збірник*. Київ: КНУБА, 2017. Вип. 49. С. 251-257.
6. Єгоров Ю. П., Савін В. О., Галич В. Г. Вплив антропогенних факторів на деформації будівель, що експлуатуються впродовж тривалого часу. *Містобудування та територіальне планування : науково-технічний збірник*. Київ: КНУБА, 2017. Вип. 65. С. 71-85.
7. Ткаченко В. Б., Вазі-Мукахаль В. Б., Гальченко О. В. Обґрунтування необхідності застосування додаткових заходів забезпечення надійності об'єктів міської забудови, що експлуатуються, в комплексі інженерної підготовки нового будівництва. *Наукові вісті Далівського університету*. Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2018. № 14. URL: http://filelibsnu.at.ua/naukovi/Naukovi_visti/pdf_14_2018/5.pdf (дата звернення: 10.01.2020 р.).
8. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та

конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 30 с.

9. Ищенко В. И., Копейкин В. И. Особенности инженерно-геологических условий территории г. Запорожье : технический отчет по теме № 9052. Запорожье: ЗФ «УкрНИИИнТИз», 1997. 11 с.

10. Руденко А., Копейкин В., Варвинец Н. Характеристика инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории г. Запорожье : технический отчет. Запорожье: ЗКО «УкрВостокГИИИнТИз», 1973. 21 с.

11. Банах А. В. Параметри взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 52. 454 с. С. 160-164.

12. Полтавець М. О. Оптимізаційна система показників оцінки технологічних властивостей проектних рішень просторових систем покриттів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2014. Вип. 29. С. 483-490.

13. Baird G. *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*. Spon Press, 2001. 246 p.

14. Гусаков А. А. Системотехника строительства : энциклопедический словарь. Москва: Ассоциация строительных ВУЗов, 2004. 320 с.