

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
(МІНРЕГІОН)

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ  
ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ»  
(ДП НДІБК)

Дунін Володимир Андрійович



УДК 624.042.7; 699.841

**ВПЛИВ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ  
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ м. КРИВИЙ РІГ**

05.23.01 — Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ — 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) Мінрегіону.

Науковий  
керівник:

доктор технічних наук, професор  
**Калюх Юрій Іванович**,  
Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», провідний науковий співробітник.

Офіційні  
опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Бойко Віктор Вікторович**,  
Інститут гідромеханіки Національної академії наук України, завідувач науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів

кандидат технічних наук, доцент  
**Довженко Оксана Олександрівна**,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів

Захист відбудеться 29 вересня 2021 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.833.01 у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» за адресою: 03037, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» за адресою: 03037, м. Київ, вул. Преображенська, 5/2.

Автореферат розісланий « 28 » серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради К 26.833.01  
К.Т.Н., С.Н.С.

  
Ю.С. Слюсаренко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найважливішою складовою гірничодобувної промисловості України є видобуток залізної руди, який ведеться насамперед на залізорудних кар'єрах м. Кривий Ріг відкритим способом за допомогою масових промислових вибухів. За своєю дією сейсмічні коливання від промислових вибухів і слабких землетрусів мають багато спільного. Відмінності їх полягають у тому, що при сейсмічних коливаннях від промислових вибухів амплітуди зміщення або швидкості коливань ґрунту мають меншу повторюваність, тобто меншу загальну тривалість струсу і більшу ступінь загасання. Однак при короткоуповільненому підриві великого числа зарядів кількість коливань з близькими за частотою та величиною амплітудами значно збільшується. Загальна тривалість коливань зростає іноді до 15 с. А це вже стає небезпечним для будівель і споруд м. Кривий Ріг, адже збільшується ймовірність виникнення їх резонансних коливань, в результаті яких значно збільшуються зміщення та швидкості коливань окремих елементів будівель і споруд.

До теперішнього часу існуючі родовища в Кривому Розі розширилися настільки, що межі санітарно-охоронних зон кар'єрів проходять в безпосередній близькості або охоплюють житлові квартали міста (рис. 1). В охоронній зоні кар'єрів на ділянках житлових кварталів на сьогодні вже знаходяться об'єкти соціально-культурного значення (школи, центри дитячої творчості, дитячі садки, церкви та ін.) та житлові будинки заввишки 5-9 поверхів.



Рис. 1 - Пошкодження зовнішніх стін будівлі середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій, розміщеної на кордоні охоронної зони кар'єра ВАТ «ПівнГЗК».

Дуже частими є такі порушення як осипання побілки. Спостерігаються також порушення застосування вікон внаслідок перекосу віконних рам в будівлях, що мають відносно рухомі несучі стіни. Відомі випадки розшарування фундаментів від впливу вибухів. Близькість санітарно-охоронних зон до межі міста вимагає адміністративних заходів обмеження сейсмічних впливів вибухів на будівлі та споруди в контрольованій зоні. До таких заходів належить встановлення граничної маси вибухових речовин та регулярність вибухів. Тому цілком зрозумілий той інтерес, який проявляється

останніми роками місцевими органами влади Кривого Рогу, керівництвом гірничо-збагачувальних комбінатів, екологічними організаціями та ін. до вивчення сейсмічного впливу промислових вибухів та якісного визначення ширини охоронних

зон поблизу кар'єрів. До теперішнього часу немає науково обґрунтованих і застосовуваних у широкому діапазоні промислових умов теоретичних методів прогнозу сейсмічної небезпеки вибухів і методів захисту споруд від їх шкідливого сейсмічного впливу. Діючі єдині правила безпеки при вибухових роботах не можуть враховувати всієї різноманітності умов, в яких проводяться вибухові роботи.

Фундаментальні положення про виникнення і поширення сейсмічних хвиль від вибухів викладені в роботах Г. А. Гамбурцева, Б. Д. Дерягіна, М. А. Садовського. Послідовниками у вивченні сейсмічних хвиль були С. В. Медведєв, В. Ф. Богацький. Вивченню впливу сейсмічних хвиль на будівлі і споруди при здійсненні ущільнення просідаючих ґрунтів на майданчиках майбутньої забудови шляхом проведення вибухів належать роботи Ю.І. Немчинова, М.Г. Мар'єнкова, А.М. Риждова. Значний внесок у вивчення технічного стану (ТС) залізобетонних конструкцій внесли Альошин Н.Н., Бамбура А. М., Глуховський В.П., Помешкін П.В., Улицький Бартоломей А.А., Денисов О.Г., Бойко В.В., Лучко Й. Й., Довженко О.О., Ободовський А.А., Пресняков О.Б., Джонс Р., Фекеоару І., Судаков В.В., Красильников В.А., Защук І.В., Сафаров В.А., Почтовик Г.Я., Трофимчук О.М., Савицький О.А., Седін В.Л., Семко О.В. та ін. дослідники. Експериментально-теоретичні дослідження проводили Савін С.М., Немчинов Ю.І., Бамбура А.М., Клімов Ю.А., Маренков М.Г., Глуховський В.П., Ярас В.І., Гараджа А.Д., Ambrosini D., Roesset J.M., Kim D.S., Chen C.H., Carino N.J. та ін.

Визначення щільності потоку сейсмічної енергії вимагає великого обсягу статистичного матеріалу, який накопичується на основі інструментальних вимірювань для конкретних умов. Наявних даних для прогнозування зазначеного параметра вибуху без проведення інструментальних вимірювань недостатньо. Все перераховане вище у сукупності і визначає актуальність завдань дисертаційних досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукова спрямованість дисертації корелює з науково-технічною політикою України, що визначена у статті 45 Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» (редакція від 18.04.2021). Дисертацію виконано у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Результати проведених наукових досліджень за темою дисертації відповідали періодично і плановим завданням відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд в 2000—2021 роках та увійшли до звітів багатьох тем, зареєстрованих в УкрІНТЕІ. Окремі дослідження виконувалися в рамках науково-дослідних робіт ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» з розробки нормативних документів, як то ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд», а також нової редакції «Розроблення проекту ДБН В.1.1-12... «Будівництво у сейсмічних районах України» на заміну редакції ДБН В.1.1-12:2006 » (№ 0112U003603).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є проведення експериментальних та аналітичних досліджень впливу промислових вибухів в залізородних кар'єрах Кривого Рогу на будівлі та споруди на межі їх санітарно-охоронних зон, які розташовані в безпосередній близькості або охоплюють житлові квартали міста.

Для досягнення мети проведення досліджень були сформульовані такі завдання:

– *провести систематизування, аналіз та узагальнення* результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо промислових вибухів, аналізу сучасних методів розрахунку основ і фундаментів будівель на сейсмостійкість, нормативних документів України, європейських країн і міжнародних стандартів з допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, споруди та високоточне обладнання; з проектного терміну експлуатації та довговічності будинків і споруд;

– *вдосконалити* методику і *провести* експериментальні дослідження впливу промислових вибухів на будівлі та споруди на межі санітарної зони кар'єрів м. Кривий Ріг;

– *узагальнити* прямий динамічний метод розрахунку каркасних залізобетонних та кам'яних будівель в сукупності з теорією ризику при сейсмічних знакозмінних навантаженнях для оцінки їх ресурсу;

– *вдосконалити* чисельну методику обробки результатів експериментальних досліджень реакції будівель та споруд на сейсмічні впливи від промислових вибухів.

**Об'єкт дослідження** - деформації та напруження в будівлях та спорудах при проходженні сейсмічних хвиль від промислових вибухів.

**Предмет дослідження** - експериментальна і теоретична оцінка впливу промислових вибухів в залізородних кар'єрах Кривого Рогу на межі їх санітарно-охоронних зон, які розташовані в безпосередній близькості або охоплюють житлові квартали міста.

**Методи досліджень** - у процесі дисертаційних досліджень використовувався комплекс загальнонаукових методів, які передбачають пошук літературних джерел згідно напрямку досліджень, їх перегляд, вивчення, систематизування та аналіз набутих досягнень, на основі яких сформульовано мету та задачі досліджень; обґрунтування необхідності проведення експериментальних та теоретичних досліджень для визначення динамічних характеристик, оцінки напружено-деформованого стану будівель та споруд при проходженні сейсмічних хвиль від промислових вибухів; чисельний метод скінченних елементів (МСЕ); застосування програм обробки експериментальних даних на основі методів математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів** досліджень сформульована у наступних наукових положеннях, що виносяться на захист у яких:

1. *Уперше* отримані нові експериментальні дослідні дані про вплив промислових вибухів на технічний стан будівель та споруд на межі санітарної зони кар'єрів м. Кривий Ріг методами вібраційної діагностики.

2. *Уперше* розроблено методику оцінки життєвого ресурсу будівель та споруд, що включає три частини: (1) експериментальні дослідження динамічної реакції будівель або споруд на вибухові впливи, а також візуальний огляд; (2) математичне моделювання досліджуваного об'єкта; (3) системне об'єднання результатів досліджень і їх підсумковий аналіз, динамічний метод розрахунку каркасних залізобетонних будівель в сукупності з теорією ризику при сейсмічних знакозмінних навантаженнях для оцінки їх ресурсу.

3. *Удосконалено* чисельну методику обробки результатів експериментальних досліджень реакції будівель та споруд на сейсмічні впливи від промислових вибухів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Здобувач брав участь в розробці нормативних документів будівельної галузі України: ДБН В.1.2-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Наставна щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд». Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені в ВАТ «ПівдГЗК» при дослідженні впливу промислових вибухів на будівлі та споруди на межі санітарно-охоронної зони кар'єру (довідки про участь здобувача в впровадженні одержаних результатів наведені в додатку А дисертації).

**Особистий внесок автора** в роботи, опубліковані у співавторстві: основні результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем здійснено: у статті [1] – натурні обстеження, обробка експериментальних даних, застосування теорії ризиків для визначення ресурсу будівель, розрахунки; у статті [2, 3, 6, 7] - розробка фізично та геометрично нелінійної двомодової моделі протяжної системи, чисельне моделювання та розрахунки розповсюдження хвиль у залізобетонних палях, аналіз напружено-деформованого стану палей без дефектів та з різними видами дефектів; у статті [4] - участь в описі застосування діючих 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; у статті [5] – експериментальні дослідження; у статті [8] - постановка завдання, виконання розрахунків, натурних обстежень та підготовка матеріалів статті; у статті [9] - верифікація результатів із застосуванням ПК «ЛІРА»; у статті [10] - брав участь в інструментальних дослідженнях та її оформленні; у статті [11] - участь у натурних обстеженнях, обробка експериментальних даних та розрахунки.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися й обговорювалися на трьох міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-практичних конференціях: VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-громадського, промислового та транспортного призначення» (м. Ялта, смт. Гаспра, Україна, 7-11 вересня 2009 р.); восьмій та дев'ятій всеукраїнських науково-технічних конференціях «Будівництво в сейсмічних районах України» (Ялта, 2010 р., 2012 р.); 4 Fib Congress (Mumbai, India, 2014); Monitoring 2019, Nov 2019 (Kyiv, Ukraine, 12-15.11.2019).

У повному обсязі дисертація доповідалася двічі на розширених науково-технічних семінарах відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд (21.05.2019 та 24.02.2021) Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій».

**Публікації.** Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у восьми публікаціях у професійних фахових виданнях, три – проіндексовані в БД SCOPUS, сім – у затверджених МОН України виданнях. Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, одна доповідь на конгресі fib, 2 доповіді - у матеріалах міжнародної та всеукраїнської науково-практичних конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 205 сторінок, обсяг основного тексту - 138 сторінки. Робота містить 47 таблиць, 123 рисунка, 2 додатки на 6 сторінках. Список використаних джерел складається з 135 найменувань.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано на її зв'язок з науковими напрямками досліджень ДП НДІБК, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, обґрунтовано наукову новизну і практичну цінність дисертаційної роботи, наведено дані про особистий внесок автора, апробацію на конференціях результатів дослідження а також публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз і оцінка результатів відомих досліджень з проблем застосування методів прогнозу сейсмічної небезпеки вибухів і методів захисту споруд від їх шкідливого сейсмічного впливу; інструментальних методів та засобів оцінки технічного стану будівель та споруд, постановку завдання дослідження. Був проведений аналіз результатів наукових досліджень Айзенберга Я.М., Бабича Є.М., Баженова В.А., Белаш Т.О., Бірбраєра А.М., Болотіна В.В., Бойка І.П., Бугаєвського Г.М., Верюжського Ю.В., Голишева О.Б., Городецького О.С., Барабаш М.С., Гольденבלата Й.І., Гришина А.В., Гудкова Б.П., Деркачова А.А., Дехтярюка Є.С., Джабаурі Г.Г., Дорофєєва В.С., Єгупова В.К., Єгупова К.В., Жунусова Т.Ж., Здоренка В.С., Золоткова А.С., Ізмайлова Ю.В., Кендзери О.В., Кічаєвої О. В., Килимника Л.Ш., Клімова Ю.А., Клованіча С.Ф., Козачевського А.І., Колчунова В.І., Корчинського І.Л., Кукунаєва В.С., Кулябка В.В., Лізунова П.П., Лучка Й. Й., Напетварідзе Ш.Г., Немчинова Ю.І., Перельмутера А.В., Піскунова В.Г., Плахтієнко М.П., Полякова С.В., Пустовітенко Б.Г., Рассказовського В.Т., Расторгуєва Б.С., Ржевського А.В., Сеймова В.М., Синицина О.П., Швеця В.Б., Фіалка С.Ю., Уздіна О.М., Черного Г.І., Яременка А.Ф., В. Бертеро, Р. Гоела, Х. Курамото, К. Матсумото, А.Теран-Гілмора, Р. Файфара, З. Фрімана, А. Чопри та інших. Аналіз виявив значну складність вирішення задач оцінки впливу промислових вибухів на існуючу забудову. Це зумовлено, серед іншого, часто невизначеністю вихідної інформації про проведені промислові вибухи, розмаїттям конструктивних схем будівель та споруд, складністю взаємодії верхньої частини будівель з основою, змінністю силових сполучень та їх впливів, непружними (нелінійними) властивостями матеріалів будівельних конструкцій та споруд, недостатньою вивченістю їх технічного стану, наявністю пошкоджень та тріщин, що не враховуються при математичному моделюванні напружено-деформованого стану багатьма пакетами прикладних програм, що сертифіковані в Україні.

Аналіз наслідків промислових вибухів та їх експериментальних досліджень свідчить про те, що:

1) Для отримання більш достовірних результатів оцінки фізичних граничних станів слід виконувати із використанням набутих інструментально або синтезованих акселерограм сейсмічних впливів. При цьому визначення динамічних навантажень, одержання переміщень та напружень в елементах конструкцій слід визна-

чати з урахуванням просторової роботи конструкцій, особливостей взаємодії конструкцій верхньої будівлі із основою. Результати експериментальних і теоретичних досліджень взаємодії фундаментів будівель і споруд з основою при динамічних та сейсмічних впливах представлені в роботах Д. Д. Баркана, Т. О. Белаш, І. П. Бойка, А. В. Гришина, В. С. Дорофєєва, М. Ф. Друкованого, К. В. Єгупова, М. Л. Зоценка, В. О. Ільчова, Е.Я. Кільвандера, В. В. Кулябка, Немчинова Ю. І., Мар'єнкова М. Г., Ю. І. Калюха, В. Г. Піскунова, А. А. Рассказова, А. М. Рижова, О. А. Савінова, О. А. Савицького, В. Л. Седіна, В. М. Сеймова, В. Г. Таранова, О. М. Трофимчука, Г. І. Черного, В. Г. Шаповала, В. Б. Швеця, А. В. Шимановського, Шокарева В. С. та ін.

2) Специфіка граничних станів будівельних конструкцій, підданих дії промислових вибухів, потребує контролю всього процесу динамічної реакції будівель та споруд, зміни фізико-механічних характеристик їх елементів (до вичерпання їх несучої здатності). В Україні та інших країнах накопичено достатній досвід з урахування знакозмінних статичних і динамічних навантажень для розрахунку залізобетонних стрижневих і площинних конструкцій. Теоретичним і експериментальним дослідженням залізобетонних конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності бетону й арматури при статичних і динамічних навантаженнях присвячені роботи Г. Н. Ашкінадзе, Є. М. Бабица, В. Н. Байкова, А. М. Бамбури, А. Я. Барашикова, З. Я. Бліхарського, Ю. В. Верюжського, Ф. Вехію, А. А. Гвоздьева, О. І. Голоднова, О. Б. Голишева, О. І. Давиденка, В. І. Жарницького, А. С. Залесова, В. С. Здоренка, Ю. В. Измайлова, Н. І. Карпенка, Є. В. Клименка, Ю. А. Клімова, С. Ф. Клованіча, Е. Н. Кодиша, А. І. Козачевського, В. І. Колчунова, В. С. Кукунаєва, О. Г. Кумпяка, Д. Палермо, В. С. Плевкова, Б. С. Расторгуєва, М. В. Савицького, В. С. Шмуклера та ін. При цьому погіршення технічного стану та руйнування будівель та споруд відбуваються як випадкові події, імовірність яких можна прогнозувати за допомогою теорії ризику. Головною умовою при цьому є постійні або епізодичні природні або техногенні динамічні навантаження.

3) Висновки про сейсмостійкість існуючих будівель до динамічних впливів ґрунтується на перевірці неперевищення параметрів деформування граничних величин при повному використанні запасів міцності. В якості контрольованих параметрів використовують характеристики міцності, деформації, енергетичні, механічні й динамічні параметри як окремих конструктивних елементів, так і споруд у цілому. Іноді використовують комплексні величини, які поєднують, наприклад, деформаційні й енергетичні параметри деформованого стану будівель та споруд, що працюють в пружно-пластичній стадії. Відомі праці вчених в цьому напрямку: Ю.І. Немчинова, В.С. Дорофєєва, В.С. Кукунаєва, О.С. Городецького, В.С. Шмуклера, В.А. Гришина, А.В. Гришина, А.М. Бамбури, М.Г. Мар'єнкова, О.К. Хавкіна та інших учених.

4) Величина конструкційного ризику, яка не тільки відображає ступінь опору конструкцій і зміну зовнішніх впливів, але й враховує їх істотно імовірнісний характер, є найбільш прийнятним параметром кількісної оцінки безпеки будівель і конструкцій, що експлуатуються у небезпечних регіонах України під дією промислових вибухів (публікації К.С Заврієва, А.Г. Назарова, Ш.Г. Напетварідзе, І.Л. Корчинського, М.Я. Пільдіш, С.В. Полякова, Ю.І. Немчинова, Б.Г. Коренева, І.І.



Гольденבלата, В.В. Болотіна, Г.М. Карцивадзе, О.О. Савінова, В.О. Цшохер, В.А. Биховського, Б.Д. Карапетяна, А.Л. Чураян,, Т.Ж. Жунусова, В.Т. Рассказовського, М.О. Ніколаєнко, В.І. Смірнова, Я.М. Айзенберга, С.В. Пучкова, А.П. Сініцина, Бабіка К. М., В.К. Єгупова, М.Т. Уразбаєва, Е.Є. Хачіяна, А.І. Цейтліна, А.П. Мартемьянова, В.О. Ільчова, Г.К. Габрічідзе, Ю.П. Назарова, М.А. Клячко, О.М. Уздіна, Т.О. Белаш, І.Е. Іцкова, Е.Є. Сігалова, Т.Р. Рашидова, Ш. Хакімова та ін.).

5) Безумовною вимогою конструктивної безпеки є забезпечення надійності будівельного об'єкту та його складових частин. Теорія надійності конструкцій, основи якої закладені Стрелецьким М.С., Ржаніциним О.Р., Болотіним В.В. і розвинені в роботах Барашикова А.Я., Горохова Є.В., Клячко М.А., Назаряна Г.Р., Пічугіна С.В., Пилюгіна Л.П., Райзера В.Д., Ройтмана А.Г., Сироти М.Д., Тимашева С.А., Б. Айуба, Г. Аугусті, А. Баратта, Р. Барлоу, Ф. Кашиаті, Р. Мак-Куен, Ф. Прошана передбачає, насамперед, збереження структурної цілісності будівель та споруд протягом терміну експлуатації.

На основі приведенного аналізу сучасних експериментально-теоретичних досягнень та узагальнень у цьому напрямі сформульовані мета та завдання дисертаційних досліджень.

У другому розділі окреслено методологію експериментальних та теоретико-розрахункових досліджень, розробку розрахункового апарату з визначення параметрів сейсмічної реакції та ризиків руйнування будівель, споруд та конструкцій при динамічних впливах від промислових вибухів.

Рівняння коливань будівлі або споруди як багатомасової системи (рис. 2,а),

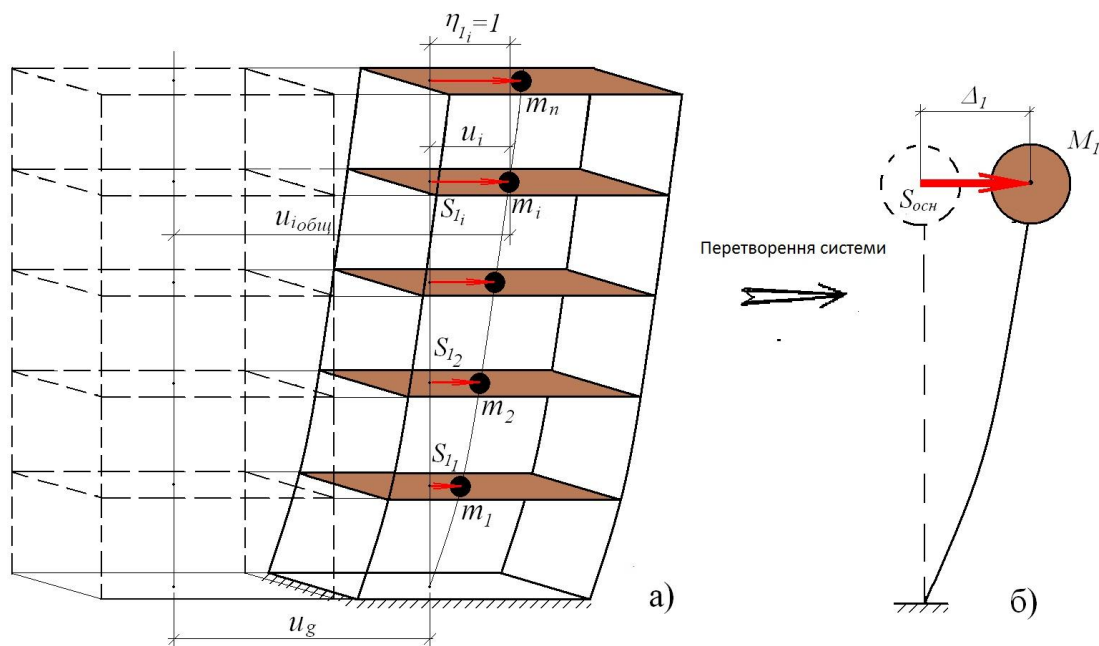


Рис. 2 –Схема багатоповерхової будівлі, представленій як багатомасова система, (а) та її спрощений аналог – одномасова система (б)

підданій сейсмічному впливу, у відносних координатах має вигляд:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -M\{1\}\ddot{u}_g(t), \quad (1)$$

де  $M$  – діагональна матриця зосереджених мас;  $C$  – матриця демпфірування системи;  $K$  – матриця жорсткості системи;  $\ddot{u}(t)$ ,  $\dot{u}(t)$ ,  $u(t)$  – вектори прискорень, швидкості й переміщень зосереджених мас відносно основи відповідно;  $\ddot{u}_g(t)$ ,  $u_g(t)$  – прискорення і переміщення основи щодо початкового положення;  $-M\{1\}u_g(t) = P(t)$  – вектор ефективних сейсмічних навантажень. Рівняння (1) при аналізі пружних систем вирішується шляхом перетворення системи рівнянь до нормальних координат. Відповідно до умов ортогональності матриць мас і жорсткостей, а також у припущенні умови ортогональності для матриці загасання, система  $N$  незв'язаних рівнянь коливань у нормальних координатах буде мати вигляд:

$$M_n \ddot{Y}_n + C_n \dot{Y}_n + K_n Y_n = P_n(t), \quad (2)$$

де  $M_n$ ,  $C_n$ ,  $K_n$  – узагальнені характеристики коливань за  $n$ -ю формою, що визначаються за наступними виразами:

$$M_n = \varphi_n^T M \varphi_n; \quad C_n = \varphi_n^T C \varphi_n = 2\xi_n \omega_n M_n; \quad K_n = \varphi_n^T K \varphi_n = \omega_n^2 M_n; \quad (3)$$

$\varphi_n$ ,  $Y_n$  – власний вектор і модальна амплітуда довільної  $n$ -ї форми;

$\xi_n$ ,  $\omega_n$  – параметр загасання й частота коливань системи за  $n$ -ю формою відповідно.

Параметри реакції багатомасової системи (вектори відносних переміщень, відновлювальних сил) для  $n$ -ї форми коливань отримують, вирішуючи для рівняння (1) інтеграл Дюамеля. При цьому коефіцієнт сейсмічного навантаження, що характеризує вплив на систему за  $n$ -ю формою, приймається у вигляді  $L_n \equiv \varphi_n^T M\{1\}$ .

Для обчислення параметрів сейсмічної реакції системи з багатьма ступенями свободи й зосередженими масами у будь-який момент часу  $t$  необхідно визначити сейсмічну реакцію  $U_n(t)$  для кожної форми коливань при фіксованому  $t$ . Для цього зручно використати динамічний аналіз одномасової системи, максимальні параметри реакції якої визначаються безпосередньо по спектрах реакції.

Аналогічно можна встановити залежність між параметрами сейсмічної реакції системи з багатьма ступенями свободи й реакцією осцилятора з урахуванням непружних властивостей системи. У цьому випадку необхідно розглянути одномасову систему, реакція якої при дії сейсмічних навантажень аналогічна нелінійній реакції системи з багатьма ступенями свободи.

Задача визначення конструкційного ризику при сейсмічному впливі вирішується на основі зіставлення двох величин: параметра зовнішнього навантаження  $S$ , визначеного на основі розрахунку з урахуванням сейсмічного навантаження, і параметра опору конструкції  $R$ . Для граничного стану будь якої конструкції обов'язковою є умова:

$$R < S \quad \text{або} \quad R - S < 0 \quad (4)$$

Область допустимого ризику  $m$  визначається з умови:

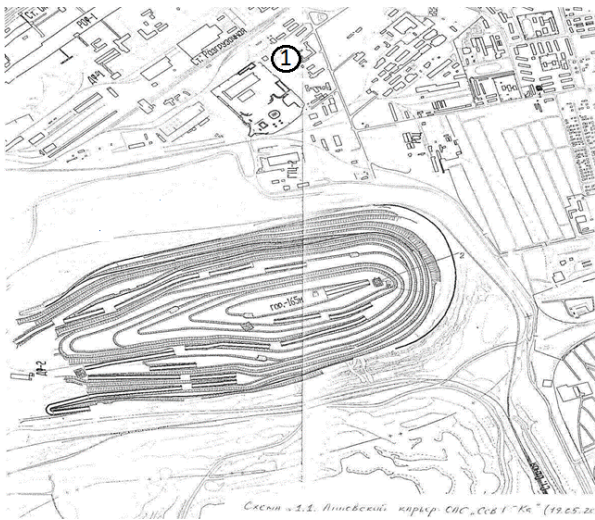
$$m = R - S. \quad (5)$$

Кожна розглянута величина приймається розподіленою за нормальним (або похідним від нормального) розподілом й характеризується двома параметрами: математичним очікуванням ( $R$ ,  $S$  або  $m$ ) та середньоквадратичним відхиленням – стандартом ( $\delta_R$ ,  $\delta_S$  або  $\delta_m$ ). Ризик руйнування конструкції визначається за формулою:

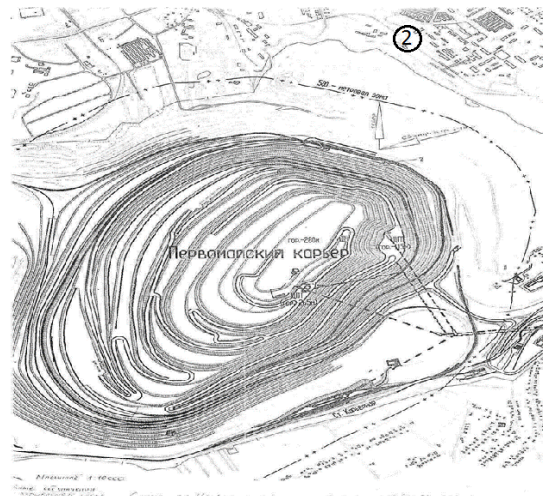
$$risk = F(u) = 0.5 \pm 0.5 \cdot \varphi\left(\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\delta_m}\right). \quad (6)$$

Значення інтеграла ймовірності Гауса  $\varphi(u) = \varphi\left(\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\delta_m}\right)$  приймають згідно з таблицями ймовірнісних функцій.

У **третьому розділі** наведені основні результати натурних динамічних досліджень будівель і споруд за допомогою багатоканальних систем сейсмомоніторингу, розглянуто натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах в кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК». Схема розташування Ганнівського і Першотравневого кар'єрів ВАТ "ПівнГЗК", із зазначенням об'єктів проведення досліджень вібраційних і акустичних параметрів, наведена на рис. 3.



Ганнівський кар'єр



Першотравневий кар'єр

Рис. 3. – Ситуаційний план району кар'єрів ВАТ "Північний ГЗК" і розміщення об'єктів дослідження (кар'єр, дати вибухів): 1 - чотириповерховий житловий будинок по вул. Бірюзова, 7 (Ганнівський кар'єр, 19.05.05 та 14.07.05); 2 - триповерхова будівля школи №40 по вул. Сестроріцькій, (Першотравневий кар'єр, 27.05.05 та 15.07.05)

Основним критерієм при виборі об'єктів для проведення натурних вимірювань було розташування будівель поблизу меж санітарно-охоронної зони кар'єрів. Також бралися до уваги технічний стан будівель і їх поверховість. Триповерхову будівлю середньої школи № 40 (рис. 1) було побудовано в 50-ті роки. В плані конструкція будівлі має Г-подібну форму з несучими поздовжніми цегляними стінами завтовшки 510 мм. Міжповерхові перекриття і сходові марші виконані зі збірного залізобетону. Поздовжні стіни будівлі школи мають велику площу скління. Вікна розмірами 1,9 x 2,9 м виконані з дерев'яних рам зі склом в роздільних палітурках. Відстань між стеклами рам - 170 мм, товщина скла - 3 - 4 мм. При візуальному огляді будівлі виявлені тріщини в зовнішніх несучих стінах шириною до 2-х см (рис. 1). З огляду на те, що пошкоджені конструкції будівлі школи піддаються багаторазовим сейсмічним коливанням при масових вибухах у Першотравневому кар'єрі, були виконані наступні заходи: установка маяків на наявні тріщини для контролю їх розкриття; періодичний вібромоніторинг для визначення максимальних рівнів сейсмічних впливів на будівлю при вибухах і їх вплив на технічний стан конструкцій. Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій

СШ № 40 при впливі масових вибухів в кар'єрах ВАТ "Північний ГЗК" наведені в таблиці 1. Для порівняння в таблиці наведені значення мікросейсмічних коливань ґрунту і конструкцій при впливі фонової вібрації.

Таблиця 1  
Параметри вібрації ґрунту та конструкцій будівлі школи №40

Схема установки датчиків	Місце установки вібродатчиків	Вимірюваний параметр (см/с <sup>2</sup> , см/с)	Напрямок коливань	Максимальна амплітуда	Джерело динамічного впливу
1	ґрунт біля будівлі	віброприскорення	X	4	фонова вібрація
				23	вибух
	ґрунт в 100 м від будівлі – т.2	віброприскорення	X	-	фонова вібрація
				30	вибух
ґрунт в 100 м за будівлею – т.3	віброприскорення	X	-	фонова вібрація	
			19	вибух	
2	Перекриття (підлога) 3-го поверху	віброшвидкість	X	0,05	фонова вібрація
				0,17	вибух

Для визначення амплітуд зареєстрованих віброприскорень конструкцій і ґрунту виконана обробка вібросигналів і їх спектральний аналіз у пакеті обробки сигналів (ПОС). Результати наведені на рис. 4.

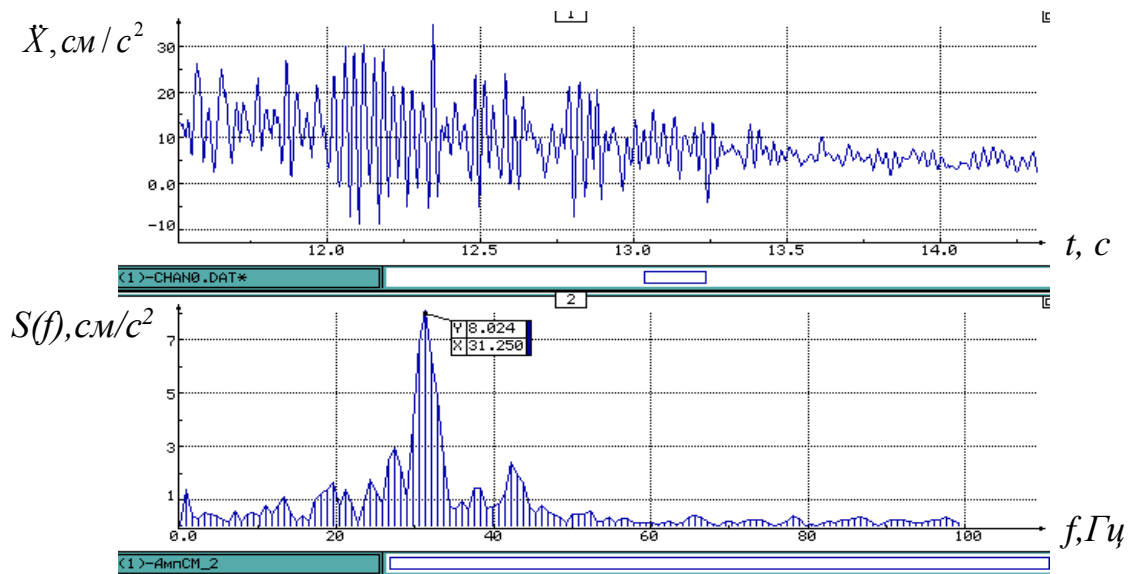


Рис. 4 – Часовий вібросигнал і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі школи по вул. Сестроріцькій при впливі вибуху 27.05.05

На основі отриманих фактичних рівнів віброприскорень і віброшвидкості ґрунту і конструкцій обстеженої будівлі школи можна встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 5-45 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. Крім того, за даними досліджень Савінова О.А., з метою виключення осідання фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15  $\text{cm/s}^2$ .

Наступними були розглянуті натурні вимірювання рівнів вібраційного впли-

ву при масових вибухах в кар'єрах РУ ГЗК «Криворіжсталь». Ситуаційна карта-схема розташування кар'єрів РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь" з розміщенням об'єктів дослідження приведена на рис 5. Будівля Церкви Різдва Пресвятої Богородиці збудована в кінці 19-го століття та являє собою об'єкт

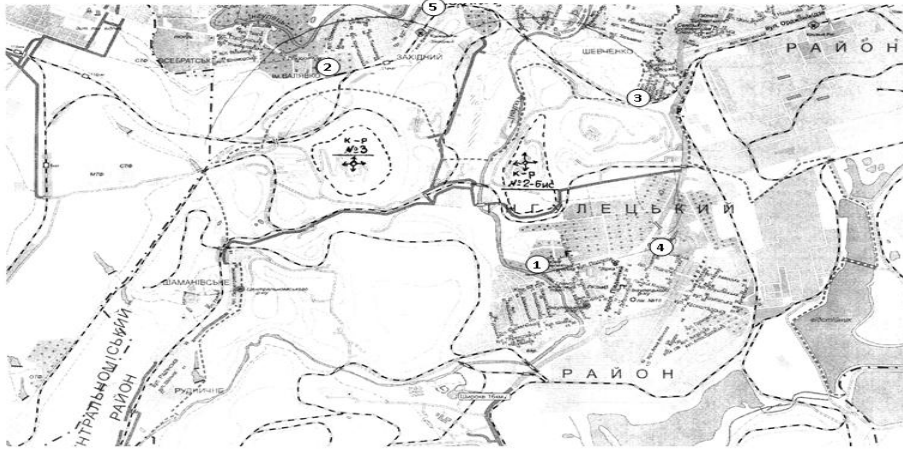


Рис. 5 – Ситуаційний план району кар'єрів РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь" і розміщення об'єктів дослідження (дата): 1 - будівля Церкви по вул. Обручева, 14 (26.05.05 р); 2 - ділянка по вул. Мініна (16.06.05 р); 3 - будівля по вул. Чайковського, 46 (24.06.05 р); 4 - будівля по вул Ярославській, 57 (26.07.05 р); 5 - будівля за адресою сел. Всебратське -2, 57 (28.07.05 р)

підвищеної уваги через велике скупчення людей і має історико-культурологічну цінність. Об'ємно - планувальне рішення будівлі характерне для культових православних храмів: центральна купольна частина з дзвіницею і два бокові вівтарі. При проведенні візуального обстеження будівлі були виявлені вертикальні і



Рис. 6. – Вертикальні тріщини в стіні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14

Аналіз спектрів віброприскорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 5-100 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного.

похилі тріщини в стінах з внутрішнього боку (рис. 6). Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій при впливі масових вибухів в кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь», наведені в табл. 2. Для визначення амплітуд зареєстрованих віброприскорень конструкцій і ґрунту виконана обробка вібросигналів і їх спектральний аналіз по спеціалізованій програмі ПОС. Результати наведені на рис. 7.



Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій церкви по вул. Обручева, 14 при впливі масового вибуху 26.05.05 р в кар'єрі №2-Біс

Схема установки датчиків	Місце установки вібродатчиків	Вимірюваний параметр (см/с <sup>2</sup> , см/с)	Напрямок коливань	Максимальна амплітуда	Джерело динамічного впливу
1	ґрунт біля будівлі	віброприскорення	X	1,5 17,5	фонова вібрація вибух
	ґрунт в 100 м від будівлі – т.2	віброприскорення	X	1,7 19	фонова вібрація вибух
	ґрунт в 100 м за будівлею – т.3	віброприскорення	X	3,2 15	фонова вібрація вибух
2	фундамент будівлі	віброприскорення	X	1,2 7,5	фонова вібрація вибух
	стіна дзвіниці	віброшвидкість	X	0,03 0,08	фонова вібрація вибух

$\ddot{X}, \text{cm}/\text{c}^2$

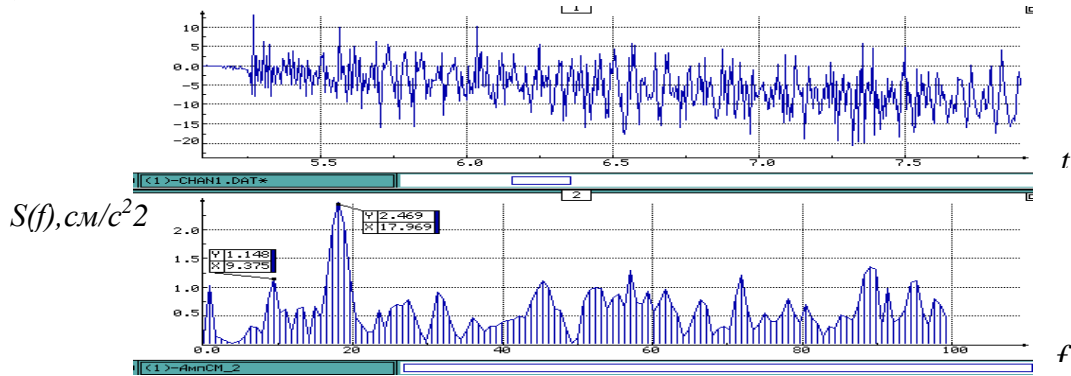


Рис. 7 – Часовий сигнал і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі Церкви по вул. Обручева, 14 при впливі вибуху

Наступні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах проведено в кар'єрах ВАТ «ЦГЗК». Ситуаційна карта-схема розташування кар'єрів ВАТ «ЦГЗК» з розміщенням об'єктів дослідження приведена на рис. 8.

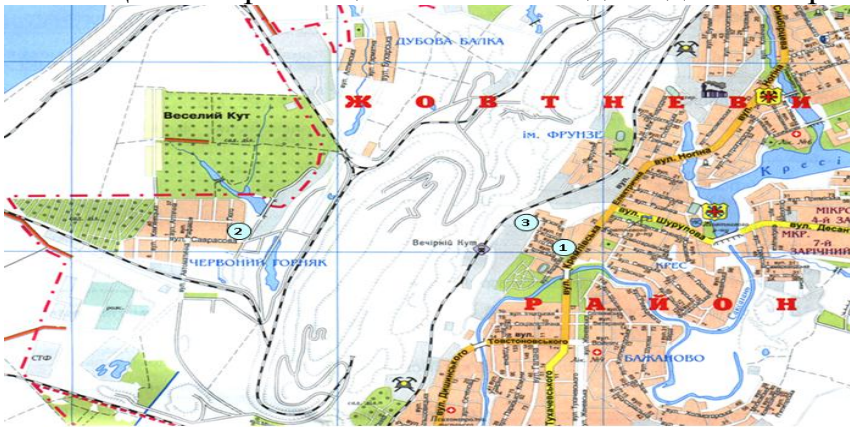


Рис. 8 – Ситуаційний план району Глеєватського кар'єру ВАТ "ЦГЗК" та розміщення об'єктів дослідження (дата): 1 - житловий будинок по вул. Кремлівській, 13 (20.05.05 р); 2 - будівля школи по вул. Планетарній, 47 в сел. Вербово (17.06.05 р); 3 - будівля Свято-Володимирського кафедрального собору по вул. Клубній (24.06.05 р.)

стіл, ширина розкриття тріщин досягає у верхній частині 3 см.

Житловий будинок по вул. Кремлівській, 13 побудовано в 1958-1959 р.р., розташований вздовж вул. Кремлівської. Будівля - п'ятиповерхова, прямокутна в плані. В результаті візуального обстеження виявлено значні тріщини в зовнішніх несучих стінах головного і дворового фасаду (рис. 9 і 10). Вертикальні тріщини поширюються по всій висоті



Рис. 9 – Вертикальні тріщини в стіні житлового будинку по вул. Кремлівській, 13



Рис. 10 – Похилі тріщини в підвіконній частині стіни житлового будинку по вул. Кремлівській, 13

Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій при впливі масових вибухів в кар'єрах ВАТ «ЦГЗК», наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Кремлівській, 13 при впливі масового вибуху 20.05.05 р в Глеватському кар'єрі ВАТ «ЦГЗК»

Схема установки датчиків	Місце установки вібродатчиків	Вимірюваний параметр (см/с <sup>2</sup> , см/с)	Напрямок коливань	Максимальна амплітуда	Джерело динамічного впливу
1	ґрунт біля будівлі	віброприскорення	X	2,5	фонова вібрація
				18	вибух
	ґрунт біля будівлі	віброшвидкість	Z	0,08	фонова вібрація
				0,1	вибух
ґрунт в 70 м від будівлі	віброшвидкість	X	0,1	фонова вібрація	
			0,24	вибух	
2	стіна будівлі в рівні 4-го поверху	віброприскорення	X	0,8	фонова вібрація
				6,4	вибух

Узагальнюючи результати аналізу спектрів віброприскорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 5-45 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. На рис. 11 приведена рекомендація за результатами обробки дослідних даних - залежність прискорення ґрунту при впливі вибуху від приведеної відстані  $R_{пр}$ .

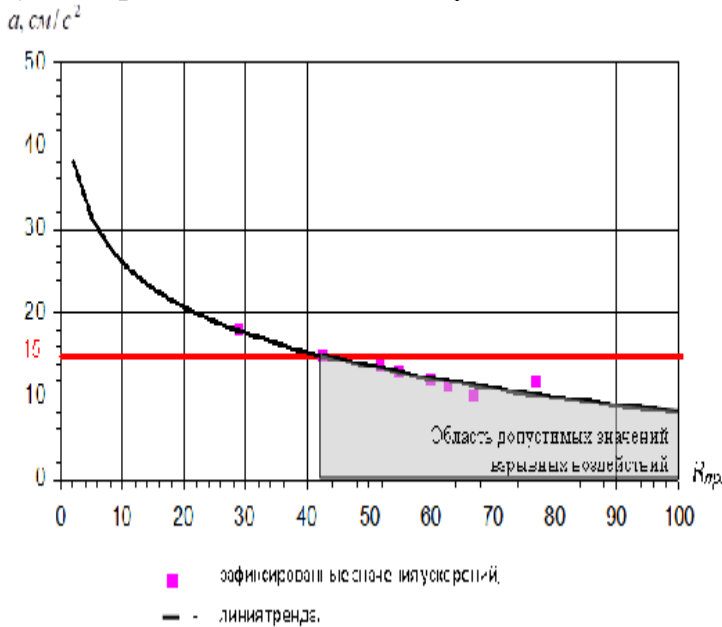


Рис. 11. Графік залежності прискорення ґрунту від приведеної відстані.

приймати:  $R_{пр} \geq 42$ , що забезпечує прискорення ґрунту менше за  $15 \text{ см/с}^2$ .

У **четвертому розділі** наведені результати натурних вимірювань рівнів вібраційного впливу при масових вибухах в кар'єрі ВАТ «Південний ГЗК», які потім використовуються в якості вхідних даних для математичного моделювання напружено-деформованого стану та оцінки життєвого ресурсу Центру дитячої та юнацької творчості «Мрія» (Центру). Частоти зареєстрованих власних горизонтальних коливань будівлі Центру творчості знаходяться в діапазоні 5-8 Гц. У лівій прибудові Центру і в стіні біля вітража є тріщини, вигляд яких представлений на рис. 12 і 13. Наявність тріщин в несучих стінах будівлі істотно знижує їх жорсткість і призводить до їх розвитку при багатократних сейсмічних впливах при вибухах. Для контролю стану (розвитку) тріщин при вибухах на стінах в місцях їх розташування були нанесені гіпсові маяки.

Приведена відстань визначається за формулою:

$$R_{пр} = \frac{R}{\sqrt[3]{m}}, \quad (7)$$

де  $R$  - відстань від блоку, що підривається, до місця реєстрації прискорення ґрунту, м;  $m$  - маса вибухової речовини, яка використовується для підривання блоку, кг. З рис. 11 випливає, що при проведенні масових вибухів на Глеватському кар'єрі ВАТ «ЦГЗК» приведені відстані необхідно





Рис. 12. - Тріщина шириною розкриття до 1 см в нижній частині правої поперечної стіни біля центрального вітража

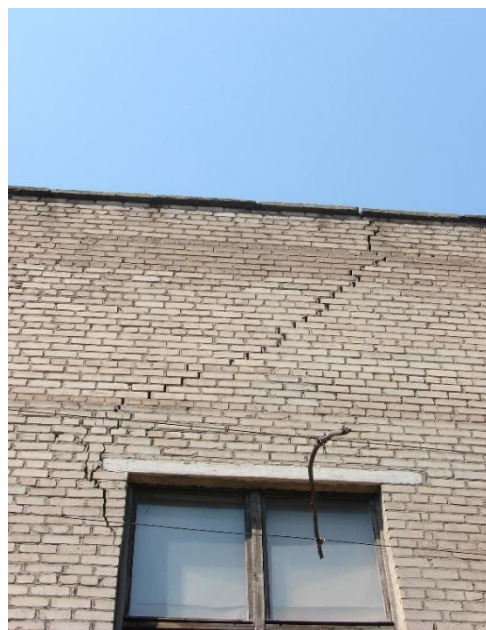


Рис. 13. - Тріщина шириною розкриття до 1 см у верхній частині стіни лівого бічного фасаду будівлі

Віддалення Центру: мінімальне - 1600 м від блоку №71, максимальне - 2150 м від блоку №69. Дата і час проведення масового вибуху в кар'єрі «Південний ГЗК» - 9.07.08 р, 12<sup>00</sup>. Місце проведення буропідричних робіт - північна і північно-західна частини кар'єра. Маса вибухової речовини - 449,23 т. Число блоків закладки вибухової речовини - чотири (№68, №69, №70, №71). Порядок підриву блоків - №68-№69, №70, №71 з інтервалом затримки спрацьовування виконавчих блоків №1- $T_0 = 0$  с, №2- $T_1 = 3$  с, №2- $T_3 = 7$  с. Сигнал запису горизонтальної віброшвидкості ґрунту і його спектр біля будівлі Центру в момент вибуху представлений на рис. 14-15. Сигнал запису вертикальної віброшвидкості ґрунту і його спектр біля будівлі Центру в момент вибуху представлений на рис. 16-17. Величина максимального значення горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру в напрямку вибуху склала 0,30-0,33 см/с, що відповідає 2 балам за шкалою MSK-64. Величина максимального значення вертикальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру - 0,19-0,20 см/с, що відповідає 1 балу за шкалою MSK-64. Тривалість сейсмічних впливів з максимальною віброшвидкістю склала до 0,7 с. У діапазоні до 10 Гц переважаючі частоти коливань ґрунту склали 5,4 Гц і 7,9 Гц. Спостереження за тріщинами в конструкціях Центру за допомогою маяків, встановлених 12.08.08 р., для оцінки впливу на них вибухів показало, що волосяні тріщини з'явилися в окремих маяках після проведення вибуху 10.09.08 р. Тріщини в маяку на стіні будівлі Центру творчості представлені на рис. 18. Зареєстровані значення віброшвидкості при цьому склали переважно 0,2-0,5 см/с, що відповідає інтенсивності сейсмічних впливів від 1 до 3 балів за шкалою MSK-64.

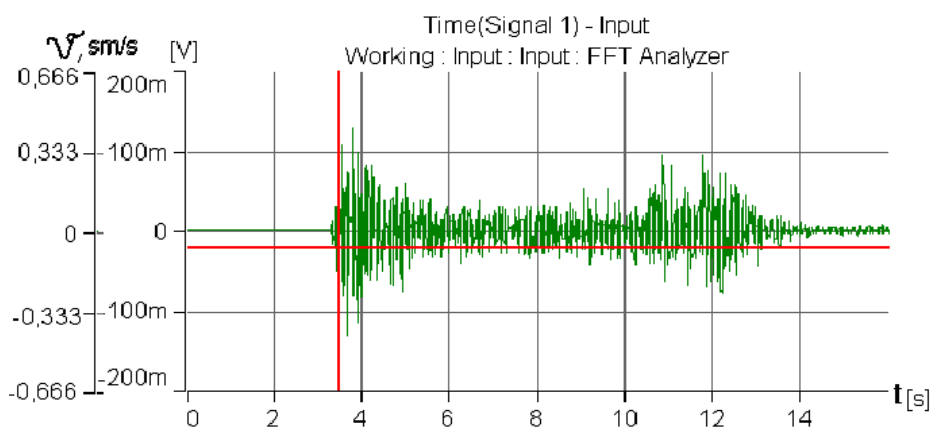


Рис. 14. – Графік сигналу горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру

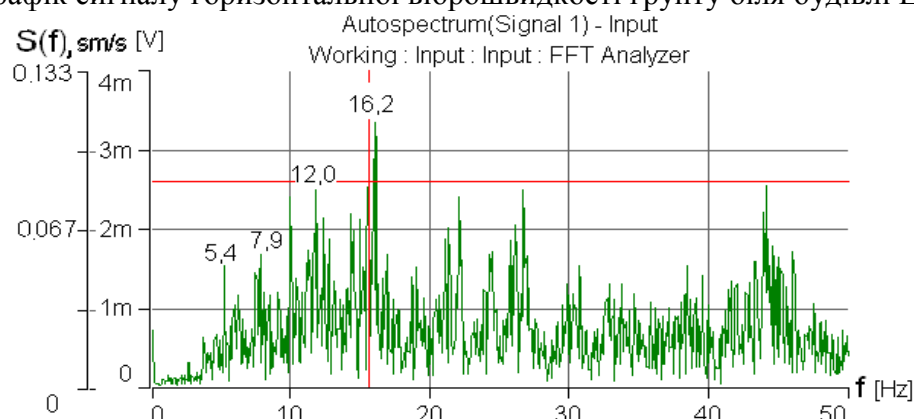


Рис. 15. – Спектр сигналу горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру

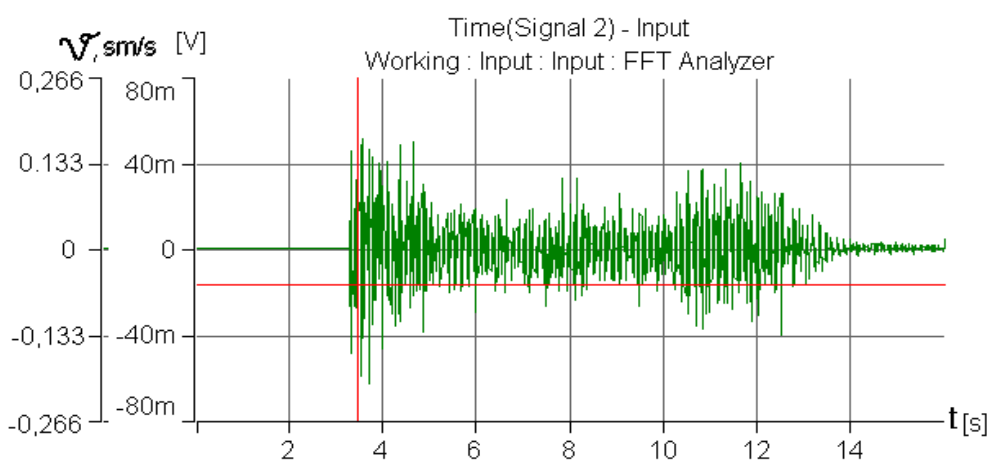


Рис. 16. – Графік сигналу вертикальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру.

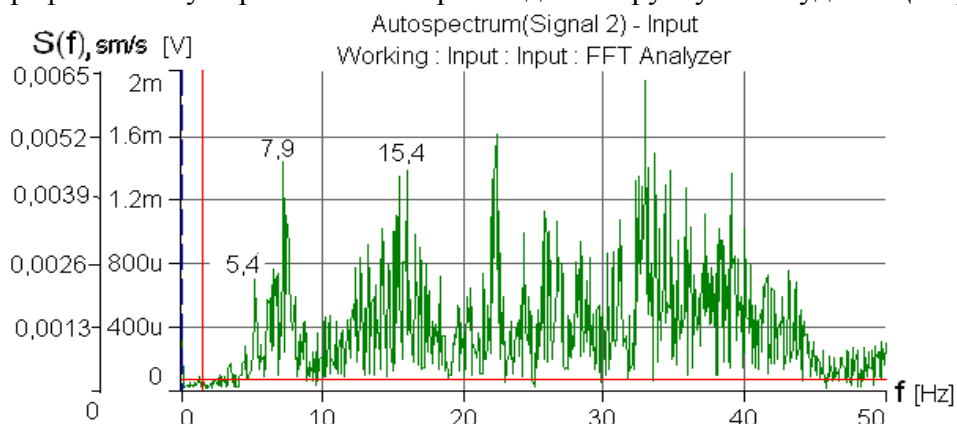


Рис. 17. – Спектр сигналу вертикальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру.

Діапазон частот власних коливань по основній формі склав 4,1-5,2 Гц в поперечному і 7,6-7,9 Гц в поздовжньому напрямку; він близький до частот коливань прилеглого ґрунту при проведенні вибухів, які складають 4,3-6,2 Гц і 7,1-8,3 Гц. Значення вертикальної віброшвидкості на основі виконаних вимірювань при проведенні всіх



Рис. 18. – Утворення тріщин в стіні будівлі Центру творчості після вибуху 10.08.09.

шести вибухів менше вдвічі в порівнянні з горизонтальною віброшвидкістю в напрямку вибуху.

Визначення оцінки життєвого ресурсу будівель (ОЖР) в Україні та країнах СНД в даний час є актуальним завданням. Будівництво більшості цих будівель було виконано в 50-70-х рр. ХХ-го століття. З огляду на недостатньо розвинену мережу доріг і наземного транспорту в СРСР, а потім з міркувань економічної доцільності, будівництво таких житлових

мікрорайонів розташовувалося поблизу промислових зон. Це забезпечувало мінімальні витрати часу на транспортування робітників до підприємств. При цьому характер виконуваних робіт в промислових зонах та їх вплив на житловий фонд при проектуванні і будівництві житла враховувався мінімально. Питання оцінки життєвого ресурсу (ОЖР), впливу фізичного і динамічного зносу розглядалися на державному рівні у вигляді відповідних постанов КМ України, нормативних документів України, також в ряді робіт вітчизняних та закордонних дослідників: Б.Є. Патона, В. В. Бойка, Е. Вітієлло, І. Ідрісса, А. Корнелла, Г.Л. Коффа, С.В. Медведева, Ю.І. Немчинова, М.Г. Мар'єнкова та ін.

У дисертації пропонується метод ОЖР, що складається з трьох частин: *експериментальні дослідження динамічної реакції будівель або споруд на вибухові впливи, а також візуальний огляд - перша частина; математичне моделювання досліджуваного об'єкта - друга частина; системне об'єднання результатів досліджень і їх підсумковий аналіз - третя частина.*

Для дослідження і вивчення стану будівлі Центру була розроблена комп'ютерна модель за допомогою програмного комплексу ЛПРА-САПР на основі стрижневих елементів 10 типу (шість ступенів свободи у вузлі), пластинчастих елементів 41, 42, 44 типів (шість ступенів свободи у вузлі). В якості зовнішнього сейсмічного впливу на будівлю прийняті реальні акселерограми коливань ґрунту радіального і тангенціального спрямування по відношенню до будівлі Центру. При розрахунках напрямом сейсмічного впливу на будівлю Центру додатково змінювали відповідно основного під кутами 45° і 135°. Комп'ютерна модель будівлі Центру представлена на рис. 19-20.



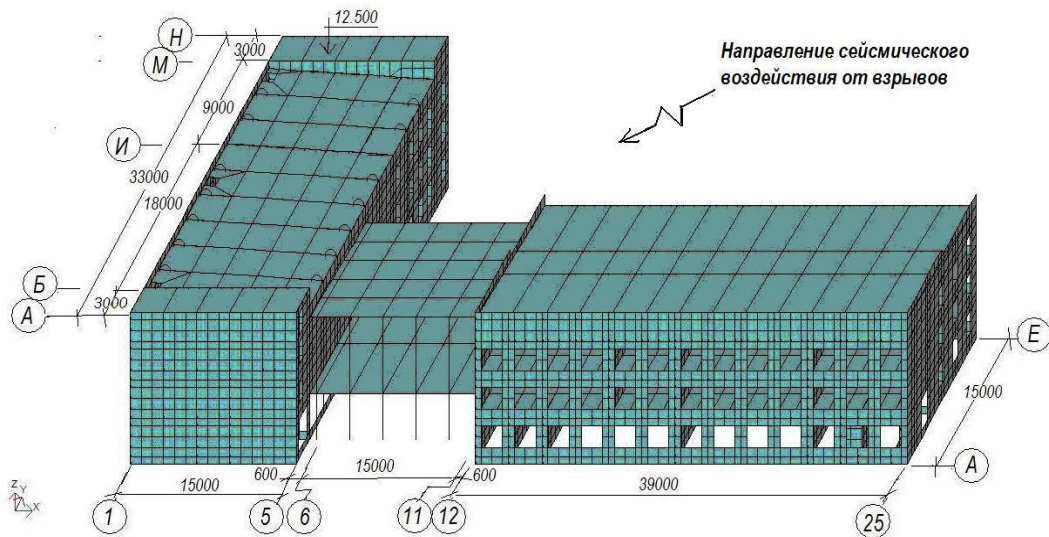
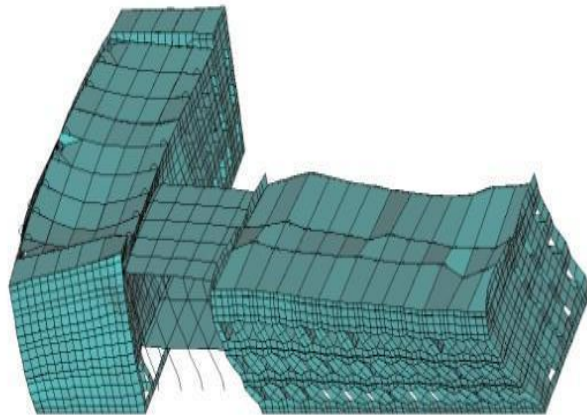


Рис. 19 – Загальний вигляд комп'ютерної моделі будівлі Центру

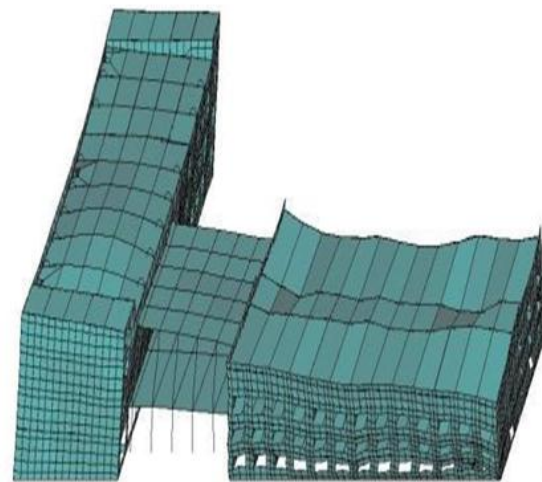
Дирекція з Аерокосміки В  
Спеціалізація 1



а) Форма 1 по X.  $T=0,219$  с

Дирекція з Аерокосміки В  
Спеціалізація 1

Дирекція з Аерокосміки В  
Спеціалізація 1



б) Форма 2 по Y.  $T=0,213$  с

Рис. 20 – Власні коливання комп'ютерної моделі № 2 будівлі Центру по першим основним формам в напрямку осі X (а) і в напрямку осі Y (б).

Було створено дві розрахункові моделі Центру для проведення чисельних досліджень: схема 1, в якій відсутні пошкодження, схема 2 з основними пошкодженнями в несучих стінах будівлі. При проведенні динамічних розрахунків по кожній з розрахункових схем № 1 і № 2 число заданих форм коливань відповідало 10. Власні коливання комп'ютерної моделі будівлі по першим основним формам в напрямі осі X (уздовж будівлі, а) та Y (поперек будівлі, б) показані на рис. 20. Розрахункові значення частот і періодів власних коливань для комп'ютерної моделі №2 будівлі Центру творчості за першими двома формами згідно рис. 20 склали: у напрямку X  $f_1=4,56$  Гц ( $T_1=0,219$  с), у напрямку Y  $f_1=4,69$  Гц ( $T_1=0,213$  с).

При проведенні динамічних обстежень будівлі Центру було отримано амплітудний спектр віброприскорень, згідно з яким експериментальні значення частот власних коливань будівлі по формам склали: у напрямку X  $f_1=4,25$  Гц ( $T_1=0,235$  с),  $f_2=6,70$  Гц ( $T_2=0,149$  с); у напрямку Y  $f_1=4,50$  Гц ( $T_1=0,222$  с),  $f_2=5,40$  Гц ( $T_2=0,185$  с). Ці значення частот і періодів власних коливань за першими формами для комп'ютерної моделі будівлі 2 близькі до їх експериментальних значень. Таким чином, комп'ютерна модель 2 будівлі Центру з моделюванням тріщин в несучій стіні будівлі по осі 1 прийнята як вихідна для проведення теоретичних досліджень. Максимальні переміщення при сейсмічній дії на будівлю по напрямку X під час вибуху були отримані для стіни по осі 1 на ділянці в осях Б-І і склали 0,0503 мм. Деформований стан стіни будівлі по осі 1 по напрямку X представлено на рис. 21.

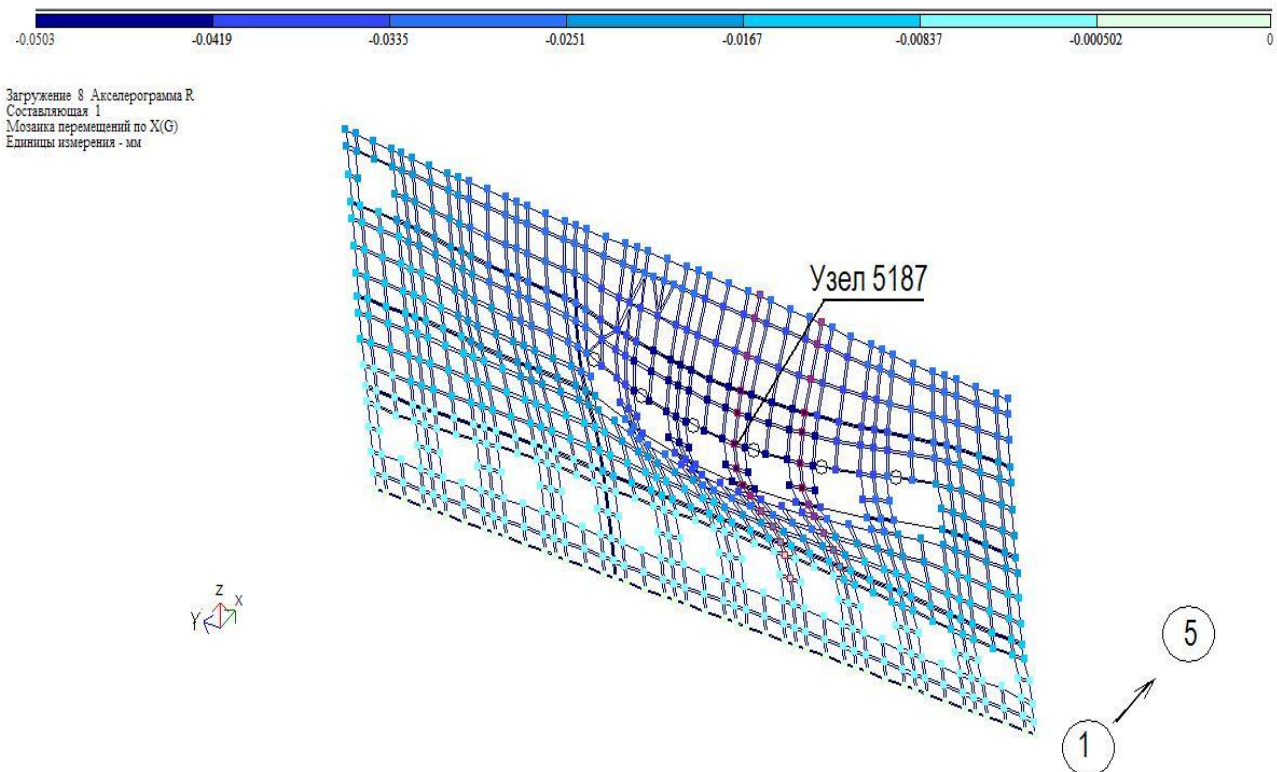


Рис. 21 – Деформований стан стіни по осі 1 при сейсмічних впливах у напрямку X.

Представлена область найбільших деформацій несучої цегляної стіни при сейсмічних впливах обмежує простір глядацького залу Центру. Залізобетонні балки покриття на відм. 10.85 і верхній пояс поперечної рами по осі «І» на відм. 11.80, несучі

елементи покриття, є найбільш відповідальними конструктивними елементами покриття будівлі і визначають її довговічність (ресурс). Для цих елементів за формулою (6) з урахуванням результатів математичного моделювання НДС будівлі Центру в ПК ЛІ-РА був виконаний розрахунок ризиків руйнування з метою визначення зниження ресурсу цих елементів при впливі сейсмічних навантажень. Ризик руйнування склав: для балки покриття  $risk = \Phi(-3,814) < \Phi(-3,29) = 0,0005$ ; для верхнього поясу рами  $risk = \Phi(-6) < \Phi(-3,29)$ . Розрахункові дані ризиків руйнування елементів конструкцій за формулою (6) представлені на рис. 22, а саме в т. 1 для балки покриття, т. 2 - для верхнього поясу рами.

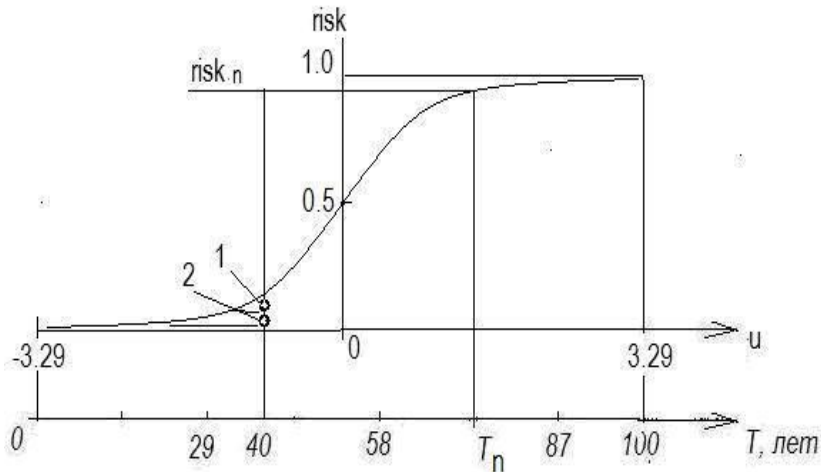


Рис. 22 – Графік функції  $risk=F(u)$  для визначення поточного віку будівлі

Отримані значення ризику руйнування задовольняли необхідним показникам міцності. Однак, будівля за період експлуатації більш ніж у 40 років піддавалася періодичним впливам сейсмічних навантажень від вибухів в кар'єрах і накопичила багато прихованих і відкритих дефектів в конструктивних елементах, що не були враховані в розрахунках. З огляду на утворення значних зазорів між плитами покриття, їх жорсткість, як єдиного горизонтального диска, постійно знижується і відповідно знижується інтегральна жорсткість будівлі Центру в цілому. За українськими нормами період експлуатації будівель житлового та культурного призначення встановлюється в 100 років. Крива еволюції несучої здатності описується:

$$P = P_0 - \Delta P(T, T^2), \quad (11)$$

де  $P_0$  – несуча здатність конструктивних елементів або будівлі в період початку їх експлуатації,  $\Delta P$  – зменшення несучої здатності за минулий період  $T$  (років). На рис. 23 представлений графік зміни несучої здатності несучого елемента і будівлі Центру в цілому, також представлена діаграма «а - д» оцінки його технічного стану. Зниження ресурсу будівлі визначається величиною  $\Delta T_1$ . Розрахунковий вік будівлі відрізняється від нормативного на величину  $\sim 30$  років.

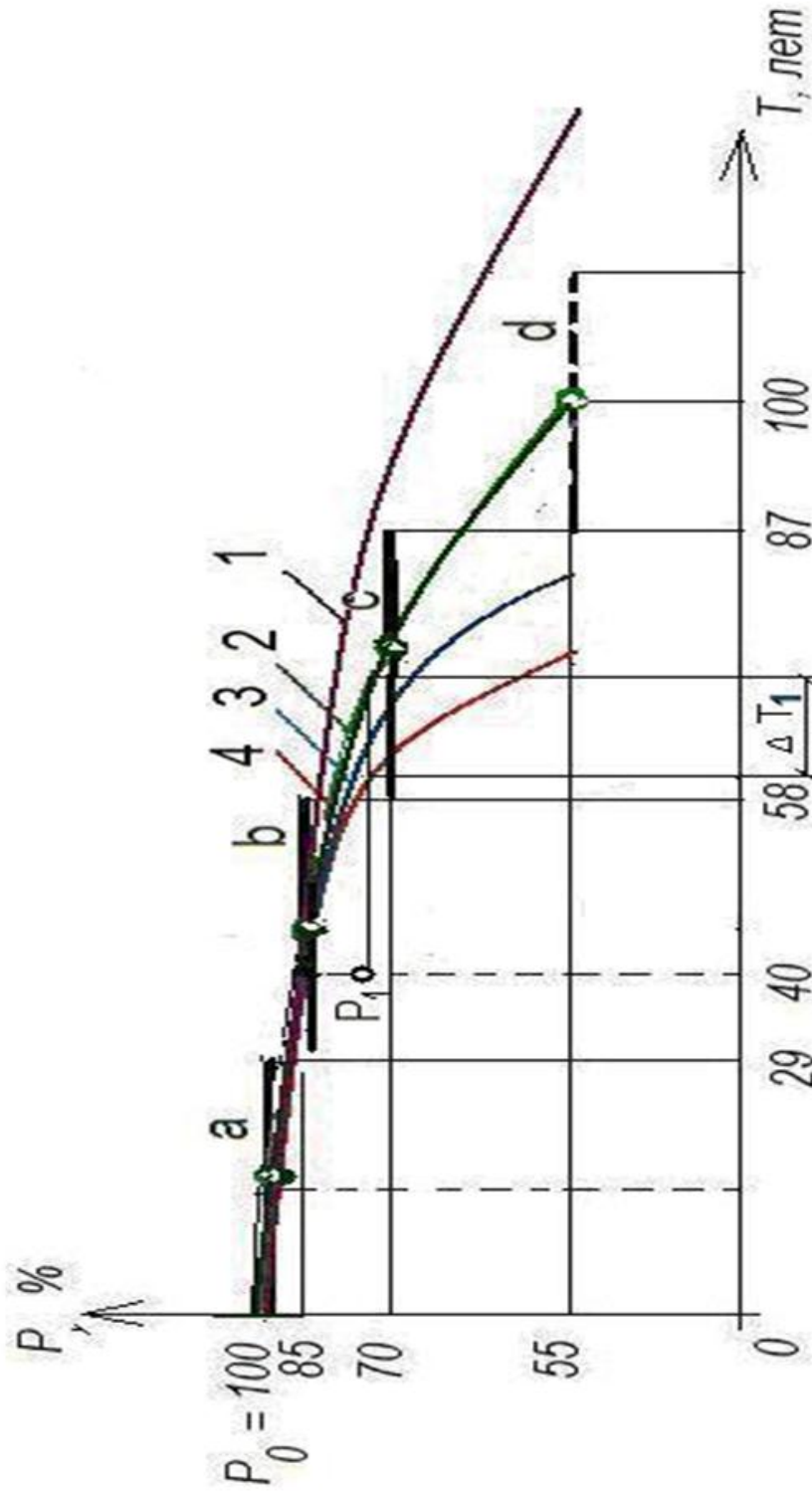


Рис 23 – Криві зміни несучої здатності конструктивних елементів і будівлі Центру в цілому. Позначення: 1 - крива зміни несучої здатності окремого конструктивного елемента при сейсмічних впливах, 2 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому без сейсмічних впливів, 3 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому без пошкоджень при сейсмічних впливах, 4 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому з ушкодженнями при сейсмічних впливах; а - будівля в нормальному стані, б - будівля в задовільному стані, с - будівля непридатна для нормальної експлуатації, d - будівля в аварійному стані;  $P_1$  - технічний стан будівлі Центру на момент досліджень (2012 р).



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі обґрунтована та вирішена актуальна науково-технічна задача – проведено експериментально-аналітичні дослідження впливу промислових вибухів в залізорудних кар'єрах Кривого Рогу на будівлі та споруди на межі їх санітарно-охоронних зон, які розташовані в безпосередній близькості або охоплюють житлові квартали міста. Основні висновки дисертаційної роботи викладені у наступному:

1. Проведено систематизацію та узагальнення одержаних раніше даних результатів теоретичних і експериментальних досліджень щодо промислових вибухів, аналізу сучасних методів розрахунку основ і фундаментів будівель на сейсмостійкість, нормативних документів України, європейських країн і міжнародних стандартів щодо допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, споруди та високоточне обладнання; щодо проектного терміну експлуатації та довговічності будинків і споруд.

2. Вперше отримані нові експериментальні дані про вплив промислових вибухів на технічний стан будівель та споруд на межі санітарної зони кар'єрів м. Кривий Ріг методами вібраційної діагностики.

3. Вперше розблено методику оцінки життєвого ресурсу будівель та споруд, що включає три частини: (1) експериментальні дослідження динамічної реакції будівель або споруд на вибухові впливи, а також візуальний огляд; (2) математичне моделювання досліджуваного об'єкта; (3) системне об'єднання результатів досліджень і їх підсумковий аналіз.

4. Удосконалено чисельну методику обробки результатів експериментальних досліджень реакції будівель та споруд на сейсмічні впливи від промислових вибухів.

5. Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені в ВАТ «ПівдГЗК» при дослідженні впливу промислових вибухів на будівлі та споруди на межі санітарно-охоронної зони кар'єру, а також при розробці нормативних документів: ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд».

### Список опублікованих праць за темою дисертації

#### Статті, що проіндексовані у наукометричній БД SCOPUS:

1. Kaliukh, I., Dunin, V. and Berchun, Y. [2018] Decreasing Service Life of Buildings Under Regular Explosion Loads. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54, 948-956. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0098-9>
2. Trofymchuk, O.M., Kaliukh, Y.I., Dunin, V.A. et al. On the Possibility of Multi-Wavelength Identification of Defects in Piles. *Cybern Syst Anal* 54, 600–609 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0061-9>
3. Monitoring of pile foundation engineering in dense urban development conditions on landslide hazardous site / N. Marienkov, K. Babik, Y. Bolotov, V. Dunin. - Conference Proceedings, Monitoring 2019, Nov 2019, Volume 2019, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903178>



### Статті, що проіндексовані у наукометричній базі COPERNICUS:

4. 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.
5. Експериментально-аналітичні дослідження технічного стану залізничних проти-зсувних споруд під дією динамічних навантажень / Ю.І. Калюх, В.А. Дунін, Я.О. Берчун, С.М. Самойленко // Екологічна безпека. – 2017. – № 3-4 (24). – С. 148-155.
6. Vibrodinamic monitoring of pile foundation engineering on landslide hazardous site in dense urban development conditions / I. Kaliukh, O. Lebid, V. Dunin, N. Margvelashvili, Y. Berchun, S. Samoilenko // Екологічна безпека. – 2018. – № 2 (26). – С. 54-64.
7. Experimental monitoring and dynamic certification of building structures / N.G. Marienkov, V.A. Dunin, N. Margvelashvili, G.G. Farenyuk, Ya.O. Berchun // Наука та будівництво. – 2019. – № 22(4). – С. 33-44.

### Статті у наукових виданнях та матеріалах конференцій:

8. Динамическая реакция грунта и зданий г. Кривого Рога на варьирование параметров промышленных взрывов карьера ЮГОК / К. А. Хавкин, В. А. Дунин, Ю. И. Калюх и др. // Будівельні конструкції: зб. наук. пр. – К.: ДП НДІБК, 2010. – Вип. 73 – С. 454 – 460.
9. Практичні питання динаміки будівель і споруд / Ю.І. Немчинов, О.К. Хавкін, М. Г. Мар'єнков, Л.О. Жарко, В.А. Дунін, К.М. Бабік, К.В. Єгупов, О.В. Кендзера, В.К. Єгупов, А.Ф. Булат, В.І. Дирда, М.І. Лисиця // Будівництво України, №6, 2013. – С. 6 – 14.
10. Experimental and theoretical assessment of residual service life for the reinforced concrete residential buildings under systematical acting low earthquakes due to industrial explosions / I. Kaliukh, V. Senatorov, V. Dunin et.al. // Fib Congress Mumbai. – 2014. – Vol. II. – P.651 – 653.
11. Мар'єнков Н.Г. Экспериментально-теоретическая оценка сейсмостойкости здания с металлическим каркасом / Н.Г. Мар'єнков, Д.В. Богдан, В.А. Дунин// Будівельні конструкції. Будівництво в сейсмічних районах України. Зб. наук. праць. - Київ. ДП НДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 99 – 108.

### АНОТАЦІЯ

**Дунін В.А. Вплив промислових вибухів на довговічність конструкцій будівель в умовах м. Кривий Ріг. - На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». - Державне підприємство

«Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Київ, 2021.

Метою роботи є експериментально-аналітичні дослідження впливу промислових вибухів в залізорудних кар'єрах Кривого Рогу на межі їх санітарно-охоронних зон, які розташовані в безпосередній близькості або охоплюють житлові квартали міста.

У дисертації уперше отримані нові експериментальні дослідні дані про вплив промислових вибухів на технічний стан будівель та споруд на межі санітарної зони залізорудних кар'єрів ВАТ «ПівнГЗК», РУ ГЗК «Криворіжсталь», ВАТ «ЦГЗК» та ВАТ «ПівдГЗК» м. Кривий Ріг методами інтегральної вібраційної діагностики. Уперше розроблено методику оцінки життєвого ресурсу будівель та споруд, що включає три частини: (1) експериментальні дослідження динамічної реакції будівель або споруд на вибухові впливи, а також візуальний огляд; (2) математичне моделювання досліджуваного об'єкта; (3) системне об'єднання результатів досліджень і їх підсумковий аналіз. Удосконалено чисельну методику обробки результатів експериментальних досліджень реакції будівель та споруд на сейсмічні впливи від промислових вибухів.

Автор взяв участь у розробці двох нормативних документів України: ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд», які введені в дію. Науково-методичні розробки дисертаційної роботи впроваджені в ВАТ «ПівдГЗК» при дослідженні впливу промислових вибухів на будівлі та споруди на межі санітарно-охоронної зони кар'єру.

**Ключові слова:** промислові вибухи, неруйнівні методи, інтегральна діагностика, життєвий ресурс, обробка експериментальних результатів.

## АННОТАЦИЯ

**Дунин В.А. Влияние промышленных взрывов на долговечность конструкций зданий в условиях м. Кривой Рог. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения». - Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», Киев, 2021.

Целью работы является экспериментально-аналитические исследования воздействия промышленных взрывов в железорудных карьерах Кривого Рога на границы их санитарно-охранных зон, которые расположены в непосредственной близости или охватывают жилые кварталы города.

В диссертации впервые получены новые экспериментальные исследовательские данные о влиянии промышленных взрывов на техническое состояние зданий и сооружений на границе санитарной зоны железорудных карьеров ОАО «СевГОК», РУ ГОК «Криворожсталь», ОАО «ЦГОК» и ОАО «ЮГОК» г. Кривой Рог методами интегральной вибрационной диагностики. Впервые разработана методика оценки жизненного ресурса зданий и сооружений, включая три части: (1) экспериментальные исследования динамической реакции зданий или сооружений на взрывные воздействия, а также визуальный осмотр; (2) математическое моделирование исследуемого объекта; (3) системное объединение результатов исследований и их итоговый анализ. Усовершенствована численная методика обработки результатов экспериментальных иссле-

дований реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия от промышленных взрывов.

Автор брал участие в разработке двух нормативных документов Украины: ДБН В.1.1-12:2014 «Строительство в сейсмических районах Украины» и ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Руководство по научно-техническому мониторингу зданий и сооружений», которые введены в действие. Научно-методические разработки диссертационной работы внедрены в ОАО «ЮГОК» при исследовании влияния промышленных взрывов на здания и сооружения на границе санитарно-охранной зоны карьера.

**Ключевые слова:** промышленные взрывы, неразрушающие методы, интегральная диагностика, жизненный ресурс, обработка экспериментальных результатов.

## ANNOTATION

### **Dunin VA Influence of industrial explosions on durability of constructions of buildings in the conditions of Kryvyi Rih. – Qualifying scientific work as a manuscript.**

Technical Science candidate's thesis on 05.23.01 «Building constructions, buildings and structures». – State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, 2021.

The aim of the work is experimental and analytical studies of the impact of industrial explosions in the iron ore quarries of Krivoy Rog on the boundaries of their sanitary protection zones, which are located in the immediate vicinity or cover residential areas of the city.

In the dissertation, for the first time, new experimental research data on the effect of industrial explosions on the technical condition of buildings and structures on the border of the sanitary zone of the iron ore quarries of OJSC SevGOK, RU GOK Krivorozhstal, OJSC TsGOK and OJSC YuGOK, integral vibration diagnostics. For the first time, a methodology for assessing the life of buildings and structures has been developed, including three parts: (1) experimental studies of the dynamic response of buildings or structures to explosive effects, as well as visual inspection; (2) mathematical modeling of the object under study; (3) systematic integration of research results and their final analysis. The numerical method for processing the results of experimental studies of the response of buildings and structures to seismic effects from industrial explosions has been improved.

Participated in the development of two regulatory documents of the Ministry of Regional Development of Ukraine DBN B.1.1-12:2014 "Construction in seismic regions of Ukraine" and DSTU-N B V.1.2-17: 2016 "Guidelines for scientific and technical monitoring of buildings and structures", which were put into effect. Scientific and methodological developments of the dissertation work were introduced at OJSC YUGOK in the study of the influence of industrial explosions on buildings and structures at the border of the sanitary protection zone of the quarry.

**Key words:** industrial explosions, non-destructive methods, integrated diagnostics, life resource, processing of experimental results.