

АНОТАЦІЯ

Литвин О.В. Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Міністерство освіти і науки України, Київ, 2025 р.

Основний зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена дослідженню взаємодії висотних будівель із ґрунтовою основою під дією динамічних впливів, зокрема сейсмічних і вибухових навантажень. Основною метою роботи є розробка та вдосконалення методик математичного моделювання для підвищення точності розрахунків напружено-деформованого стану системи «основа–фундамент–будівля» та оптимізації проектних рішень з урахуванням динамічних і статичних впливів. У роботі досліджено механізми ущільнення ґрунтів під фундаментами, визначено вплив компресійних властивостей на несучу здатність основи, розроблено алгоритми моделювання процесів зміни об’єму ґрунту за допомогою програмних комплексів, таких як Abaqus. Особлива увага приділена розрахунку напружено-деформованого стану багатосекційних будівель із урахуванням нерівномірного ущільнення основи та просторової жорсткості конструкцій.

Запропоновано методики динамічних розрахунків, які включають врахування нелінійних властивостей матеріалів при моделюванні вибухових навантажень із використанням алгоритму CONWEP, а також рекомендації щодо зниження сейсмічного впливу на динамічний відгук будівель шляхом введення додаткових ригельних систем. Це дозволяє змінювати просторову жорсткість будівель та коригувати їхні резонансні частоти.

Дисертаційне дослідження розширює знання про взаємодію висотних будівель із ґрунтовою основою в умовах складних динамічних і статичних навантажень. Особлива увага приділена підвищенню безпеки будівель за екстремальних впливів, таких як землетруси та техногенні вибухи, які можуть спричинити значні додаткові напруження та руйнування конструкцій.

Результати дослідження підтверджують ефективність розроблених методик для зниження амплітуд коливань, рівномірного розподілу напружень у конструкціях, зменшення осідань фундаментів і підвищення стійкості споруд. Розроблені моделі та методики забезпечують не лише якісну оцінку взаємодії будівлі з основою, але й можливість розробки ефективних проектних рішень для зменшення руйнівного впливу екстремальних факторів, таких як резонансні коливання чи вибухові ударні хвилі. Проведений аналіз динамічного відгуку багатосекційних будівель дозволив розробити рекомендації щодо введення додаткових ригельних систем для відлаштування будівлі від резонансних частот, підвищення динамічної жорсткості та запобігання прогресуючому руйнуванню.

Дослідження має як наукове, так і практичне значення, сприяючи вирішенню актуальних завдань сучасної інженерії та цивільного будівництва. Результати можуть бути використані при розробці нормативних документів для проектування висотних споруд у сейсмічно небезпечних регіонах.

В першому розділі розглядаються сучасні проблеми взаємодії висотних будівель із ґрунтовими основами, акцентуючи увагу на забезпеченні надійності конструкцій в умовах дії статичних і динамічних навантажень. Висотні будівлі створюють значні навантаження на ґрунтову основу, що викликає комплексний механізм взаємодії між фундаментом і основою, впливаючи на їхню стійкість, несучу здатність і довговічність. Основними аспектами є вивчення напружено-деформованого стану ґрунту, консолідації, зсувної стійкості, а також оцінка осідань і нерівномірних деформацій, які можуть спричинити критичні перевантаження конструкцій.

Основні підходи до аналізу взаємодії "фундамент–основа" поділяються на теоретичні, експериментальні та емпіричні методи. Теоретичні моделі базуються на механіці ґрунтів і враховують пружнопластичні властивості матеріалів, що дозволяє оцінювати поведінку основ під різними режимами навантажень. Особливого значення набувають числові методи, такі як метод скінченних елементів, які забезпечують детальний аналіз у тривимірних умовах. Експериментальні дослідження, проведені в лабораторних і польових умовах, включають застосування інноваційних методів вимірювання, таких як лазерна

інтерферометрія і 3D-сканування. Емпіричні підходи базуються на статистичній обробці даних, отриманих у ході натурних спостережень.

Компресійний стиск, як одна з ключових характеристик ґрунтових основ, безпосередньо впливає на осідання фундаментів та їхню стабільність. Нерівномірне ущільнення ґрунтів ускладнює прогнозування, що потребує подальшого розвитку більш точних моделей, зокрема з урахуванням мікрорівневих характеристик ґрунту. Моделювання таких процесів за допомогою програмних комплексів, як Abaqus, VESNA, Plaxis, сприяє підвищенню точності прогнозів і ефективності проектних рішень. Важливу роль відіграють системи моніторингу в реальному часі, що дозволяють оперативно виявляти осідання та деформації на ранніх стадіях.

Особливості динамічних впливів, таких як сейсмічні та вибухові навантаження, вимагають розробки комплексних підходів до оцінки стійкості конструкцій. Сейсмічні впливи, характерні для сейсмічно активних регіонів, викликають складні процеси взаємодії між основою і фундаментом, що впливає на амплітуду і тривалість коливань. У той же час вибухові навантаження, які є короткочасними і високочастотними, створюють додаткові виклики для проектування висотних споруд. Моделювання цих впливів за допомогою сучасних методів прямого інтегрування дозволяє враховувати особливості матеріалів і конструктивних рішень під дією високих швидкостей деформування.

Наявність екологічних аспектів також є важливим у контексті ущільнення ґрунтів і змін їхніх природних характеристик під час експлуатації споруд. Перспективні напрями досліджень включають використання штучного інтелекту для аналізу даних, інтеграцію інноваційних матеріалів для стабілізації основ, а також розробку методик, що враховують довгострокові впливи статичних навантажень та короткочасні але зі значною дією динамічних впливів на висотні споруди.

У другому розділі представлено розробку методики моделювання висотних будівель на ґрунтовій основі з урахуванням змінної стиснутої товщі. Основна увага приділена математичному опису процесів ущільнення ґрунтів у компресійних умовах, оцінці напружено-деформованого стану (НДС) системи

«Основа-Фундамент-Споруда» («О-Ф-С»), а також розробці алгоритмів моделювання, що враховують компресійні властивості ґрунтів у широкому діапазоні тисків.

Запропонована нова реалізація математичної моделі яка враховує зміну коефіцієнта пористості та модуля деформації ґрунту залежно від тиску, з акцентом на врахування компресійних властивостей у контексті стандартних лабораторних випробувань ґрунтів у одометричному приладі. Для подовження компресійної кривої до високих діапазонів тиску використано напівлогарифмічний закон ущільнення К. Терцагі. На основі розробленої методики створено алгоритм, реалізований у програмному комплексі Simulia Abaqus із використанням підпрограми користувача UMAT.

Числове моделювання дозволило перевірити ефективність запропонованої методики на лабораторних зразках та реальних спорудах. Проведено аналіз впливу змінної висоти розрахункової області на НДС системи «О-Ф-С», що дозволило визначити оптимальні розміри моделі для зниження впливу граничних умов. Дослідження підтвердили, що урахування компресійного стиснення дозволяє зменшити похибки в оцінці осідань фундаментів та деформацій конструкцій.

На практичному прикладі 25-поверхового житлового будинку з пальовим фундаментом виконано порівняльний аналіз пружного розрахунку та моделювання, яке враховує зміни об'єму ґрунту. Виявлено, що залежність модуля деформації від тиску сприяє більш рівномірному розподілу зусиль у ростверку та палях, зменшенню пікових значень моментів і площі критичних зон до 30%. У процесі дослідження встановлено, що для забезпечення стабільності будівлі необхідно розташовувати кінці паль нижче за деформовану зону ґрунту під низом ростверком мінімум удвічі.

Отримані результати демонструють, що використання методики врахування зміни об'єму ґрунту дозволяє досягти економічної ефективності за рахунок оптимізації довжини паль, забезпечуючи при цьому нормативно допустимі осідання споруд. Крім того, напружено-деформований стан, отриманий за допомогою розробленої моделі, може бути використаний для

подальших досліджень динамічної взаємодії будівель із основою за умов сейсмічних, вибухових або інших динамічних впливів.

В третьому розділі досліджено взаємодію висотних будівель із ґрунтовими основами за динамічних впливів, зокрема сейсмічних і вибухових навантажень. Основна увага приділена сучасним чисельним методам розрахунку, таким як спектральні, прямі динамічні методи та методи інтегрування в часі, які враховують нелінійні властивості матеріалів. Застосування цих підходів забезпечує детальний аналіз напружено-деформованого стану (НДС) системи «основа–фундамент–будівля» при складних динамічних впливах.

Дослідження доводять, що динамічні розрахунки, які враховують попередні статичні моделі, дозволяють оцінити взаємодію конструкцій і ґрунтових основ із високою точністю. Запропоновано методіку що використовує пряме інтегрування за явними та неявними схемами для задач із короткими часовими процесами та високими швидкостями деформацій, таких як вибухові впливи. Визначено, що обчислювальні технології, зокрема паралельні обчислення та GPU-обробка, значно підвищують ефективність таких методів.

Для сейсмічних розрахунків запропоновано використання прямого динамічного методу з урахуванням різних форм власних коливань. Цей метод дозволяє моделювати вплив сейсмічних хвиль на багатосекційні висотні будівлі, враховуючи нерівномірний розподіл жорсткості та мас конструкцій. Аналіз показує, що нерівномірність жорсткості призводить до закручування конструкцій, збільшення напружень і підвищення ризику пошкоджень у критичних зонах.

Особлива увага приділена дослідженню вибухових навантажень із використанням алгоритмів CONWER та методів моделювання нелінійної поведінки матеріалів. Встановлено, що вибухові хвилі створюють локальні навантаження, які перевищують межу міцності матеріалів конструкцій, що потребує врахування пластичних властивостей і пошкоджень таких матеріалів як бетон та сталь. Для адекватного моделювання динамічних властивостей

матеріалів використано моделі Concrete Damaged Plasticity і Johnson–Cook, які забезпечують точний опис складних процесів деформацій і руйнувань.

Розглянуто модель багатосекційного 25-поверхового житлового будинку з пальовим фундаментом у складних інженерно-геологічних умовах Києва. Числове моделювання підтвердило, що динамічні розрахунки із врахуванням різних декрементів коливань ґрунтів і конструкцій сприяють зниженню амплітуд коливань на 20–30%. Водночас недостатня ширина деформаційних швів може призводити до ударних навантажень і підвищених пошкоджень. Запропоновано рекомендації для покращення стійкості будівель, включаючи оптимізацію конструктивних рішень і ширини деформаційних швів.

Отримані результати підкреслюють важливість використання сучасних чисельних методів у моделюванні динамічної поведінки висотних будівель для розробки рішень з підвищення їхньої стійкості та безпеки в умовах сейсмічних і вибухових впливів.

В четвертому розділі досліджено динамічну взаємодію багатосекційного висотного будинку з основою під дією сейсмічних навантажень та розроблено методику зниження динамічного відгуку конструкцій. Основна увага приділена моделюванню сейсмічних впливів із врахуванням характеристик ґрунтової основи, просторової жорсткості будівель та взаємодії сусідніх секцій. Останні тенденції до спорудження сучасних висотних будівель в сейсмічно небезпечних зонах України підкреслюють необхідність удосконалення підходів до проектування цих будівель, особливо в умовах щільної забудови.

Для об'єкта дослідження – 21-поверхової будівлі з трьома секціями – розроблено об'ємну скінченно-елементну модель із детальним врахуванням ґрунтової основи. При моделюванні застосовано методом нормальних координат із використанням багатокомпонентних акселерограм у якості сейсмічного навантаження. Цей підхід дозволив знизити обчислювальні витрати і забезпечити необхідну точність розрахунків на персональних комп'ютерах. Визначено, що взаємодія секцій будівлі через ґрунтову основу суттєво впливає на напружено-деформований стан та зміну форм коливань, особливо в умовах резонансних явищ.

Результати показали, що під час сейсмічного впливу в несучих конструкціях будівлі виникають значні внутрішні зусилля з екстремальними значеннями у плитному ростверку та палях фундаментів. Виявлено значний вплив розподілу просторової жорсткості та мас секцій на їхню динамічну поведінку, що може призводити до зустрічних коливань і небезпечного зближення секцій. Ці явища зумовлюють необхідність детального врахування характеристик основи та конструктивних рішень для забезпечення сейсмічної безпеки.

Запропоновано методику зниження динамічного відгуку шляхом введення додаткових ригельних систем. Аналіз динамічної поведінки каркасів із ригелями та без них показав, що додавання ригелів збільшує першу власну частоту конструкції до 16%, знижує згинально-крутильні коливання і забезпечує більш рівномірний розподіл напружень у пілонах. Це сприяє підвищенню динамічної стійкості та зменшенню ризиків прогресуючого руйнування конструкцій.

Результати досліджень рекомендовано до впровадження у практику проектування висотних будівель у сейсмічно небезпечних районах. Розроблені підходи дозволяють оптимізувати проектні рішення, підвищити безпеку і довговічність будівель, а також забезпечити точність прогнозів напружено-деформованого стану конструкцій під дією динамічних впливів.

У дисертації представлено нову реалізацію математичної моделі для оцінки взаємодії конструкцій із ґрунтовою основою, яка описує процеси зміни об'єму ґрунту під навантаженням. Запропоновано методику визначення параметрів жорсткості моделі ґрунтового середовища для динамічних розрахунків, яка враховує зміну об'єму та перерозподіл зон стисливої товщі ґрунтів основи унаслідок дії статичних навантажень. Розроблено методику дослідження динамічної поведінки будівель із використанням прямих динамічних методів, яка дозволяє визначати реальні деформації конструкцій у часі при взаємодії через ґрунтову основу, а також аналізувати вибухові навантаження із врахуванням нелінійної поведінки матеріалів за допомогою алгоритму CONWER. Крім того, запропоновано методику зниження сейсмічного впливу на динамічний відгук несучих конструкцій будівель шляхом введення

додаткових ригельних систем, що забезпечують зміну просторової жорсткості та корекцію резонансних частот будівлі.

Запропонована реалізація математичної моделі поведінки ґрунту в умовах компресії дозволила враховувати різну глибину стиснутої товщі при розрахунках конструкцій у складі системи «основа–фундамент–споруда». Використання цієї методики дозволило зменшити армування фундаментних конструкцій до 30% в окремих зонах. Розроблена методика враховує властивості компресійного стиснення ґрунтів основи в широкому діапазоні навантажень, базуючись на результатах стандартних лабораторних компресійних досліджень, що має особливе значення для фундаментів висотних будівель і промислових споруд, де середній тиск під подошвою перевищує 0,25–0,3 МПа. Використання запропонованої методики для дослідження будівель на сейсмічні навантаження із застосуванням методу нормальних координат дозволяє ефективно зменшити крутильні коливання та забезпечити більш рівномірний розподіл напружень у несучих елементах будівлі шляхом додавання жорсткості у вигляді балок. Реалізація моделі компресії при моделюванні взаємодії будівлі з ґрунтовою основою дозволила знайти раціональне проектне рішення фундаментів, яке забезпечує економічний ефект завдяки скороченню довжини паль, утримуючи осідання будівлі в межах допустимих значень. Запропонована методика динамічних розрахунків на базі явних методів та алгоритму CONWEP дозволила розробити безпечні конструктивні рішення для зменшення впливу вибухових ударних хвиль на несучі конструкції будівлі.

Результати дослідження представлені у дисертаційній роботі на тему: «Взаємодія висотних будівель з ґрунтовою основою при динамічних впливах» впроваджені на об'єкті «Будівництво житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення на вул. Академіка Заболотного, 148 у Голосіївському районі м. Києва. 4-й пусковий комплекс», із використанням розробленої нової методики по визначенню зон порушеної структури зі зміненими властивостями в палевій основі під фундаментами, дозволило обрати раціональні розміри паль забезпечило суттєве зниження собівартості проектного рішення, що засвідчується актом про впровадження.

Ключові слова: висотні будівлі, динамічні впливи, явні методи, сейсмічна стійкість, вибухостійкість, напружено-деформований стан, компресія ґрунту, вибухова ударна хвиля, числове моделювання, оптимізація фундаментів, моделювання, прямий динамічний метод, сейсміка, багатоповерхові будинки, система «основа –фундамент –будівля», сейсмічні навантаження, ґрунт, бетон, пальовий фундамент, жорсткість, ущільнення ґрунтів, інженерні конструкції, метод скінченних елементів, математичні моделі, ґрунтова основа.

ABSTRACT

Lytvyn O.V. Interaction of high-rise buildings with the soil base under dynamic influences. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 192 – Construction and Civil Engineering, branch of knowledge 19 – Architecture and Construction. – Kyiv National University of Construction and Architecture. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

The main content of the dissertation

The dissertation is devoted to the study of the interaction of high-rise buildings with the soil base under the action of dynamic influences, in particular seismic and explosive loads. The main goal of the work is to develop and improve mathematical modeling methods to increase the accuracy of calculations of the stress-strain state of the "base-foundation-building" system and optimize design solutions taking into account dynamic and static influences. The work investigates the mechanisms of soil compaction under foundations, determines the influence of compression properties on the bearing capacity of the base, and develops algorithms for modeling the processes of soil volume change using software packages such as Abaqus . Particular attention is paid to the calculation of the stress-strain state of multi-section buildings taking into account uneven compaction of the base and spatial stiffness of structures.

Dynamic calculation methods are proposed, which include taking into account nonlinear material properties when modeling explosive loads using the CONWEP algorithm, as well as recommendations for reducing the seismic impact on the dynamic response of buildings by introducing additional transom systems. This allows changing the spatial stiffness of buildings and adjusting their resonant frequencies.

The dissertation research expands knowledge about the interaction of high-rise buildings with the soil base under complex dynamic and static loading conditions. Particular attention is paid to increasing the safety of buildings under extreme impacts, such as earthquakes and man-made explosions, which can cause significant additional stresses and structural failure.

The results of the study confirm the effectiveness of the developed methods for reducing the amplitudes of vibrations, uniform distribution of stresses in structures,

reducing foundation settlements and increasing the stability of structures. The developed models and methods provide not only a qualitative assessment of the interaction of the building with the base, but also the possibility of developing effective design solutions to reduce the destructive impact of extreme factors, such as resonant vibrations or explosive shock waves. The analysis of the dynamic response of multi-section buildings allowed us to develop recommendations for the introduction of additional transom systems to decouple the building from resonant frequencies, increase dynamic stiffness and prevent progressive destruction.

The research has both scientific and practical significance, contributing to solving urgent problems of modern engineering and civil engineering. The results can be used in the development of regulatory documents for the design of high-rise buildings in seismically hazardous regions.

The first section considers modern problems of interaction of high-rise buildings with soil foundations, focusing on ensuring the reliability of structures under static and dynamic loads. High-rise buildings create significant loads on the soil foundation, which causes a complex mechanism of interaction between the foundation and the base, affecting their stability, bearing capacity and durability. The main aspects are the study of the stress-strain state of the soil, consolidation, shear stability, as well as the assessment of settlements and non-uniform deformations, which can cause critical overloads of structures.

The main approaches to the analysis of the "foundation-base" interaction are divided into theoretical, experimental and empirical methods. Theoretical models are based on soil mechanics and take into account the elastic-plastic properties of materials, which allows assessing the behavior of bases under different loading regimes. Numerical methods, such as the finite element method, are of particular importance, which provide detailed analysis in three-dimensional conditions. Experimental studies conducted in laboratory and field conditions include the use of innovative measurement methods, such as laser interferometry and 3D scanning. Empirical approaches are based on statistical processing of data obtained during field observations.

Compression, as one of the key characteristics of soil foundations, directly affects the settlement of foundations and their stability. Uneven soil compaction complicates forecasting, which requires further development of more accurate models, in particular, taking into account micro-level soil characteristics. Modeling such processes using software packages such as Abaqus , VESNA, Plaxis , helps to increase the accuracy of forecasts and the effectiveness of design solutions. Real-time monitoring systems play an important role, allowing for prompt detection of settlements and deformations at early stages.

The features of dynamic effects, such as seismic and explosive loads, require the development of comprehensive approaches to assessing the stability of structures. Seismic effects, characteristic of seismically active regions, cause complex processes of interaction between the base and the foundation, which affects the amplitude and duration of vibrations. At the same time, explosive loads, which are short-term and high-frequency, create additional challenges for the design of high-rise buildings. Modeling these effects using modern direct integration methods allows us to take into account the features of materials and structural solutions under the influence of high deformation rates.

The presence of environmental aspects is also important in the context of soil compaction and changes in their natural characteristics during the operation of structures. Promising research areas include the use of artificial intelligence for data analysis, the integration of innovative materials for stabilizing foundations, and the development of methods that take into account the long-term effects of static loads and short-term but significant dynamic effects on high-rise structures.

The second section presents the development of a methodology for modeling high-rise buildings on a soil base taking into account a variable compressed layer. The main attention is paid to the mathematical description of soil compaction processes under compression conditions, the assessment of the stress-strain state (SSS) of the “Base-Foundation-Building” (“F-F-S”) system, as well as the development of modeling algorithms that take into account the compression properties of soils in a wide range of pressures.

A new implementation of a mathematical model is proposed that takes into account the change in the porosity coefficient and the deformation modulus of the soil depending on the pressure, with an emphasis on taking into account the compression properties in the context of standard laboratory tests of soils in an oedometer device. To extend the compression curve to high pressure ranges, the semi-logarithmic law of compaction of K. Terzaghi was used. Based on the developed methodology, an algorithm was created, implemented in the Simulia software package Abaqus using the UMAT user routine.

Numerical modeling allowed us to verify the effectiveness of the proposed method on laboratory samples and real structures. An analysis of the influence of the variable height of the calculation area on the NDS of the “O-F-S” system was carried out, which allowed us to determine the optimal dimensions of the model to reduce the influence of boundary conditions. The studies confirmed that taking into account compression allows us to reduce errors in the assessment of foundation settlements and structural deformations.

A comparative analysis of elastic calculation and modeling, which takes into account changes in soil volume, was performed on a practical example of a 25-story residential building with a pile foundation. It was found that the dependence of the deformation modulus on pressure contributes to a more uniform distribution of forces in the grillage and piles, a reduction in peak moment values and the area of critical zones by up to 30%. In the course of the study, it was established that to ensure the stability of the building, it is necessary to place the ends of the piles at least twice as low as the deformed soil zone under the bottom of the grillage.

The results obtained demonstrate that the use of the soil volume change method allows achieving economic efficiency by optimizing the length of piles, while ensuring regulatory permissible settlements of structures. In addition, the stress-strain state obtained using the developed model can be used for further studies of the dynamic interaction of buildings with the foundation under seismic, explosive or other dynamic influences.

The third section investigates the interaction of high-rise buildings with soil foundations under dynamic loads, in particular seismic and explosive loads. The main

attention is paid to modern numerical calculation methods, such as spectral, direct dynamic methods and time integration methods, which take into account nonlinear properties of materials. The application of these approaches provides a detailed analysis of the stress-strain state (SSS) of the “base–foundation–building” system under complex dynamic loads.

The research proves that dynamic calculations, which take into account previous static models, allow to estimate the interaction of structures and soil foundations with high accuracy. A method is proposed that uses direct integration according to explicit and implicit schemes for problems with short time processes and high deformation rates, such as explosive impacts. It is determined that computational technologies, in particular parallel computing and GPU processing, significantly increase the efficiency of such methods.

For seismic calculations, the use of a direct dynamic method is proposed, taking into account various forms of natural oscillations. This method allows modeling the impact of seismic waves on multi-section high-rise buildings, taking into account the uneven distribution of stiffness and mass of structures. The analysis shows that uneven stiffness leads to twisting of structures, increased stresses and increased risk of damage in critical zones.

Special attention is paid to the study of explosive loads using CONWEP algorithms and methods for modeling nonlinear behavior of materials. It is established that blast waves create local loads that exceed the strength limit of structural materials, which requires taking into account the plastic properties and damage of materials such as concrete and steel. For adequate modeling of dynamic properties of materials, the Concrete model was used Damaged Plasticity and Johnson – Cook , which provide an accurate description of complex deformation and fracture processes.

A model of a multi-section 25-storey residential building with a pile foundation in the difficult engineering and geological conditions of Kyiv was considered. Numerical modeling confirmed that dynamic calculations taking into account various decrements of soil and structural vibrations contribute to a decrease in vibration amplitudes by 20–30%. At the same time, insufficient width of expansion joints can lead to shock loads and increased damage. Recommendations are proposed to improve

the stability of buildings, including optimization of structural solutions and the width of expansion joints.

The results obtained emphasize the importance of using modern numerical methods in modeling the dynamic behavior of high-rise buildings to develop solutions to increase their stability and safety under seismic and explosive conditions.

In the fourth section, the dynamic interaction of a multi-section high-rise building with the foundation under the action of seismic loads is investigated and a method for reducing the dynamic response of structures is developed. The main attention is paid to the modeling of seismic effects taking into account the characteristics of the soil base, spatial stiffness of buildings and the interaction of neighboring sections. Recent trends in the construction of modern high-rise buildings in seismically hazardous areas of Ukraine emphasize the need to improve approaches to the design of these buildings, especially in conditions of dense development.

For the object of study – a 21-storey building with three sections – a three-dimensional finite element model was developed with detailed consideration of the soil base. The modeling was performed using the normal coordinates method using multicomponent accelerograms as a seismic load. This approach allowed to reduce computational costs and ensure the necessary accuracy of calculations on personal computers. It was determined that the interaction of building sections through the soil base significantly affects the stress-strain state and the change in vibration forms, especially under conditions of resonance phenomena.

The results showed that during seismic action, significant internal forces arise in the supporting structures of the building with extreme values in the slab grillage and foundation piles. A significant influence of the distribution of spatial stiffness and masses of sections on their dynamic behavior was revealed, which can lead to counter vibrations and dangerous convergence of sections. These phenomena necessitate detailed consideration of the characteristics of the foundation and structural solutions to ensure seismic safety.

A method for reducing the dynamic response by introducing additional crossbar systems is proposed. Analysis of the dynamic behavior of frames with and without crossbars has shown that adding crossbars increases the first natural frequency of the

structure by up to 16%, reduces bending and torsional vibrations and provides a more uniform distribution of stresses in the pylons. This contributes to increasing the dynamic stability and reducing the risks of progressive structural failure.

The research results are recommended for implementation in the practice of designing high-rise buildings in seismically hazardous areas. The developed approaches allow optimizing design solutions, increasing the safety and durability of buildings, and ensuring the accuracy of predictions of the stress-strain state of structures under the influence of dynamic influences.

The dissertation presents a new implementation of a mathematical model for assessing the interaction of structures with the soil base, which describes the processes of changing the volume of soil under load. A method for determining the stiffness parameters of the soil environment model for dynamic calculations is proposed, which takes into account the change in volume and redistribution of zones of the compressible layer of the base soils due to the action of static loads. A method for studying the dynamic behavior of buildings using direct dynamic methods is developed, which allows determining real deformations of structures over time during interaction through the soil base, as well as analyzing explosive loads taking into account the nonlinear behavior of materials using the CONWEP algorithm. In addition, a method for reducing the seismic impact on the dynamic response of building load-bearing structures is proposed by introducing additional transom systems that provide a change in spatial stiffness and correction of the building's resonant frequencies.

The proposed implementation of the mathematical model of soil behavior under compression conditions made it possible to take into account different depths of the compressed layer when calculating structures as part of the “base–foundation–structure” system. The use of this technique made it possible to reduce the reinforcement of foundation structures by up to 30% in individual zones. The developed technique takes into account the properties of compression of foundation soils in a wide range of loads, based on the results of standard laboratory compression studies, which is of particular importance for the foundations of high-rise buildings and industrial structures, where the average pressure under the sole exceeds 0.25–0.3 MPa. The use of the proposed technique for studying buildings for seismic loads using the

normal coordinates method allows effectively reducing torsional vibrations and ensuring a more uniform distribution of stresses in the load-bearing elements of the building by adding stiffness in the form of beams. The implementation of the compression model in modeling the interaction of the building with the soil base allowed us to find a rational design solution for the foundations, which provides an economic effect due to the reduction of the length of the piles, keeping the settlement of the building within the permissible values. The proposed dynamic calculation methodology based on explicit methods and the CONWEP algorithm allowed us to develop safe design solutions to reduce the impact of explosive shock waves on the supporting structures of the building.

The results of the research are presented in a dissertation on the topic: "Interaction of high-rise buildings with soil base under dynamic influences" implemented at the facility "Construction of a residential building with built-in public premises at 148 Akademika Zabolotnogo St. in the Holosiivskyi district of Kyiv. 4th launch complex", using the developed new methodology for determining zones of a damaged structure with changed properties in the pile base under the foundations, allowed choosing rational pile sizes and ensured a significant reduction in the cost of the design solution, which is certified by the act of implementation.

Keywords: high-rise buildings, dynamic effects, explicit methods, seismic resistance, blast resistance, stress-strain state, soil compression, numerical simulation, direct dynamic method, multi-storey buildings, base-foundation-building system, seismic loads, soil, concrete, pile foundation, stiffness, soil compaction, engineering structures, finite element method, mathematical models, soil base.