

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ

Кураш Сергій Юрійович



УДК 519.6:544.431.11: 544.016.5-022.53

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕАКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД
НА ВИБУХОВІ ВПЛИВИ**

01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ — 2023

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

Науковий
керівник:

доктор технічних наук, професор

Калюх Юрій Іванович,

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, головний науковий співробітник.

Офіційні
опоненти:

доктор технічних наук, професор,

Мокін Віталій Борисович,

Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій

доктор технічних наук, професор,

Бомба Андрій Ярославович,

Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики

Захист відбудеться 29 червня 2023 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України за адресою: 03186, м. Київ, бул. Чоколівський, 13, ауд. 601.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці

Автореферат розісланий "26" травня 2023 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.255.01 д.т.н.



О.М.Терентьев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У 2022 р. проблема системної оцінки динамічних впливів на цивільну та промислову забудову в Україні набула особливої гостроти у зв'язку з загарбницькою війною російської федерації. У цьому випадку математичне моделювання будівель необхідно проводити в умовах «прогресуючого обвалення»: у графічній моделі потрібно виключати один або кілька фрагментів, які були зруйновані внаслідок влучання ракет, снарядів, мін тощо (рис. 1 та рис. 2).



Рис. 1. Загальний вигляд будинку по проспекту Лобановського, 6А після влучання ракети (знімок ТОВ «Червонозоряний-Сервіс»)

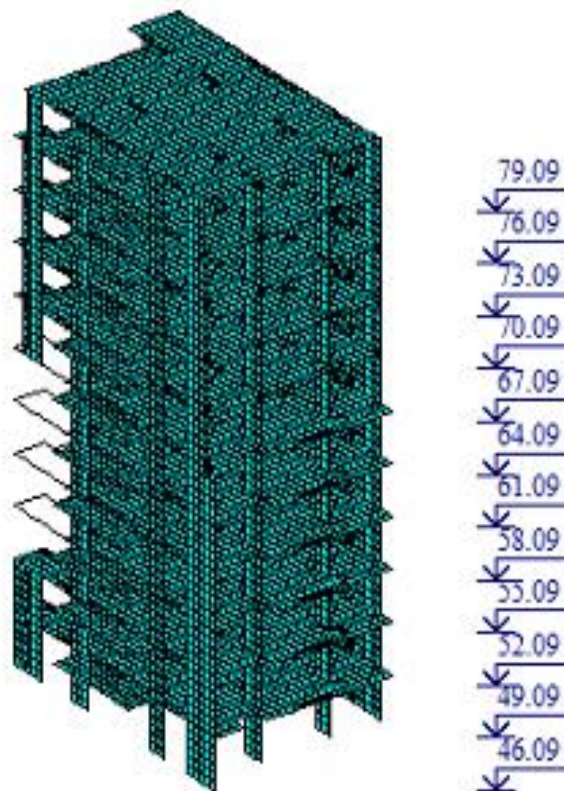


Рис. 2. Комп'ютерна модель будівлі по проспекту Лобановського, 6А в м. Києві з елементами ушкоджень в межах 18–21 поверхів

При цьому можливі такі три випадки: будівля повністю зруйнована та відновленню не підлягає (1); будівля частково зруйнована та підлягає відновленню (2); будівля зовні виглядає непошкодженою, але знаходилася в зоні бойових дій і зазнавала динамічних впливів (3). В останніх двох випадках необхідно враховувати вплив ґрунтових і повітряних ударних хвиль (динамічні впливи) на погіршення технічного стану (ТС) будівлі та кількісну оцінку падіння її життєвого ресурсу. Життєвий цикл будь-якої будівлі від моменту введення її в експлуатацію та до зносу виглядає як показано на рис. 3¹. У нашому випадку (вплив ґрунтових і повітряних ударних хвиль, часткове руйнування конструкцій)

¹ fib bulletin 59: Condition control and assessment of reinforced concrete structures. Access:

<https://www.fib-international.org/publications/fib-bulletins/condition-control-and-assessment-of-reinforced-concrete-struct-detail.html>

рис. 3 трансформується у рис. 4. Крива життєвого циклу будівлі має розрив першого роду внаслідок динамічних впливів від воєнних дій.

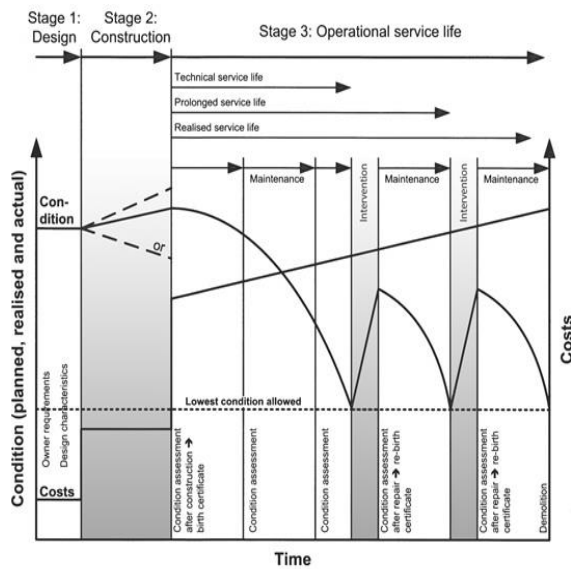


Рис. 3. Повний термін служби будівлі від «народження» до «смерті»¹

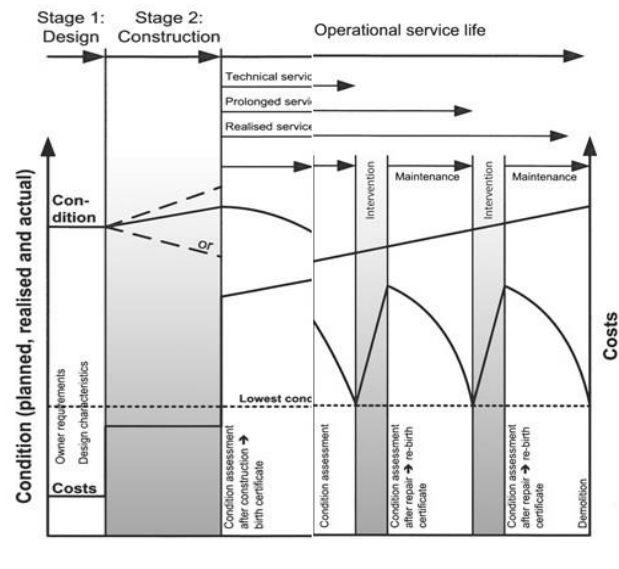


Рис. 4. Повний (скорочений) термін служби будівлі від «народження» до «смерті» при військових динамічних впливах (модифікований графік¹)

Відповідно до будівельних норм України, нормативний термін служби будівель оцінюється у 100 років². При цьому постають такі запитання:

1. Як оцінити поточний вік будівлі з урахуванням часткових руйнувань та (або) динамічних впливів?
2. Як оцінити залишковий ресурс будівлі та заподіяні економічні збитки внаслідок знаходження її в зоні бойових дій протягом певного проміжку часу (навіть за умови зовнішньої цілісності)?

Математичні моделі, що відображають динамічний вплив бойових та промислових вибухів на житлову забудову, та проблеми динамічної паспортизації будівель і споруд зазвичай описуються нелінійними рівняннями в часткових похідних. Їх вирішення можливе лише з використанням чисельних методів та алгоритмів. Розвитком та вдосконаленням чисельних методів і алгоритмів для математичного моделювання складних задач механіки активно займалися А.Я. Бомба, В.Ф. Губарєв, В.Б. Мокін, І.В. Сергієнко, В.В. Скопецький, О.М. Трофимчук, О.М. Хіміч та ін.

До сьогодні не існує науково обґрунтованих і застосовуваних у широкому діапазоні умов бойових та промислових вибухів теоретичних математичних методів прогнозу небезпеки і методів захисту будівель і споруд від шкідливого впливу проходження повітряних і ґрунтових ударних хвиль, а також методів оцінки залишкового ресурсу та ін. Визначення складу та структури комп'ютерних програм, підготовка первинної інформації, налаштування та верифікація комп'ютерних моделей будівель і споруд за допомогою експериментальних методів неруйнівного контролю вимагають проведення натурних досліджень з визначення параметрів потоку хвильової енергії від бойових і промислових

² Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=984

вибухів, обробки великого обсягу статистичного матеріалу. Все це і визначає **актуальність завдань** дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основна частина наукової роботи за тематикою дисертації виконувалася в рамках досліджень, які проводилися в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України (ІТГП НАНУ) за відомчими темами: «Розробка обчислювальних технологій та методів моделювання для дослідження нестационарних процесів» (2016–2020 рр., номер Державної реєстрації 0116U000793); «Розвиток методів і технологій моделювання структурованих систем» (2021–2023 рр., номер Державної реєстрації 0121U109226); «Розробка багатохвильових нелінійних моделей просторових протяжних систем та об'єктів в полі масових і поверхневих сил» (2022–2026 рр., номер Державної реєстрації 0122U000147).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є математичне моделювання реакції будівель і споруд на бойові та промислові вибухи, розробка комплексної оцінки падіння їх життєвого ресурсу.

Завданнями дослідження є:

– *узагальнити й систематизувати* сучасні математичні моделі та чисельні методи розрахунку основ і фундаментів будівель на динамічні впливи, теоретичні й експериментальні дослідження щодо промислових вибухів, а також діючі вітчизняні, європейські та міжнародні будівельні стандарти;

– *розробити* модель гібридної напівнатурної системи визначення складу, структури, настроювання та верифікації комп'ютерної моделі багатоповерхових будівель з урахуванням їх поточного технічного стану (пошкоджень та руйнувань внаслідок бойових дій або регулярних динамічних впливів (промислових вибухів));

– *реалізувати* алгоритмічну організацію математичного моделювання напружено-деформованого стану пошкоджених внаслідок бойових дій багатоповерхових будівель з експериментальним уточненням початково-крайових умов;

– *узагальнити* метод розрахунку багатоповерхових будівель при динамічних знакозмінних навантаженнях для подальшої інтерпретації результатів математичного моделювання з метою оцінки їх залишкового ресурсу.

Об'єкт дослідження – процеси хвильових деформацій і напружень у будівлях і спорудах, їх ґрунтових основах в умовах розподілених і концентрованих динамічних впливів різної природи, інтенсивності та величини.

Предмет дослідження – експериментальні методи неруйнівного контролю визначення початково-крайових умов; чисельні методи, алгоритми та програми розрахунку впливу ударних хвиль від бойових і промислових вибухів на зміну напружено-деформованого стану будівель і споруд, падіння їх залишкового ресурсу.

Методи досліджень – чисельного моделювання напружено-деформованого стану (НДС) будівель і споруд, їх ґрунтових основ, методи скінченних елементів, теорії коливань, технічної діагностики, математичної статистики та спектрального аналізу для обробки експериментальних даних тощо.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень:

1. *Уперше* розроблено модель гібридної напівнатурної системи математичного моделювання НДС будівель та споруд з урахуванням їх поточного технічного стану (пошкоджень та руйнувань внаслідок бойових дій або регулярних динамічних впливів (промислових вибухів)), що включає налаштування та верифікацію комп'ютерної моделі з обов'язковим визначенням її складу та структури.

2. *Уперше* реалізовано алгоритмічну організацію математичного моделювання напружено-деформованого стану пошкоджених внаслідок бойових дій багатоповерхових будівель з експериментальним уточненням початково-крайових умов для коректного забезпечення підготовки первинної інформації за допомогою методів неруйнівного контролю.

3. *Узагальнено* прямий динамічний метод розрахунку каркасних багатоповерхових залізобетонних будівель при динамічних знакозмінних навантаженнях внаслідок влучання ракет або снарядів, вдосконалено та поглиблено інтерпретацію результатів розрахунків з метою їх використання для прогнозу залишкового ресурсу будівель.

Практичне значення отриманих результатів. Здобувач є співавтором ДБН В.1.2-12-2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки». Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені в будівельну практику.

Особистий внесок автора. Основні наукові результати отримані автором самостійно. У фахових статтях, матеріалах конференцій і державному будівельному стандарті, що надруковані в співавторстві, здобувач виконав такий обсяг робіт: у статтях [1, 4] – взяв участь в експериментальних дослідженнях (візуальні обстеження та реєстрація параметрів коливань ґрунту та будівельних конструкцій), оформленні статей до друку; в статтях [2, 3, 6] – розробив математичні моделі, виконав чисельне моделювання та розрахунки, проаналізував отриманні результати, взяв участь в оформленні статей; в статті [5] – взяв участь в отриманні результатів та оформленні статті; в статті [7] – розробив математичну модель, виконав чисельне моделювання та розрахунки, проаналізував результати досліджень, взяв участь в оформленні статті; в ДБН В.1.2-12-2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» [16] – взяв участь у розробці нормативного документу, оформленні та підготовці його до друку.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації обговорювалися та доповідалися на понад десяти міжнародних та всеукраїнських наукових і науково-практичних конференціях: 19-й та 20-й міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 2021–2022 рр.); науково-технічній конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» (Одеса, 01–03.06.2017); науково-технічній конференції «Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця, 10–12.11.2010); конференції «20th European Young Geotechnical Engineers Conference (EYGEC) 2010» (Brno, Czech Republic, 30.05–01.06.2010); шостій всеукраїнській науково-технічній конференції «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування» (Полтава, 03–

07.11.2008); конференції «19th European Young Geotechnical Engineers' Conference 2008» (Győr, Hungary, 02–06.09.2008); науково-технічній конференції «Армування основ при будівництві та реконструкції будівель та споруд» (Вінниця, 17–21.04.2007); конференції «17th European Young Geotechnical Engineer's Conference (EYGEC) 2006» (Zagreb, Croatia, 20–22.07.2006); конференції «Проблеми сучасного будівництва» (Київ, 12–14.12.2005); п'ятій всеукраїнській науково-технічній конференції «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування» (Одеса, 29.11–03.12.2004).

У повному обсязі дисертація доповідалася у березні 2023 р. на розширеному науково-технічному семінарі Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної Академії наук України під керівництвом доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента НАН України Трофимчука О.М.

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у шістнадцяти публікаціях у професійних фахових виданнях, одна – проіндексована в БД SCOPUS, десять – у затверджених МОН України виданнях. Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, чотири доповіді – у матеріалах міжнародних та всеукраїнської науково-практичних конференцій. Одна публікація – державні будівельні норми України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 196 сторінок, обсяг основного тексту – 138 сторінок. Робота містить 15 таблиць, 65 рисунків, 2 додатки на 8 сторінках. Список використаних джерел складається зі 204 найменувань.

Автор вважає за необхідне висловити велику подяку першому науковому керівнику, д.т.н., проф. Черному Гелію Івановичу за теоретико-методологічну допомогу та цінні вказівки на першому етапі виконання досліджень під час навчання в денній аспірантурі ДП НДІБК у 2005–2007 рр. Вони були дуже доречними та корисними. Автор також висловлює велику подяку співавторам публікацій, співробітникам ДП НДІБК Дуніну В.А та Мар'єнкову М.Г. за тісну наукову співпрацю на останньому етапі виконання роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

Здобувачем у **вступній частині** роботи наведено інформацію та обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень. Також сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет наукового дослідження. Окрему увагу приділено розкриттю наукової новизни. У вступній частині наведено інформацію про практичну цінність та апробацію результатів наукових досліджень. Наведено вичерпні дані про публікації за темою дисертаційних досліджень, особистий внесок здобувача в кожен з надрукованих робіт.

У **першому розділі** наведено огляд та аналіз наукових досліджень з математичних методів прогнозу небезпеки промислових та бойових вибухів і методів захисту споруд від їх шкідливого динамічного впливу; експериментальних гібридних систем моделювання НДС будівель та споруд, що піддалися дії бойових

вибухів. Відомими є роботи в цьому напрямку дослідників Баженова В.А., Бірбраєра А.М., Болотіна В.В., Бугаєвського Г.М., Верюжського Ю.В., Вовка О.О., Гришина А.В., Гудкова Б.П., Кендзери О.В., Клованіча С.Ф., Кулябка В.В., Немчинова Ю.І., Перельмутера А.В., Пустовітенко Б.Г., Сіниціна О.П., Черного Г.І., Бертеро В., Гоела Р., Курамото Х., Матсумото К., Теран-Гілмора А., Файфара Р., Фрімана З., Чопри А. та інших. Аналіз виявив значну складність вирішення задач математичного моделювання оцінки впливу бойових впливів на цивільні споруди. Це насамперед обумовлено якістю кількісної вихідної інформації про вибухи (початкові умови), розмаїттям будівель і споруд, невизначеністю та труднощами коректного врахування взаємодії будівель з їх основою. Складнощі у визначенні крайових умов викликані змінністю силових сполучень конструкцій будівлі, непружними (нелінійними) властивостями матеріалів, що не відповідають проектним даним, недостатньою вивченістю їх ТС, попередньою наявністю пошкоджень і тріщин, що не враховуються при чисельному моделюванні напружено-деформованого стану багатьма сертифікованими в Україні пакетами прикладних програм (Ліра, SCAD та ін.).

Аналіз наслідків бойових і промислових вибухів, багатьох результатів математичного та експериментального моделювання свідчить про те, що:

1) Для коректного задання початково-крайових умов необхідні більш достовірні результати з використанням інструментально отриманих або синтезованих акселерограм динамічних впливів. При цьому визначення динамічних навантажень, напружень і деформацій в елементах конструкцій слід виконувати з урахуванням 3D-деформацій будівельних конструкцій та ін. (дослідження І.П. Бойка, К.В. Єгупова, Ю.І. Немчинова, В.М. Сеймова, О.М. Трофимчука, та ін.).

2) Необхідне врахування знакозмінних статичних і динамічних навантажень для розрахунку залізобетонних стрижневих і площинних конструкцій. Теоретичними і експериментальними дослідженнями залізобетонних конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів будівельних конструкцій як при статичних, так і динамічних впливах та навантаженнях займалися А.В. Гришин, М.Л. Зоценко, В.В. Кулябка, М.Г. Мар'єнков, О.А. Савицький, Г.І. Черний та ін.

3) Ступінь опору конструкцій і зміну зовнішніх впливів відображає конструкційний ризик. Він також враховує їх імовірнісний характер. В цьому напрямку відомими є роботи О.М. Трофимчука, В.М. Сеймова, Г.І. Черного, Ю.І. Немчинова, Н.М. Мар'єнкова, І.І. Гольденבלата, В.В. Болотіна, О.О. Савінова, В.К. Єгупова, Е.Є. Хачіяна, А.І. Цейтліна, Ш. Хакімова та ін.

У **другому розділі** окреслено методологію гібридних систем моделювання НДС будівель і споруд, що зазнали дії бойових вибухів, де використовувалися би інформаційні технології IoT при проведенні досліджень. Крім традиційних пакетів прикладних програм Ліра або SCAD, потрібні також IoT-системи датчиків неруйнівного контролю з дослідження міцнісних і вібраційних характеристик будівлі та ґрунтової основи. Така IoT-система за допомогою хмарних технологій об'єднана в одну інформаційну мережу та дозволяє в онлайн-режимі отримувати необхідну інформацію, що висвітлює особливості конкретної будівлі. Розглянемо рівняння коливань будівлі або споруди як багатомасової системи (рис. 5). Нижче отримано рівняння руху та частотні рівняння моделі будівлі з розподіленими

параметрами (консольний стрижень з урахуванням жорсткості при згині та зсуві, розподіленої маси та моменту інерції маси), які дозволяють визначати параметри власних і вимушених коливань будівлі при динамічних (кінематичних) впливах.

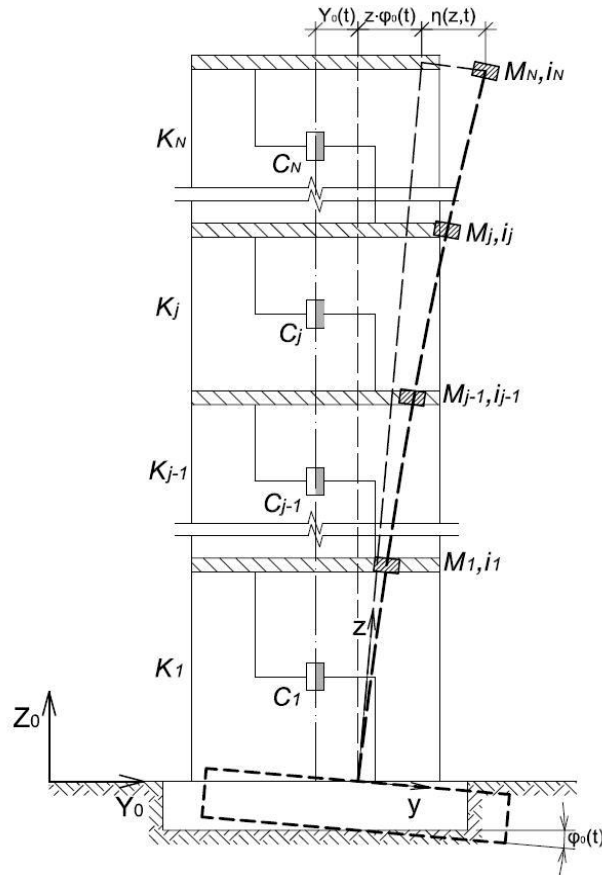


Рис. 5.– Плоска динамічна модель з розподіленими параметрами при кутових (t) динамічних впливах

Враховуються постійна згинальна E_1J та зсувна жорсткість kGF (коефіцієнт k залежить від форми поперечного перерізу будівлі), а також розподілені (на одиницю висоти будівлі) маса m і момент інерції маси i_0 . Переміщення точок будівлі – поступові $\eta(z,t)$ та кутові $\varphi(z,t)$ – залежать від координати z і часу t . Рівняння руху отримано з використанням принципу Гамільтона, згідно з яким функціонал дії S в часовому інтервалі від t_1 до t_2 визначається за формулою:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} (T - U) dt, \quad (1)$$

де T і U – кінетична та потенціальна енергії (врахування сил демпфірування розглянуто нижче). Кінетична енергія T (для всіх елементарних мас будівлі $\rho dF dz$) може бути представлена так:

$$T = T_0 + T_1 + T_2, \quad T = \frac{1}{2} \int_0^h \left\{ \int_{(F)} \rho v_N^2 dF \right\} dz, \quad (2)$$

Де

$$T_0 = \frac{1}{2} \int_0^h \left\{ \int_{(F)} \rho \left[(\dot{Y}_0 + z\dot{\varphi}_0)^2 + \dot{\varphi}_0^2 y^2 \right] dF \right\} dz, \quad T_1 = \int_0^h \left\{ \int_{(F)} \rho \left[(\dot{Y}_0 + z\dot{\varphi}_0)\dot{\eta} + \dot{\varphi}_0\dot{\varphi} y^2 \right] dF \right\} dz =$$

$$= \int_0^h \left\{ (\dot{Y}_0 + z\dot{\varphi}_0)\dot{\eta} m + \dot{\varphi}_0\dot{\varphi} i_0 \right\} dz, \quad m = \int_{(F)} \rho dF, \quad i_0 = \int_{(F)} \rho y^2 dF; \quad (3)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \int_0^h \left\{ \int_{(F)} \rho(\dot{\eta}^2 + \dot{\varphi}^2 y^2) dF \right\} dz = \frac{1}{2} \int_0^h \{m\dot{\eta}^2 + i_0 \dot{\varphi}^2\} dz. \quad (4)$$

Потенціальна енергія U залежить тільки від відносних переміщень $\eta(z,t)$ та $\varphi(z,t)$ (відносно рухомої системи OYZ):

$$U = \frac{1}{2} \int_0^h \{E_1 J \varphi'^2 + GFk(\varphi + \eta')^2\} dz. \quad (5)$$

В результаті отримано варіацію функціонала дії в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \delta S = & \int_{t_1}^{t_2} \{ -E_1 J \varphi'(h,t) \delta \varphi_h - GFk[\varphi(h,t) + \eta'(h,t)] \delta \eta_h + \\ & + \int_0^h [E_1 J \varphi'' - GFk(\varphi + \eta') - i_0(\dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi})] \delta \varphi dz + \\ & + \int_0^h [GFk(\varphi' + \eta'') - m(\dot{\eta} + \dot{Y}_0 - z\dot{\varphi}_0)] \delta \eta dz \} dt. \end{aligned} \quad (6)$$

У (6) варіації $\delta \varphi_h$, $\delta \eta_h$ (залежать тільки від t) і $\delta \varphi(z,t)$, $\delta \eta(z,t)$ є малими, але довільними. Тому умова $\delta S = 0$ може виконуватися, якщо:

$$E_1 J \varphi'(h,t) = 0, \quad GFk[\varphi(h,t) + \eta'(h,t)] = 0; \quad (7)$$

$$E_1 J \varphi'' - GFk(\varphi + \eta') - i_0 \dot{\varphi} = i_0 \dot{\varphi}_0(t); \quad (8)$$

$$GFk(\varphi' + \eta'') - m\dot{\eta} = m\dot{Y}_0(t) - zm\dot{\varphi}_0(t). \quad (9)$$

Тут (7) відповідають крайовим умовам на вільному кінці консольного стрижня (верх будівлі). Рівняння (8) і (9) – це система двох диференціальних рівнянь руху у часткових похідних для невідомих функцій $\varphi(z,t)$ і $\eta(z,t)$. Після визначення цих двох функцій можна знайти внутрішні зусилля (момент і поперечну силу) в кожному перерізі будівлі:

$$M(z,t) = E_1 J \varphi'(z,t); \quad Q(z,t) = -GFk(\varphi + \eta'); \quad (10)$$

Теоретично-прикладною основою ПК Ліра Сапр є метод скінченних елементів (МСЕ). Реалізована в ПК Ліра Сапр версія МСЕ використовує принцип можливих переміщень

$$a(u, v) = (f, v), \quad (11)$$

де: u — точне рішення, що треба знайти; v — можливе переміщення; $a(u, v)$, (f, v) — можливі роботи зовнішніх та внутрішніх сил. Область, яка зайнята будівельною конструкцією, розбивається на скінченні елементи Ω_r , призначаються вузли та їхня ступінь свободи L_i (переміщення та кути повороту вузлів).

Важливою перевагою викладеного методу є те, що матриця жорсткості і вектор навантажень отримують підсумовуванням відповідних елементів матриць жорсткості і векторів навантажень, які побудовані для окремих скінченних елементів. Бібліотека скінченних елементів містить елементи, які моделюють роботу різноманітних типів конструкцій, серед яких: елементи стрижнів, чотирикутні та трикутні елементи плоскої задачі. Також у бібліотеці скінченних елементів знаходяться різні спеціальні елементи, які моделюють зв'язок скінченної жорсткості, пружну податливість між вузлами, елементи, задані

чисельною матрицею жорсткості. Всі скінченні елементи, які включено до бібліотеки, теоретично обґрунтовані, для них отримані оцінки похибки за енергією та за переміщенням. У ПК Ліра Сапр наближений розв'язок U_h має задовольняти головним кінематичним умовам і шукається у вигляді лінійної комбінації базисних функцій у наступному вигляді:

$$U_h = \sum_{i=1}^N u_i(t) \mu_i, \quad (12)$$

де: $u_i(t)$ — скалярні функції; μ_i — базисні функції відповідної статичної задачі, N — кількість ступенів свободи.

Динаміка за часом у загальному випадку передбачає задання чотирьох завантажень. Перше завантаження характеризує статичні характеристики конструкції (розподілення мас). Це може бути власна вага будівельних конструкцій або вага будівельних конструкцій з технологічними навантаженнями тощо (не є обов'язковим для задання — може бути відсутнім). Друге завантаження характеризує інерційні характеристики конструкції (розподілення мас). Воно може бути взяте з першого завантаження, зі щільності елементів, із зосереджених мас або зібране з комбінації перерахованих варіантів. Третє завантаження задає діюче динамічне навантаження на конструкцію. У четвертому завантаженні задаються демпфіруючі характеристики конструкції (не є обов'язковим для задання — може бути відсутнім). Після задання двох–чотирьох завантажень у послідовності, вказаній вище, для успішного виконання розрахунку необхідно задати параметри інтегрування рівнянь руху та вказати, які саме результати після розрахунку необхідні користувачеві: тільки переміщення, переміщення та зусилля, або переміщення, зусилля та розрахункові поєднання зусиль (рис. 6).

Прикладна методика визначення конструкційного ризику при динамічному впливі базується на основі зіставлення двох величин: параметра зовнішнього навантаження S , що визначається на основі розрахунку з урахуванням динамічного навантаження, та параметра опору конструкції R . Обидві величини розглядаються як випадкові і виражаються за допомогою однакових одиниць (параметрів). Граничний стан конструкції характеризується умовою:

$$R < S \text{ або } R - S < 0. \quad (13)$$

Область ризику, що допускається, m можна знайти за формулою:

$$m = R - S \quad (14)$$

Для всіх величин (m, R, S) приймається нормальний (або відмінний від нормального) розподіл, що характеризується двома параметрами: математичним сподіванням (\bar{R}, \bar{S} або \bar{m}) і середньоквадратичним відхиленням ($\delta_R, \delta_S, \delta_m$). При визначенні ризиків руйнування конструкцій використовують відомі залежності теорії ймовірностей. Імовірність потрапляння випадкової величини X у заданий інтервал (від $-x$ до x) для нормального розподілу визначається за формулою:

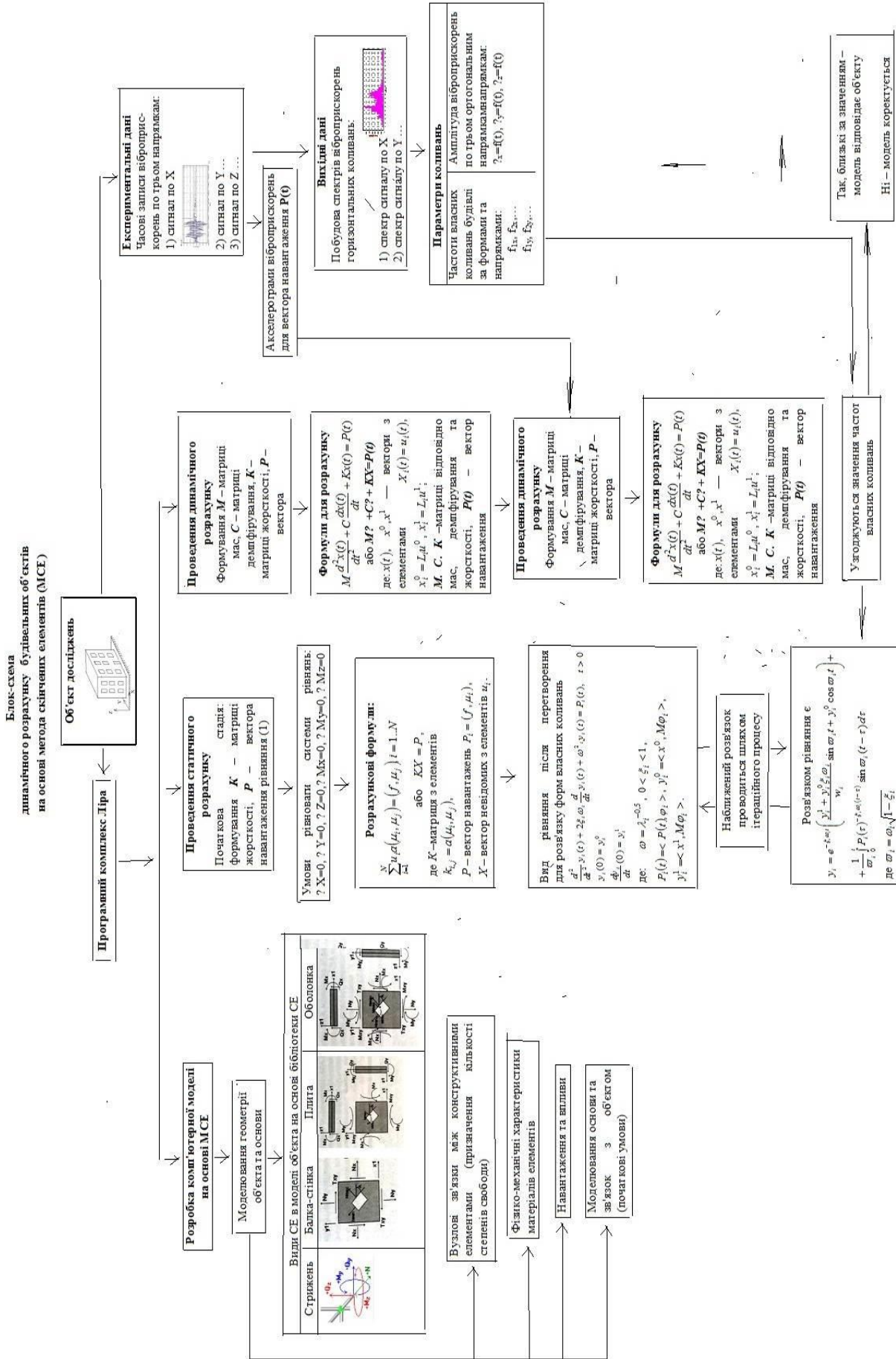


Рис. 6. Блок-схема динамічного розрахунку будівельних об'єктів на основі МСЕ

$$f(-x \leq X \leq x) = \int_{-x}^x \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\delta^2}\right] dx. \quad (15)$$

Ризик руйнування конструкції визначається за формулою:

$$risk = 0.5 \pm 0.5 \cdot \varphi\left(\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\delta_m}\right). \quad (16)$$

Отже, алгоритм обчислення ризику руйнування конструкції можна подати у наступному вигляді. Параметр узагальненого опору конструкції \bar{R} та узагальнений параметр прикладеного навантаження \bar{S} мають бути представлені однаковими величинами. В якості таких величин приймають контрольовані параметри граничних станів (деформаційні або силові).

1. Для всіх змінних, які застосовуються в розрахунку, повинні бути отримані статистичні дані (математичні сподівання \bar{R}, \bar{S} і середньоквадратичні відхилення δ_R, δ_S), обчислені для кожного граничного стану, що розглядається.

2. Узагальнені значення параметрів зовнішнього навантаження \bar{S} і δ_S визначаються на основі чинних норм або експериментальним шляхом.

3. Розраховане значення ризику руйнування порівнюється зі значенням, допустимим для цього граничного стану. На підставі цього порівняння робиться висновок про безпеку аналізованої конструкції.

У **третьому розділі** приведені результати експериментальних досліджень методами неруйнівного контролю динамічних впливів від ґрунтових ударних хвиль, що обумовлені промисловими вибухами на залізорудних кар'єрах м. Кривий Ріг за допомогою багатоканальної експериментальної системи сейсмомоніторингу. Приведені експериментальні дані по результатам визначенні міцності бетону та динамічним характеристикам будівлі (початково-крайовим умовам) по проспекту В. Лобановського, 6А, у місті Київ.

Визначення початково-крайових умов при динамічних впливах промислових вибухів на існуючу забудову м. Кривого Рогу за допомогою методів та приладів неруйнівного контролю зображено на рис. 7 та рис. 8. Було проведено аналіз та оцінку результатів натурних вимірювань вібрації при проведенні вибухових робіт в залізорудних кар'єрах; підготовка висновків про вплив вібрації та звукових хвиль на технічний стан будівельних конструкцій та параметри акустичного режиму у будівлях при впливі масових вибухів. Методика інструментальних віброметричних обстежень передбачала вимірювання віброприскорень та віброшвидкості ґрунту та будівельних конструкцій у вертикальному та двох горизонтальних напрямках (по осях X та Y) згідно з ДБН Б.2.2-12:2019 та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. Спеціалізованою програмою ПОС виконано обробку зареєстрованих вібросигналів та їх спектральний аналіз. В результаті отримано амплітуди прискорень елементів будівельних конструкцій та ґрунту.



Рис. 7. Кар'єр залізної руди, м. Кривий Ріг.



Рис. 8. Віброметрична апаратура.

Аналіз спектрів прискорень ґрунту під час вибухів дозволив встановити, що переважаючі частоти перебувають у діапазоні 1–50 Гц. Існує можливість коливань перекриттів і стін будівель у резонансному режимі. З метою виключення осідань фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15 см/с^2 згідно діючих нормативних документів України.



Рис. 9. – Загальний вигляд зруйнованої частини будинку у рівні 19–21 поверхів (знімок наданий ТОВ «Червонозоряний-Сервіс»)

Визначення початково-крайових умов при динамічних впливах вибуху ракети по пр. Лобановського, 6А, м. Київ. Житловий будинок по проспекту Лобановського, 6А, введений в експлуатацію в 2009 році. 26 лютого 2022 року будинок зазнав руйнувань внаслідок влучання ракети під час обстрілу (рис. 9). На окремих ділянках 18–20 поверхів будинку технічний стан оцінюється за категорією «4» (аварійний). За категорією «3» (непридатний до нормальної експлуатації) – в рівні 17–27 поверхів відповідно. Визначено вібраційні характеристики частково зруйнованої будівлі (початково-крайові умови для чисельного вирішення початково-крайової задачі з математичного моделювання її напружено-деформованого стану) (рис. 10). Переважаючі частоти коливань будівлі з ушкодженнями по проспекту Лобановського, 6А, наведено у таблиці 1. Амплітудний спектр коливань цієї будівлі за напрямком Х в трьох точках за схемою 2 в рівні 1(а), 16(б) та 22(в) поверхів та амплітудний спектр коливань будівлі по пр. Лобановського, 6В, за напрямком Y в трьох точках за схемою 2 в рівні 1(а), 20(б) та 24(в) поверхів (аналог будівлі по проспекту Лобановського, 6А) наведено на рис. 11 та 12.

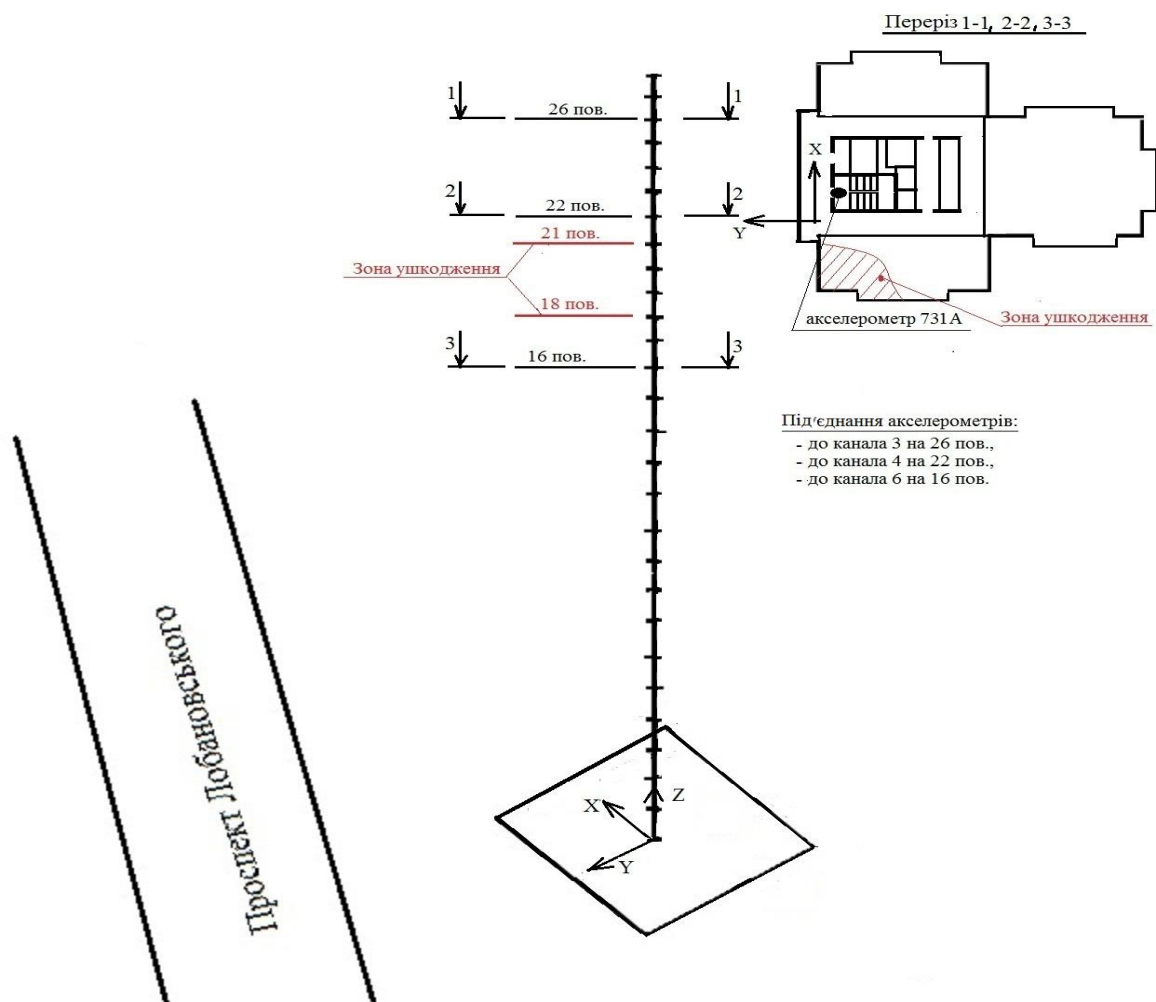


Рис. 10. – Розміщення датчиків віброприскорення при дослідженні будівлі по проспекту Лобановського, 6А з ушкодженнями в межах 18–21 поверхів (дата обстежень – 06.07.22).

Таблиця 1. Параметри коливань будівлі з ушкодженнями по пр. Лобановського, 6А

№ п/п	Дата вимірювань	Час вимірювання	Схема розміщення датчиків	Точка встановлення датчиків (№ каналів)	Напрямок вимірювання	Зареєстровані значення		
						Переважаючі частоти коливань, Гц		
1	06.07.22	16:58	1.1*	пов. 26 (к. 3)	Y	0,8281	2,8281	5,8281
				пов. 22 (к. 4)	Y	дані некоректні		
				пов. 16 (к. 6)	Y	0,8281	2,8281	5,5156
2	14.07.22	14:18	2.2*	пов. 22 (к. 3)	X	дані некоректні		
				пов. 16 (к. 4)	X	дані некоректні		
				пов. 1 (к. 6)	X	0,7344	2,3438	
3	14.07.22	14:59	3.2	пов. 22 (к. 3)	X	0,7344	0,9563	2,3569
				пов. 22 (к. 4)	X	дані некоректні		
				пов. 22 (к. 6)	X	0,7344	0,9063	2,3569
4	14.07.22	15:03	3.2*	пов. 22 (к. 3)	X	0,7384	0,9063	2,3281
				пов. 22 (к. 4)	X	дані некоректні		
				пов. 22 (к. 6)	X	0,7384	0,9375	2,3281
5	14.07.22	15:20	3.2	пов. 22 (к. 3)	X	0,7344	0,9375	2,4688
				пов. 22 (к. 4)	X	дані некоректні		
				пов. 22 (к. 6)	X	0,7344	0,9375	2,3750
6	14.07.22	15:24	3.2	пов. 22 (к. 3)	X	0,7344	0,9375	2,5469
				пов. 22 (к. 4)	X	дані некоректні		
				пов. 22 (к. 6)	X	0,7344	0,9375	2,4063

Примітка: * – вказані дані результатів обробки представлені на рис. 11 і рис. 12.

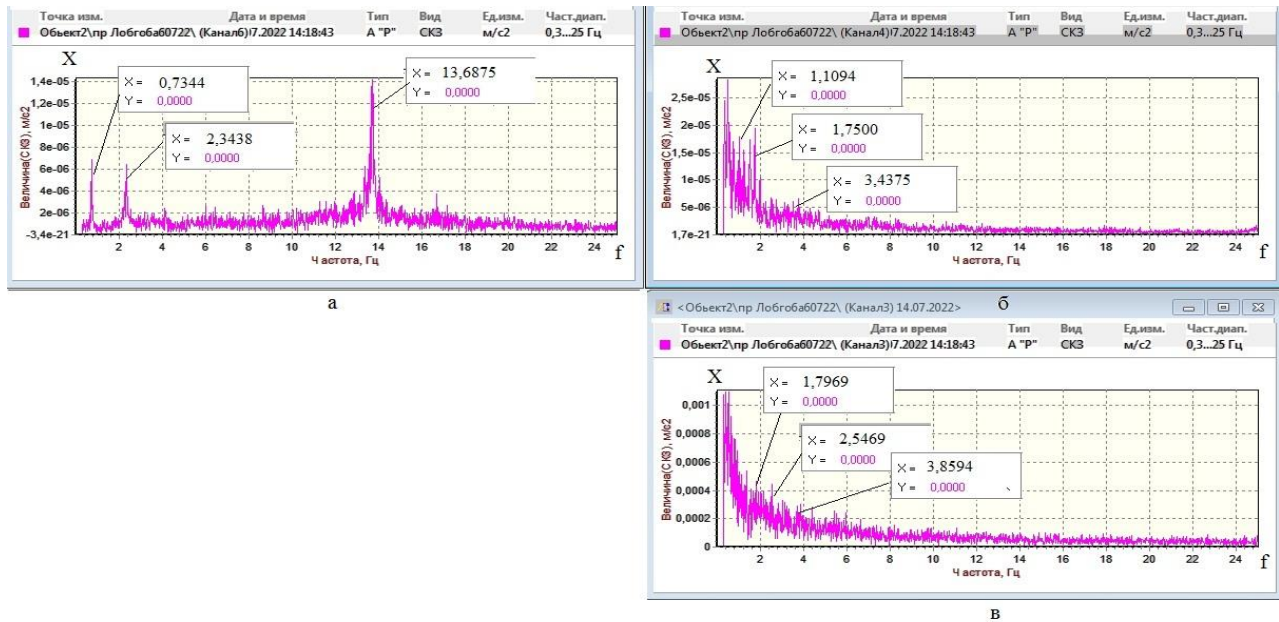


Рис. 11. Амплітудний спектр коливань будівлі за напрямком X в трьох точках за схемою 2 в рівні 1(а), 16(б) та 22(в) поверхів по проспекту Лобановського, 6А (в межах 18–21 поверхів)

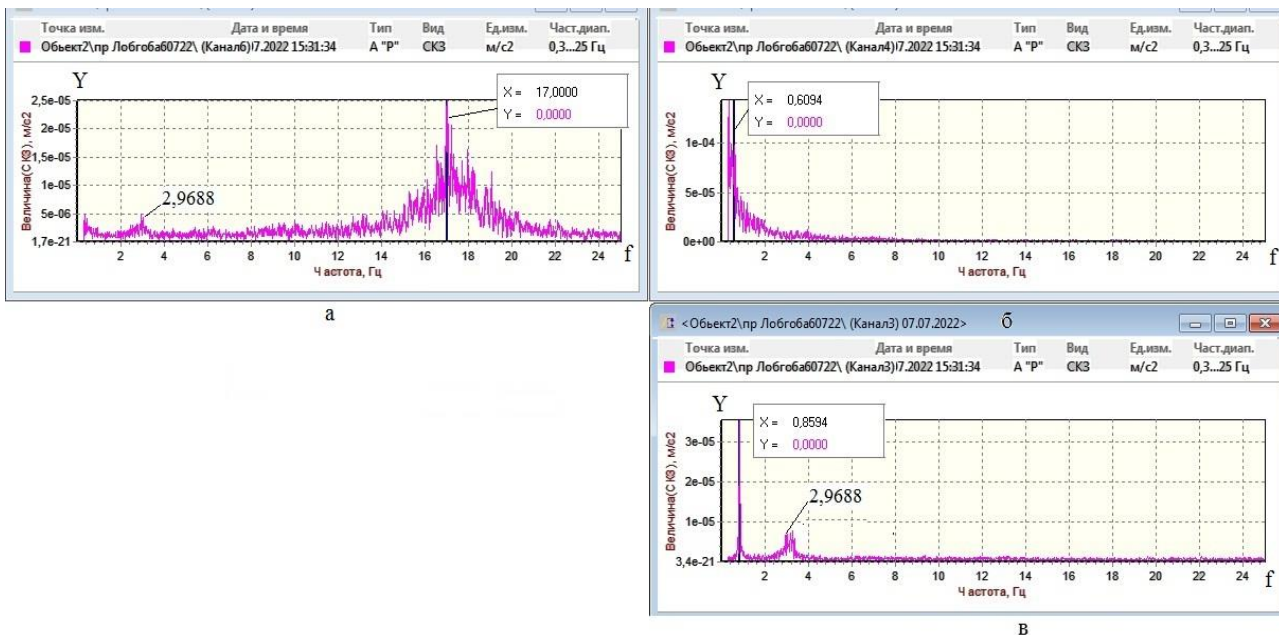


Рис. 12. Амплітудний спектр коливань будівлі по пр. Лобановського, 6В за напрямком Y в трьох точках за схемою 2 в рівні 1(а), 20(б) та 24(в) поверхів (аналог будівлі по пр. Лобановського, 6А)

У четвертому розділі наведено результати математичного моделювання НДС та оцінку життєвого циклу багатоповерхової будівлі в м. Києві після влучання ракети та відновлення, а також будівлі Центру дитячої творчості «Мрія» (Центру) в м. Кривий Ріг, що знаходиться на межі санітарної зони залізорудних кар'єрів та регулярно потерпає від ґрунтових ударних хвиль, спричинених промисловими вибухами в кар'єрах. На основі отриманих експериментальних даних фактичних рівнів прискорень та віброшвидкості ґрунту та конструкцій будівлі Центру можна зробити такі висновки:

1) зареєстровані при вибухах значення віброприскорень ґрунту в основі будівлі перебувають у діапазоні $[0,0238 \text{ м/с}^2, 0,643 \text{ м/с}^2]$;

2) зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в основі будівлі перебувають у діапазоні 0,0004–0,015 м/с, що відповідає 1–4 балам за шкалою сейсмічної інтенсивності С.В. Медведєва під час вибухів;

3) аналіз спектрів прискорень ґрунту дозволив встановити, що переважаючі частоти перебувають у діапазоні 1–54 Гц.

Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель у близькому до резонансного режимі. За рекомендаціями діючих нормативних документів, з метою виключення осідань фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням $0,15 \text{ м/с}^2$. Створено дві розрахункові схеми будівлі для проведення теоретичних досліджень: схема 1, у якій відсутні пошкодження, та схема 2 з основними пошкодженнями в несучих стінах будівлі Центру: розрахункова схема 1 відображає вихідний стан будівлі при введенні її в експлуатацію; розрахункова схема 2 – на момент обстеження. Головними критеріями для перевірки коректності цифрової моделі будівлі Центру є цифрові значення її динамічних параметрів (порівняння проводилося з результатами експериментального та візуального обстежень будівлі Центру). На рис. 13 представлено підсумковий графік зміни

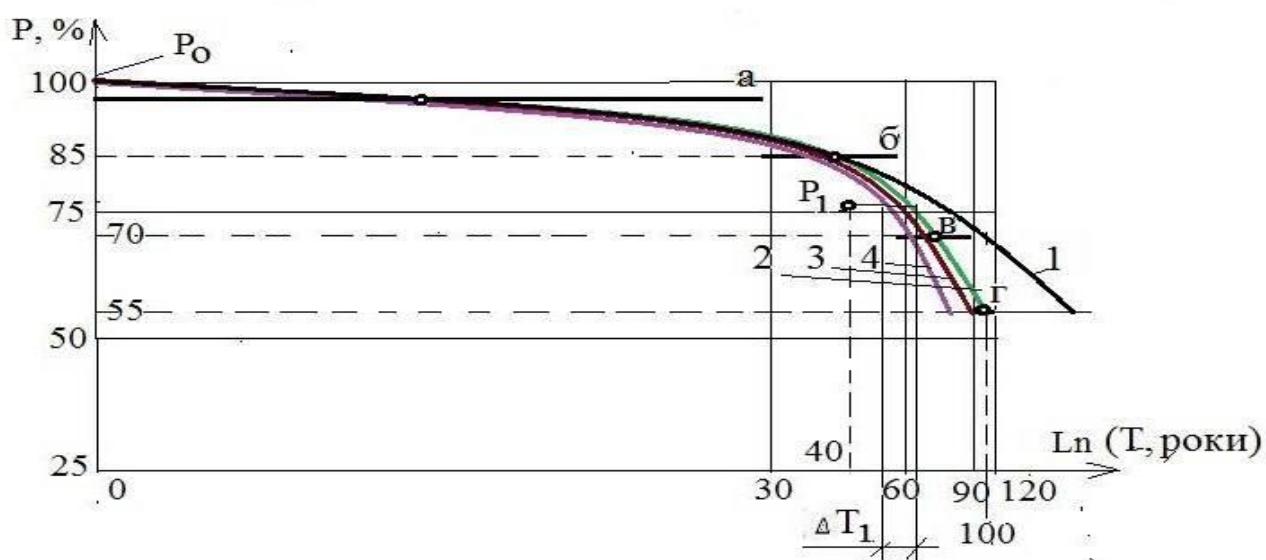


Рис. 13. Порівняльний графік зміни несучої здатності від строку експлуатації для несучого конструктивного елемента будівлі Центру та для будівлі в цілому. Відрізки прямих а, б, в, г – елементи діаграми зміни несучої здатності будівлі в цілому для чотирьох категорій технічного стану за весь період її експлуатації: а – будівля в нормальному стані, б – будівля в задовільному стані, в – будівля непридатна для нормальної експлуатації, г – будівля в аварійному стані. 1 – еволюція несучої здатності (НЗ) окремого несучого конструктивного елемента будівлі при динамічних впливах, 2 – еволюція НЗ цілої будівлі без врахування динамічних впливів, 3 – еволюція НЗ цілої будівлі без пошкоджень при динамічних впливах, 4 – еволюція НЗ цілої будівлі з ушкодженнями при динамічних впливах, т. Р₁ характеризує ТС будівлі Центру при проведенні експериментальних досліджень у 2005–2012 рр. після 40 років її експлуатації.

несучої здатності окремого несучого елемента та будівлі Центру в цілому на основі синтезу матеріалів візуального обстеження, експериментальних досліджень і математичного моделювання. Кожна ділянка діаграми зміни несучої здатності будівлі побудована для часового інтервалу близько 30 років і охоплює весь період проектної експлуатації будівлі (≈ 100 років). Діаграма представляє чотири

категорії технічного стану будівлі згідно з діючими нормативними документами. Графік зміни несучої здатності будівлі від часу експлуатації T представляє плавну криву, яка описується теоретичною залежністю $P=P_0-\Delta P(T, T^2)$. Точки перетину вертикалі, проведеної з середини інтервалу кожної ділянки діаграми, з графіком визначають значення і положення ділянки діаграми для відповідної категорії технічного стану будівлі.

Комп'ютерна модель будівлі по проспекту Лобановського, 6А в м. Києві з елементами ушкоджень в межах 18–21 поверхів наведена на рис. 2. Верифікацію моделі та розрахунки виконано у ПК Ліра Сапр-2021 з використанням розробленої просторової моделі фрагменту будинку (16–26 поверхи). Розглянуто два варіанти моделей: лінійна та нелінійна з урахуванням фізичної нелінійності бетону та арматури. Визначення несучої здатності перерізів монолітних залізобетонних пілонів будівлі виконувалося за деформаційним методом згідно з положеннями ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010 з використанням зусиль, отриманих за допомогою просторової лінійної та нелінійної моделей фрагменту будинку у програмному комплексі Ліра Сапр-2021. Результати визначення несучої здатності інших максимально завантажених пілонів надано у табл. 2.

Таблиця 2. Максимальні зусилля та несуча здатність перерізів максимально завантажених пілонів будинку

Поверх (позначка)	Осі	Поздовжнє зусилля стиску N, кН	Згинальний момент, M, кНм	Несуча здатність перерізу [N], кН	Відношення несучої здатності перерізу до зусилля N
17 (+49,200)	2/Ж	8050	131	8211	1,02
17 (+49,200)	2/Е	5400	93	8100	1,5
17 (+49,200)	2/Д	4600	37	7820	1,7
20 (+58,200)	2/Ж	6466	91	5900	0,9
20 (+58,200)	3/Ж	6678	86	5946	0,89

Дані табл. 2 свідчать про необхідність підсилення пошкоджених пілонів на 18–21 поверхах будинку, тому що відношення несучої здатності перерізу до поздовжнього зусилля стиску на 20 поверсі в осях 2/Ж та 3/Ж не лише не має запасу міцності, як на поверсі 17 в осях 2/Е та 2/Д, а навіть менше за одиницю. Крім того, на 17 поверсі в осі 2/Ж теж немає потрібного запасу міцності (1.02), що недопустимо для нормальної експлуатації. Окремі результати розрахунків переміщень та напружень в елементах перекриття та пілонів наведено на рис. 14. Отримані дані розрахунків несучої здатності пілонів будинку та даних табл. 2 підтверджує необхідність підсилення пошкоджених пілонів на 18–21 поверхах будинку; у пілонах за осями 2/Ж та 3/Ж на 18, 19 та 20 поверхах не забезпечена несуча здатність, тому необхідно ці пілони або підсилити, або замінити на нові.

На наступному етапі виконано оцінку ризику руйнування конструкцій будівлі та побудовано криву її життєвого циклу¹, що дозволило зробити кількісну оцінку залишкового ресурсу будівлі. План на рис. 15 виконано в декартових координатах

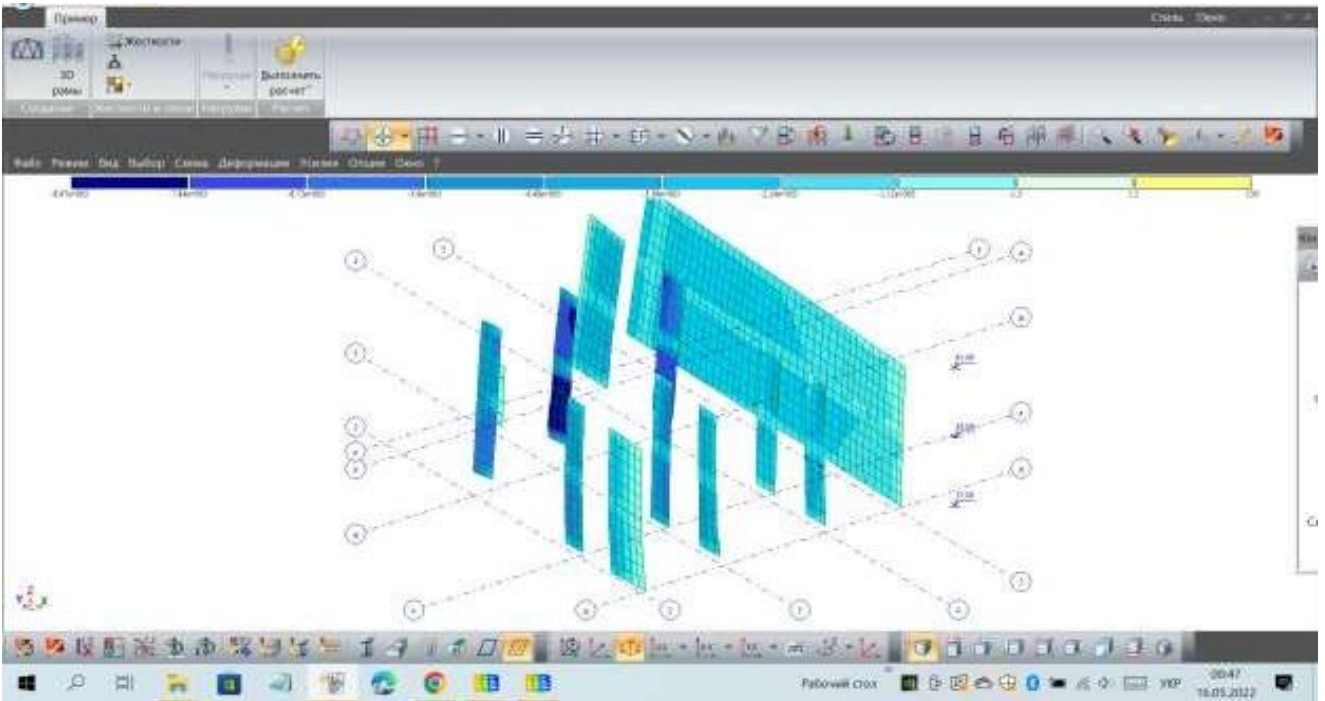


Рис. 14. Напруження N_y у пілонах 19 та 20 поверхів за результатами розрахунку нелінійної моделі фрагменту будинку

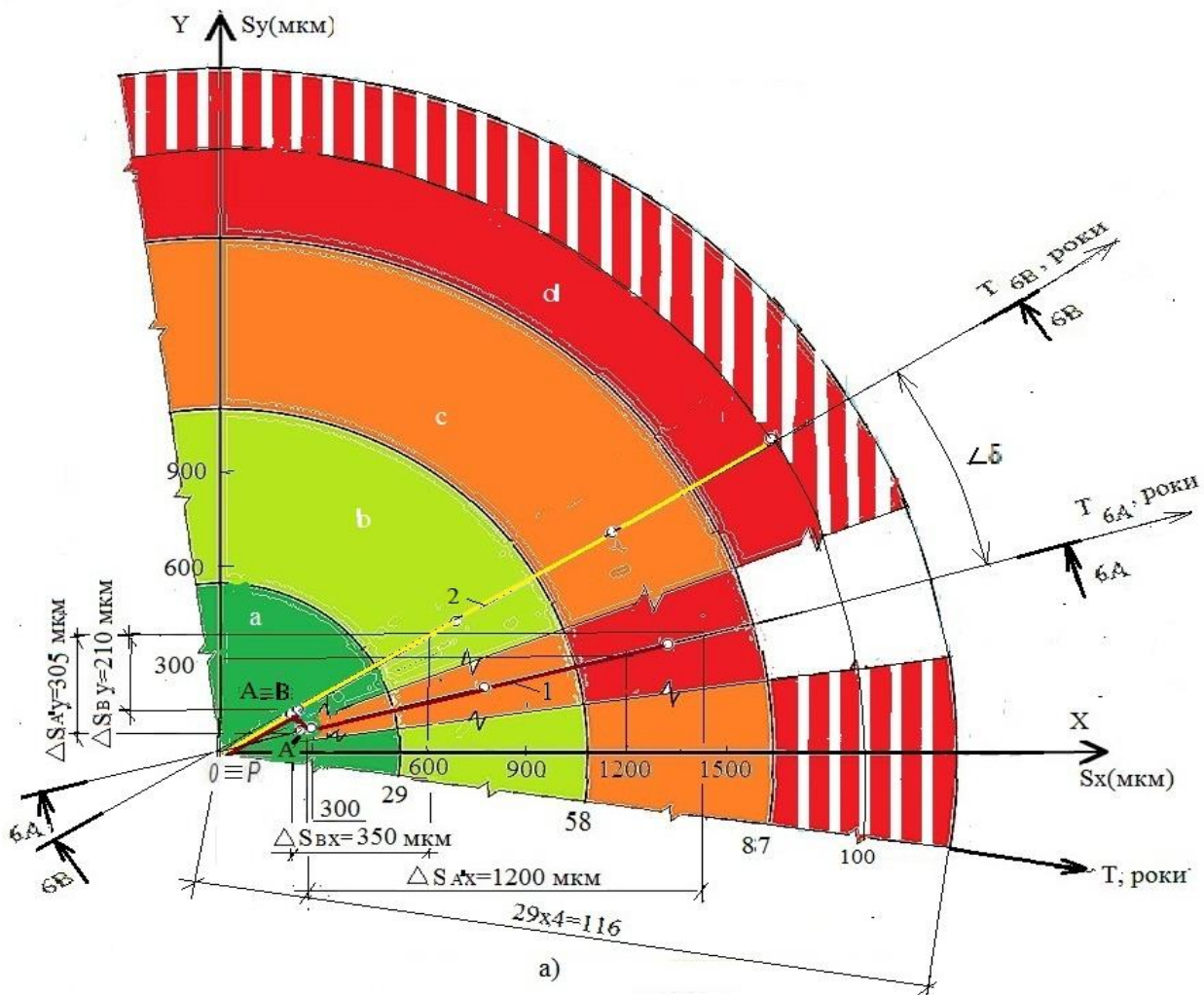


Рис. 15. Показані проєкції просторового графіка кривих зміни несучої здатності 1 та 2 як функцій часу для будівель 6А та 6В по проспекту Лобановського в м. Києві; а) – вид у плані

для секторального зображення чотирьох зон технічного стану багатопверхових житлових будівель із заданим терміном експлуатації T (років). На секторній діаграмі сектору **a** відповідає будівля, що за діючими будівельними нормами перебуває у нормальному стані, сектору **b** – що знаходиться в задовільному стані. Будівлі, що потрапили в сектор **c** або **d**, потребують особливої уваги, тому що сектор **c** – непридатний для нормальної експлуатації стан будівлі, сектор **d** – будівля знаходиться в аварійному стані. Середній термін експлуатації будівлі для кожного технічного стану складає приблизно 29 років. Для будинку 6А зона **b** (будівля в задовільному стані) взагалі відсутня. Це підтверджується також усними свідченнями мешканців пошкодженної будівлі за адресою: проспект Лобановського, 6А, м. Київ. На рис. 16 показано дві площини (6А–6А та 6В–6В) для кривих зміни несучої

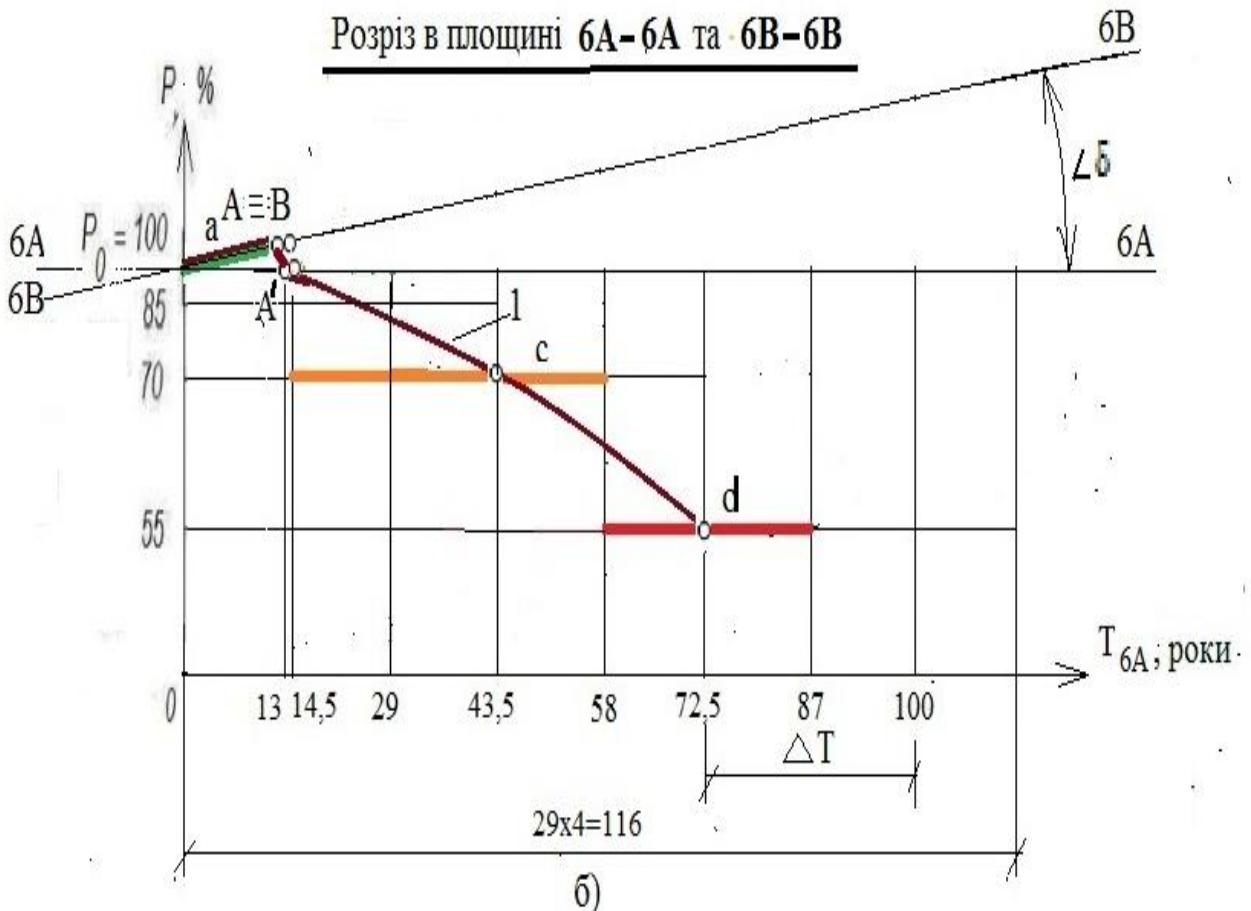


Рис. 16. Показані проєкції просторового графіка кривих зміни несучої здатності 1 та 2 як функцій часу для будівель 6А та 6В по проспекту Лобановського в м. Києві; б) – осьовий розріз в площині 6А–6А та 6В–6В для просторової кривої зміни несучої здатності 1 будівлі 6А до та після ушкоджень

здатності 1 та 2, відповідно. Їх положення на горизонтальній площині визначають прями напрямку дії сумарних максимальних вібропереміщень будівлі 6А та будівлі 6В. Ці напрямки визначаються розрахунком проєкцій сумарних максимальних вібропереміщень на основі даних частотних характеристик кожної з будівель за напрямками X та Y . Ці вібропереміщення визначені для точки A' будівлі 6А після ушкоджень та точки B будівлі 6В як аналога будівлі 6А. Дані щодо максимальних вібропереміщень для точки A будівлі 6А до одержання ушкоджень при відсутності реальних даних приймаються тотожними

до точки В будівлі 6В. Будівлі 6А та 6В були здані в експлуатацію в 2009 р. Термін експлуатації будівлі 6А на момент появи ушкоджень складав 13 років. Точки А' та В лежать на дузі кола з радіусом $T=13$ років. Вказані значення проєкцій сумарних вібропереміщень точок А' та В показані на рис. 16. Вибір вібропереміщень в рівні верхніх поверхів висотних будинків в якості параметра для порівняння й оцінки достовірності одержаних результатів не випадковий, тому що його можна розрахувати при вібровимірюваннях об'єкта та при проведенні теоретичних досліджень комп'ютерної моделі цього ж об'єкта на основі розрахункових комплексів «Ліра» тощо. Для точок А' та В названих будівель розрахункові значення проєкцій сумарних максимальних вібропереміщень на осі Х та Y при коливаннях будівель складають: для точки А' будівлі 6А – $\Delta S_{A'X}=1200$ мкм, $\Delta S_{A'Y}=305$ мкм; для точки В будівлі 6В – $\Delta S_{BX}=210$ мкм, $\Delta S_{BY}=350$ мкм. Для можливості порівняння даних максимальних вібропереміщень для будівель 6А та 6В вони були приведені для ідентичних точок вимірювання А та В на 24 поверсі будинків. Графік кривої несучої здатності 1 будівлі 6А має просторовий характер. До точки А, яка є тотожною точці В, відсутні ушкодження в будинку 6А. Тому крива 1 для будинку 6А буде співпадати з кривою несучої здатності 2 для будівлі 6В. В цій точці характеристики коливань будинків вважаємо однаковими. Після нанесення ушкоджень в будинку 6А змінюються параметри коливань (переважаючі частоти, амплітуди тощо). Ці зміни в будівлі 6А відображені в точці А'. З цього моменту продовження кривої несучої здатності будівлі 6А будується в площині 6А–6А. Будівля стає непридатною для нормальної експлуатації (зона с), більш податливою до переміщень за визначеними напрямками Х та Y. Це помітно при співставленні значень відповідних проєкцій максимальних вібропереміщень в ідентичних точках будівель А та В, які є на рис. 16.

За наявних умов термін експлуатації будинку 6А після нанесених ушкоджень згідно з рис. 16 знижується приблизно на $\Delta T \approx 30$ років. Для відновлення нормального технічного стану будівлі 6А, повернення мешканців будинку до своїх квартир, збільшення терміну експлуатації будинку в порівнянні з наявним (≈ 70 років) необхідно провести відновлювальні роботи. Падіння ресурсу у порівнянні з непошкодженим станом оцінюється у 25–35 років. Відповідний економічний збиток оцінюється у 25–35% первісної вартості будівлі без урахування корисної вартості квартир. Отримані дані розрахунків несучої здатності пілонів будинку (по проспекту Лобановського, 6А, м. Київ, Україна, після влучення ракети) дозволяють зробити наступні висновки: аналіз отриманих даних підтверджує необхідність підсилення пошкоджених пілонів на 18–21 поверхах будинку. У пілонах за осями 2/Ж та 3/Ж на 18, 19 та 20 поверхах не забезпечена несуча здатність, тому необхідно ці пілони або підсилити, або замінити на нові. При цьому попередні припущення про необхідність зносу всієї будівлі не підтвердилися. Наведені розрахункові дані у відповідних окремих випадках корелюють з *наближеною* методикою оцінки залишкового ресурсу³.

³ Фаренюк, Г., Белоконь, О., Немчинов, Ю., Мар'єнков, М., Богдан, Д., Бабік, К., & Байтала, Х. (2022). Оцінка стану будівель і споруд вібродинамічним методом після військових пошкоджень. Наука та будівництво, 32(2). Retrieved із <http://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/192>

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки та програмної реалізації гібридної напівнатурної системи, яка включає визначення складу, структури, настроювання та верифікацію комп'ютерної моделі багатоповерхових будівель (з урахуванням їх поточного технічного стану), які зазнали впливу бойових дій або регулярних промислових вибухів; підготовку первинної інформації за допомогою експериментальних методів та апаратури неруйнівного контролю будівельних конструкцій (коректне задання початково-крайових умов); поглиблену інтерпретацію результатів математичного моделювання з метою оцінки залишкового ресурсу будівель та споруд.

В роботі отримано такі нові наукові та практичні результати:

1. Систематизовані та узагальнені наявні дані щодо розробки математичних моделей та чисельних методів моделювання будівель та споруд у полі масових та поверхневих сил, а також щодо експериментальних інформаційно-аналітичних систем їх технічної діагностики, нормативні документи України, європейських країн і міжнародних стандартів щодо допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, споруди, а також проектного терміну їх експлуатації та довговічності.

2. Уперше розроблено модель гібридної напівнатурної системи математичного моделювання НДС будівель та споруд з урахуванням їх поточного технічного стану (пошкоджень та руйнувань внаслідок бойових дій або регулярних динамічних впливів (промислових вибухів)), що включає настроювання та верифікацію комп'ютерної моделі з обов'язковим визначенням її складу та структури.

3. Уперше реалізовано алгоритмічну організацію математичного моделювання напружено-деформованого стану пошкоджених внаслідок бойових дій багатоповерхових будівель з експериментальним уточненням початково-крайових умов для коректного забезпечення підготовки первинної інформації за допомогою методів неруйнівного контролю.

4. Узагальнено прямий динамічний метод розрахунку каркасних багатоповерхових залізобетонних будівель при динамічних знакозмінних навантаженнях внаслідок влучання ракет або снарядів, вдосконалено та поглиблено інтерпретацію результатів розрахунків з метою їх використання для прогнозу залишкового ресурсу будівель.

5. Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені при розробці ДБН В.1.2-12-2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» та в будівельну практику.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Стаття, що проіндексована у наукометричній БД SCOPUS:

1. Trofymchuk O.M., Kaliukh I.I., Dunin V.A., Kyrash S.Y. Dynamic certification and assessment of the buildings life cycle under regular explosive impacts / Системні дослідження та інформаційні технології, ПІСА (IASA) 2022, № 4. С. 100-118. Режим доступу: <http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/255010>

Статті, що входять до наукових періодичних фахових видань, затверджених МОН України:

2. Дмитрієв Д.А., Кураш С.Ю. Особливості визначення основних гідрологічних характеристик з урахуванням техногенного впливу. / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск № 66. Одеса. 2017. С. 141-147. Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1tGqjj1vY6KWQC3P6CUtPYkvqwDxCZVKH/view>

3. Дмитриев Д.А., Кураш С.Ю., Хекало Д.В. Особенности обследования состояния конструкций зданий и сооружений в условиях воздействия ионизирующего излучения / Наука та будівництво. 1(11)'2017. Київ. 2017. С. 48-51. Режим доступу: <http://journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/34>

4. Кураш С.Ю., Калюх Ю.І., Хавкін О.К., Калюх Т.Ю. Застосування теорії збалансованого ризику для визначення вірогідності характеристик слабких ґрунтів в умовах щільної міської забудови. // Науково-технічний збірник “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві” Том 10, №1. Вінниця. 2011. С. 71-75. Режим доступу: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/149>

5. Застосування нових державних норм ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків», ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» та ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» до об'єктів висотного будівництва / Ю.І. Немчинов, М.Г. Мар'єнков, Ю.І. Калюх, О.К. Хавкін, К.В. Єгупов, О.Г. Недзвецька, А.Є. Вусатюк, Т.Ю. Калюх, В.А. Дунін, С.Ю. Кураш // Вісник Одеської Державної Академії Будівництва та Архітектури. Одеса. Вид-во ОДАБА, 2009. –Вип. 36. С. 315–321. Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=JRN&P21DBN=JRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=I=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9670495

6. Кураш С. Ю., Сазонова И.Р., Калюх Ю.И., Каргопольцева Т.Г. Влияние глубокого котлована на изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива в условиях плотной городской застройки г. Киева. // «Будівельні конструкції». Випуск 71, Книга 1, Київ. 2008. С. 434-442. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=nCYyI5gAAAAJ&citation_for_view=nCYyI5gAAAAJ:d1gkVwhDpl0C

7. Кураш С.Ю., Калюх Ю.И. Численное моделирование деформационных процессов в грунте при устройстве глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки г. Киева. // «Світ геотехніки», Випуск 2. Запоріжжя, 2008.

- С. 22-25. Режим доступу: http://www.niisk.com/naukovo-tehnicna-rada/publ-kats-za-napryamkom-naukovikh-dosl-dzhen-kurasha-s-yu.php?clear_cache=Y
8. Кураш С.Ю. Ґрунтові деформаційні процеси при будівництві поруч із існуючими спорудами // «Світ геотехніки». Випуск 1. Запоріжжя. 2007. С. 22-25. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=nCYyI5gAAAAJ&citation_for_view=nCYyI5gAAAAJ:zYLM7Y9cAGgC
9. Кураш С.Ю. Фізичне знесення будинку в умовах щільної міської забудови. // «Будівельні конструкції», Випуск 66, Київ. НДІБК. 2007. С. 378-382. Режим доступу: http://www.niisk.com/naukovo-tehnicna-rada/publ-kats-za-napryamkom-naukovikh-dosl-dzhen-kurasha-s-yu.php?clear_cache=Y
10. Кураш С. Ю. Деформаційні процеси при будівництві поруч із існуючими спорудами // «Будівельні конструкції» Випуск 63, Київ. НДІБК. 2005. С. 118-124. Режим доступу: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=nCYyI5gAAAAJ&citation_for_view=nCYyI5gAAAAJ:Y0pCki6q_DkC
11. Кураш С.Ю. Будівництво поблизу існуючих будівель і споруд, що мають бути збережені. // «Будівельні конструкції» Випуск 61, том 2. Київ. НДІБК. 2004. С. 346-351. Режим доступу: http://www.niisk.com/naukovo-tehnicna-rada/publ-kats-za-napryamkom-naukovikh-dosl-dzhen-kurasha-s-yu.php?clear_cache=Y

Статті у наукових виданнях та матеріалах конференцій:

12. Kurash S. Yu. Soil Sinkholes in Conditions of Compact City Planning. // Geotechnical Engineering 20. View of Young European Geotechnical Engineers. / Department of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology. Czech Republic. Brno. 2010, P. 16-21. Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://labmz1.natur.cuni.cz/~david/issmge/download/EYGEC_report_Brno_2010.pdf
13. S. Kurash Crack formation in buildings in cutting of deep foundation pit. // 19th European Young Geotechnical Engineers' Conference, Győr. Hungary, 2008 P. 203-207. Режим доступу: http://seags.ait.asia/resources/8432_19th-european-young-geotechnical-engineers-conference-2008-gyor-hungary/
14. S. Y. Kurash. Soil deformation processes during construction near existing buildings. // «Proceedings of the 17th European young geotechnical engineers' conference» Zagreb. Croatia. 2006. P. 506-511. Режим доступу: <https://www.hgd-cgs.hr/savjetovanja/the-17th-european-young-geotechnical-engineers'-conference/?lang=en>
15. Кураш С.Ю. Вплив техногенних суфозійних процесів на стан існуючих будинків. // Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель. Київ. ЗНДІЕП, 2005. С. 203-208. Режим доступу: http://www.niisk.com/naukovo-tehnicna-rada/publ-kats-za-napryamkom-naukovikh-dosl-dzhen-kurasha-s-yu.php?clear_cache=Y

Державні будівельні норми України

16. ДБН В.1.2-12-2008 Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. -Київ: Мінрегіонбуд України. 2008. -33 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=45889

АНОТАЦІЯ

Кураш С.Ю. Математичне моделювання реакції будівель та споруд на вибухові впливи - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи». – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Київ, 2023.

Метою дисертаційної роботи є математичне моделювання реакції будівель і споруд на бойові та промислові вибухи, розробка комплексної оцінки падіння їх життєвого ресурсу. Вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки та програмної реалізації гібридної напівнатурної системи, яка включає визначення складу, структури, настроювання та верифікацію комп'ютерної моделі багатоповерхових будівель (з урахуванням їх поточного технічного стану), які зазнали впливу бойових дій або регулярних промислових вибухів; підготовку первинної інформації за допомогою експериментальних методів та апаратури неруйнівного контролю будівельних конструкцій (коректне задання початково-крайових умов); поглиблену інтерпретацію результатів математичного моделювання з метою оцінки залишкового ресурсу будівель та споруд. Уперше розроблено модель гібридної напівнатурної системи математичного моделювання НДС будівель та споруд з урахуванням їх поточного технічного стану (пошкоджень та руйнувань внаслідок бойових дій або регулярних динамічних впливів (промислових вибухів)), що включає настроювання та верифікацію комп'ютерної моделі з обов'язковим визначенням її складу та структури. Уперше реалізовано алгоритмічну організацію математичного моделювання напружено-деформованого стану пошкоджених внаслідок бойових дій багатоповерхових будівель з експериментальним уточненням початково-крайових умов для коректного забезпечення підготовки первинної інформації за допомогою методів неруйнівного контролю. Узагальнено прямий динамічний метод розрахунку каркасних багатоповерхових залізобетонних будівель при динамічних знакозмінних навантаженнях внаслідок влучання ракет або снарядів, вдосконалено та поглиблено інтерпретацію результатів розрахунків з метою їх використання для прогнозу залишкового ресурсу будівель. Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені при розробці ДБН В.1.2-12-2008. «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки» та в будівельну практику.

Ключові слова: математичне моделювання, напружено-деформований стан, ризик, бойові динамічні впливи, промислові вибухи, інтегральна діагностика, неруйнівні методи, життєвий ресурс.

ANNOTATION

Kurash S.Yu. Mathematical modeling of the reaction of buildings and structures to explosive effects - Copyright of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences in the specialty 01.05.02 "Mathematical modeling and computational methods". – Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The aim of the dissertation is the mathematical modeling of the response of buildings and structures to military and industrial explosions, the development of a comprehensive assessment of the decline in their life expectancy. The actual scientific and applied problem of the development and software implementation of a hybrid semi-natural system, which includes the determination of the composition, structure, configuration and verification of the computer model of multi-story buildings (taking into account their current technical condition), which were affected by hostilities or regular industrial explosions, was solved; preparation of primary information using experimental methods and equipment for non-destructive control of building structures (correct setting of initial boundary conditions); in-depth interpretation of the results of mathematical modeling in order to assess the residual resource of buildings and structures. For the first time, a model of a hybrid semi-natural system of mathematical modeling of VAT of buildings and structures was developed, taking into account their current technical condition (damage and destruction as a result of hostilities or regular dynamic effects (industrial explosions)), which includes setting up and verification of the computer model with a mandatory definition of its composition and structure. For the first time, the algorithmic organization of mathematical modeling of the stress-strain state of multi-story buildings damaged as a result of hostilities was implemented with experimental refinement of the initial boundary conditions to ensure the correct preparation of primary information using nondestructive testing methods. The direct dynamic method of calculation of frame multi-story reinforced concrete buildings under dynamic sign-changing loads due to the impact of missiles or projectiles has been generalized, the interpretation of calculation results has been improved and deepened in order to use them to forecast the residual resource of buildings. Scientific and methodological developments of the dissertation work were implemented during the development of DBN V.1.2-12-2008. "Construction in densely built-up conditions. Safety requirements" and in construction practice.

Keywords: mathematical modeling, stress-strain state, risk, combat dynamic effects, industrial explosions, integral diagnostics, non-destructive methods, life resource.