

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
(МІНРЕГІОН)

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Дунін Володимир Андрійович

УДК 624.042.7; 699.841

## ДИСЕРТАЦІЯ

### **ВПЛИВ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ КОНС- ТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ В УМОВАХ м. КРИВИЙ РІГ**

05.23.01 — будівельні конструкції, будівлі та споруди

Галузь знань 19 — архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В. А. Дунін

Науковий керівник:



Калюх Юрій Іванович  
доктор технічних наук,  
професор

Київ — 2021

## АНОТАЦІЯ

Дунін В.А. Вплив промислових вибухів на довговічність конструкцій будівель в умовах м. Кривий Ріг. — Кваліфікаційна наукова праця 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.

**Зміст дисертації.** У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, необхідність розв'язання поставлених в ній проблем, вказано на її зв'язок з напрямками проведення наукових досліджень ДП НДІБК, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, показана наукова новизна та практична цінність дисертаційної роботи, наведено дані про особистий внесок автора, апробацію результатів дослідження й публікації за вказаною темою.

У **розділі 1** здійснено критичний аналіз результатів відомих досліджень щодо методів прогнозу сейсмічної небезпечності промислових вибухів і методів захисту будівель і 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., Измайлова 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. На основі наведеного аналізу сучасних експериментально-теоретичних досягнень та узагальнень у цьому напрямі сформульовані мета та завдання дисертаційних дослідження.

В **розділі 2** окреслено методологію експериментальних та теоретико-розрахункових досліджень, розрахунковий апарат з визначення параметрів сейсмічної реакції та ризиків руйнування будівель, споруд та конструкцій при динамічних впливах від промислових вибухів. Приведено опис експериментального обладнання для реєстрації динамічних впливів на будівлі та споруди: датчики, АЦП та ін. Розглянута програма «Сейсмомоніторинг» та її можливості для оперативної та глибинної обробки результатів динамічних вимірювань. Система реєстрації динамічних впливів працює як інтернет речей в хмарному середовищі з можливістю одночасної реєстрації інформації з восьми однокомпонентних динамічних сенсорів завдяки хмарним технологіям, що реалізовані в вимірювальному комплексі. Проведено тарування вимірювальної системи та її сертифікацію в Укрметстандарті. Описано можливості пакету ЛПРА 9.6 для реалізації прямих динамічних розрахунків цілих та пошкоджених будівельних конструкцій для цілей визначення життєвого ресурсу будівель та споруд, що знаходяться під регулярними впливами промислових вибухів на межі залізрудних кар'єрів м. Кривий Ріг. Проведено порівняльне тестування методики прямих динамічних розрахунків на одному з будівельних об'єктів м. Кривий Ріг з урахуванням експериментальних акселеролограм та без них. Наведено математичний метод вирішення рівняння  $n$ -ступеню, що використовується для

обчислення власних частот коливань елементів будівельних конструкцій. Наведено методику визначення конструкційного ризику при динамічному впливі на основі зіставлення двох величин: параметра зовнішнього навантаження, визначеного на основі розрахунку за допомогою пакету LIRA 9.6 з урахуванням динамічного навантаження, і параметра опору конструкції.

У **розділі 3** наведені основні результати натурних динамічних досліджень будівель і споруд за допомогою багатоканальних систем сейсмомоніторингу. Першим розглянуто натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК» (Ганнівського і Першотравневого кар'єрів). Основним критерієм при виборі об'єктів для проведення натурних вимірювань було розташування будівель поблизу меж санітарно-захисної зони кар'єрів. Також бралися до уваги технічний стан будівель і їх поверховість. Як об'єкт підвищеної уваги розглянута триповерхова будівля середньої школи № 40, побудована в 50-і роки. При візуальному огляді будівлі виявлені тріщини в зовнішніх несучих стінах шириною до 2-х см. На основі отриманих фактичних рівнів прискорень і віброшвидкості ґрунту і конструкцій обстежених будівель було встановлено, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 1-45,1 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) школи № 40 в режимі, близькому до резонансного. З огляду на те, що пошкоджені конструкції будівлі школи № 40 піддаються багаторазовим сейсмічним коливанням при масових вибухах у Першотравневому кар'єрі, необхідна організація, розробка і установка системи вібромоніторингу для визначення максимальних рівнів сейсмовибухових впливів на будівлю і їх вплив на технічний стан конструкцій. Далі було розглянуто натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах РУ ГЗК «Криворіжсталь». Вимірювання проводились на будівлі Церкви Різдва Пресвятої Богородиці, що побудована в кінці 19-го століття і являє собою об'єкт підвищеної уваги через велике скупчення людей і історико-культурологічну цінність. При проведенні візуального обстеження церкви були виявлені вертикальні і похилі тріщини в стінах з внутрішнього і зовнішнього боків. Аналіз спектрів прискорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 1-48 Гц, що підтверджує можливість

коливань конструкцій церкви (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. Були проведені натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «ЦГЗК». Житлова п'ятиповерхова прямокутна в плані будівля масової забудови по вул. Кремлівській, 13, побудована в 1958-1959 рр. В результаті візуального обстеження виявлено значні тріщини в зовнішніх несучих стінах головного і дворового фасаду. Вертикальні тріщини поширюються по всій висоті стін, ширина розкриття тріщин досягає у верхній частині 3 см. Результати аналізу впливу зареєстрованих ударних хвиль від промислових вибухів на кар'єрах ВАТ «ЦГЗК» в ґрунті свідчать про можливий резонанс будівельних елементів споруди.

У розділі 4 роботи наведені результати натурних вимірювань рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на 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» (Центр). Частотні характеристики будівлі Центру творчості знаходяться в діапазоні 5-8 Гц. У лівій прибудові Центру і в стіні біля вітража є тріщини, вид яких представлений на рис. 12 і 13. Наявність тріщин в несучих стінах будівлі істотно знижує їх жорсткість і загрожує розвитком при значних сейсмічних впливах при вибухах. Мінімальне віддалення Центру – 1600 м від блоку №71, максимальне – 2150 м від блоку №69. Дата і час проведення масового вибуху в кар'єрі «Південний ГЗК» - 09.07.08 р., 12:00. Місце проведення буропідривних робіт - північна і північно-західна частини кар'єра. Маса вибухової речовини - 449,23 т. Тривалість сейсмічних впливів з максимальною віброшвидкістю склала до 0,7 с. У діапазоні до 10 Гц коливання ґрунту склала 5,4 Гц і 7,9 Гц. Спостереження за тріщинами в Центрі, встановленими 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. Зареєстровані значення віброшвидкості при цьому склала переважно 0,2 - 0,5 см/с, що відповідає інтенсивності сейсмічних впливів від 1 до 3 балів за шкалою MSK - 64. На прикладі будівлі Центру розроблена і апробована методика оцінки життєвого ресурсу будівель, 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. Представлений графік зміни несучої здатності окремого несучого елемента і будівлі Центру в цілому, також представлена діаграма оцінки його технічного стану. Розрахунковий вік Центру знизився на величину ~ 30 років в порівнянні з проектним (100 років) внаслідок безперервного періодичного впливу ґрунтових ударних хвиль від промислових вибухів на залізорудному кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК».

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

### ABSTRACT

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

Dissertation for a Candidate Degree in technical sciences by specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and facilities». – State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, 2021.

**Dissertation content.** The introduction substantiates the relevance of the dissertation topic, points to its connection with the scientific research of SE NDIBK, formulates the purpose, objectives, object and subject of research, reveals the scientific novelty and practical value of the dissertation, provides data on the author's personal contribution, approbation of results research and publications on the topic.

**Section 1** provides a critical analysis of the results of known studies on methods of forecasting the seismic hazard of industrial explosions and methods of protecting buildings and structures from their harmful seismic effects; instrumental methods and means of assessing the technical condition of buildings and structures, setting research objectives. The author has conducted analysis of results of scientific research of Eisenberg Y.M., Babich E.M., Bazhenov V.A., Bambura A.M., Belash T.A., Birbraer A.M., Bolotin V.V., Boyko I.P., Bugaevsky G.M., Veryuzhsky Y.V.,

Golyshev O.B., Gorodetsky O.S., Goldenblat J.I., Grishin A.V., Gudkov B.P., Derkachov A.A., Dekhtyaryuk E.S., Dzhabauri G.G., Dorofeev V.S., Egupov V.K., Egupov K.V., Zhunusov T.Z., Zdorenko V.S., Zolotkov A.S., Izmailov Y.V., Kendzera O.V., Kylymnyk L.Sh., Klimov Y.A., Klovanich S.F., Kozachevsky A.T., Kolchunov V.I., Korchinsky I.L., Kukunaev V.S., Kulyabko V.V., Lizunov P.P., Napetvaridze Sh.G., Nemchinov Y.I., Perelmuter O.V., Piskunov V.G., Plakhtienko M.P., Polyakov S.V., Pustovitenko B.G., Rasskazovsky V.T., Rastorguev B.S., Rzhovsky A.V., Seimov V.M., Sinitsyn O.P., Shvets V.B., Fialko S.Yu., Uzdin O.M., Chernyi G.I., Yaremenko A.F., V. Bertero, R. Goel, H. Kuramoto, K. Matsumoto, A. Teran-Gilmore, R. Faifar, Z. Freeman, A. Chopra and others. The analysis revealed a significant difficulty in solving problems of assessing the impact of industrial explosions on existing buildings. This is due, among other things, often to the uncertainty of the initial information about industrial explosions, the variety of structural schemes of buildings and structures, the complexity of the interaction of the upper part of buildings with the base, the variability of power connections and their effects, inelastic (nonlinear) properties their technical condition, the presence of damage and cracks, which are not taken into account in the mathematical modeling of the stress-strain state by many software packages certified in Ukraine. On the basis of the given analysis of modern experimental-theoretical achievements and generalizations in this direction the purpose and tasks of dissertation researches are formulated.

**Section 2** outlines the methodology of experimental and theoretical-computational research, the calculation apparatus for determining the parameters of seismic response and the risks of destruction of buildings, structures and structures under dynamic influences from industrial explosions. The description of the experimental equipment for registration of dynamic influences on buildings and constructions is resulted: sensors, ADC, etc. The program "Seismic Monitoring" and its possibilities for operative and deep processing of results of dynamic measurements are considered. The system of registration of dynamic influences works as the Internet of things in the cloud environment with a possibility of simultaneous registration of information from eight one-component dynamic sensors thanks to the cloud technologies realized in a measuring complex. Calibration of the measuring system and its certification in Ukrmetstandard were carried

out. The possibilities of LIRA 9.6 package for realization of direct dynamic calculations of whole and damaged building constructions for the purposes of determination of vital resource of buildings and constructions which are under regular influences of industrial explosions on the border of iron ore quarries of Kryvyi Rih are described. A comparative testing of the method of direct dynamic calculations at one of the construction sites in Kryvyi Rih, taking into account experimental accelerograms and without them. A mathematical method for solving the n-degree equation, which is used to calculate the natural frequencies of oscillations of structural elements, is presented. The method of determination of structural risk at dynamic influence on the basis of comparison of two sizes is resulted: the parameter of external loading defined on the basis of calculation by means of the LIRA 9.6 package taking into account dynamic loading, and a parameter of resistance of a design.

**Section 3** presents the main results of full-scale dynamic studies of buildings and structures using multi-channel seismic monitoring systems. The first is the full-scale measurements of vibration levels during mass explosions in the quarries of OJSC «Northern mining and processing integrated plant» («Northern GZK», Hannivsky and Pershotravnevyi quarries). The main criterion in the selection of objects for field measurements was the location of buildings near the boundaries of the sanitary protection zone of quarries. The technical condition of the buildings and their number of storeys were also taken into account. The three-storey building of the secondary school № 40, built in the 50s, is considered as an object of increased attention. Visual inspection of the building revealed cracks in the external load-bearing walls up to 2 cm wide. Based on the obtained actual levels of acceleration and vibration velocity of the soil and structures of the surveyed buildings, it was found that the dominant frequencies are in the range 1-45.1 Hz. This confirms the possibility of fluctuations in the structures of buildings (floors, walls) of the school № 40 in a mode close to resonant. Given that the damaged structures of the school building № 40 are subject to repeated seismic vibrations during mass explosions in the Pershotravnevyi quarry, it is necessary to organize, develop and install a vibration monitoring system to determine the maximum levels of seismic effects on the building and their impact on the technical condition of structures. Next, full-scale measurements of vibration levels during mass explosions at the quarries of Kryvorizhstal



were considered. The measurements were carried out on the building of the Church of the Nativity of the Blessed Virgin, which was built in the late 19th century and is the object of increased attention due to the large crowds and historical and cultural value. A visual inspection of the church revealed vertical and sloping cracks in the walls on the inside and outside. Analysis of the spectra of soil accelerations during explosions revealed that the dominant frequencies are in the range of 1-48 Hz, which confirms the possibility of oscillations of church structures (floors, walls) in a mode close to resonant. Full-scale measurements of vibration levels during mass explosions in the quarries of PJSC «Central GZK» were carried out. Residential five-storey rectangular in plan building of mass construction on the street. Kremlivska, 13, built in 1958-1959. As a result of visual inspection, significant cracks were found in the outer load-bearing walls of the main and courtyard facade. Vertical cracks propagate along the entire height of the walls, the width of the cracks reaches 3 cm in the upper part. The results of the analysis of the impact of registered shock waves from industrial explosions in the quarries of PJSC «Central GZK» in the soil indicate a possible resonance of building elements.

**Section 4** presents the results of field measurements of vibration levels during mass explosions in the quarry of PJSC «Southern GZK», which are then used as input data for mathematical modeling of the stress-strain state and assessment of the life of the Center for Children and Youth Creativity "Dream" (Center). The frequency characteristics of the Creativity Center building are in the range of 5-8 Hz. In the left annex of the Center and in the wall near the stained glass there are cracks, the appearance of which is shown in Fig. 12 and 13. The presence of cracks in the load-bearing walls of the building significantly reduces their rigidity and threatens the development of significant seismic effects during explosions. The minimum distance of the Center is 1600 m from the block №71, the maximum - 2150 m from the block №69. Date and time of the mass explosion in the quarry «Southern GZK» - 09.07.08, 12:00. The place of drilling and blasting works is the northern and north-western parts of the quarry. The mass of the explosive is 449.23 tons. The duration of seismic actions with the maximum vibration velocity was up to 0.7 s. In the range up to 10 Hz, soil oscillations were 5.4 Hz and 7.9 Hz. Observations of cracks in the Center, installed on 12.08.08, to assess the impact of explosions on them showed that hair cracks appeared in some lighthouses after the explosion on 10.09.08, the

registered values of vibration speed were mainly 0.2 – 0.5 cm/s, which corresponds to the intensity of seismic influences from 1 to 3 points on the scale MSK-64. On the example of the building of the Center developed and tested a method of assessing the life of buildings, consisting of three parts: experimental studies of dynamic response of buildings or structures to explosives influences, as well as visual inspection - the first part; mathematical modeling of the studied object - the second part; systematic integration of research results and their final analysis - the third part. The schedule of change of bearing capacity from a separate bearing element and the building of the Center as a whole is presented, the diagram of an estimation of its technical condition is also presented. The estimated age of the Center has decreased by ~ 30 years compared to the design (100 years) due to the continuous periodic impact of soil shock waves from industrial explosions at the iron ore quarry of PJSC «Southern GZK».

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

### Список публікацій здобувача:

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>.
4. Немчинов Ю.І. 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 протизсувних 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. Identification of defects of the piles with reflected waves/O. Lebid, I. Kaliukh, Y. Berchun, D. Chernyshev // Екологічна безпека. –2018. – № 1 (25). – С. 64-76.
7. 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.

8. Experimental monitoring and dynamic certification of building structures/M.H. Marienkov, V.A. Dunin, N. Margvelashvili, G.G. Farenjuk, Ya.O. Berchun // Наука та будівництво. –2019. – № 22(4). – С. 33-44.
9. Динамическая реакция грунта и зданий г. Кривого Рога на варьирование параметров промышленных взрывов карьера ЮГОК/К. А. Хавкин, В. А. Ду-нин, Ю. И. Калюх и др. // Будівельні конструкції : зб. наук. пр. – К. : ДП НДІ-БК, 2010. – Вип. 73 – С. 454 – 460.
10. Практичні питання динаміки будівель і споруд / Ю.І. Немчинов, О.К. Ха-вкін, 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 Ук-раїни, №6, 2013. – С. 6 – 14.
11. 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.

## ЗМІСТ

|   | Стор. |
|---|-------|
| ЗМІСТ   | 13    |
| ІЗ ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ  | 14    |
| ВСТУП   | 15    |
| РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВІВ ПРОСМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА НДС БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД   | 23    |
| 1.1. Промислові вибухи і механізм формування сейсмічних коливань  | 23    |
| 1.2. Аналіз нормативних документів України, європейських країн і міжнародних стандартів щодо допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, споруди та високоточне обладнання | 36    |
| 1.3. Аналіз сучасних методів розрахунку основ і фундаментів будівель на сейсмостійкість   | 55    |
| 1.4. Проектний термін експлуатації та довговічності будинків і споруд   | 61    |
| 1.5. Постановка завдання дослідження  | 70    |
| РОЗДІЛ 2. СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНОГО ВРАХУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ  | 71    |
| 2.1. Експериментальне обладнання для реєстрації динамічних впливів на будівлі та споруди.   | 71    |
| 2.2. Багатоканальна вимірювальна система «Сейсмомоніторинг».  | 77    |
| 2.3. Програмне забезпечення. Програма «Сейсмомоніторинг».   | 84    |
| 2.4. Пакет ЛІРА та реалізація прямого динамічного розрахунку на дію реальних акселерограм   | 88    |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИВОГО РОГУ  | 93    |
| 3.1. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК»   | 93    |
| 3.2. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах РУ ГЗК «Криворіжсталь»  | 111   |
| 3.3. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «ЦГЗК»  | 129   |
| 3.4. Висновки за розділом 3   | 144   |
| РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ   | 147   |
| 4.1. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Південний ГЗК»   | 147   |
| 4.2. Зниження життєвого ресурсу будівель при регулярних вибухових впливах   | 167   |
| 4.3. Розрахунок комп'ютерної моделі будівлі Центру творчості на основі методу прямого динамічного розрахунку  | 171   |
| 4.4. Оцінка життєвого ресурсу Центру на основі системного об'єднання результатів натурних і чисельних досліджень  | 181   |
| 4.5. Висновки за розділом 4   | 185   |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ   | 186   |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ  | 188   |
| ДОДАТОК А.  | 200   |
| ДОДАТОК Б.  | 203   |

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

| № п/п | Скорочення | Пояснення  |
|-------|------------|--|
| 1.    | АЦП        | Аналого-цифровий перетворювач  |
| 2.    | ДБН        | Державні будівельні норми  |
| 3.    | ДП НДІБК   | Державне підприємство "Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" |
| 4.    | КНУБА      | Київський національний університет будівництва та архітектури              |
| 5.    | МСЕ        | Метод скінченних елементів   |
| 6.    | НДС        | Напружено-деформований стан  |
| 7.    | ПК         | Програмний комплекс  |
| 8.    | ПОС        | Пакет обробки сигналів   |
| 9.    | ТС         | Технічний стан   |
| 10.   | ФМХ        | Фізико-механічні характеристики  |

## ВСТУП

Відзначається світова тенденція до зростання сейсмічної небезпеки як у сейсмічно активних районах, так і в районах, що раніше належали до несейсмічних. Понад 120 тис. км<sup>2</sup> (20% території України) знаходяться в сейсмонебезпечних зонах з інтенсивністю понад 6 балів, в яких проживає майже 11 млн. чол. (понад 20% населення). Посилення сейсмічної активності в сусідній Румунії в зоні Вранча та Чорноморському регіоні, а також, загалом, на планеті призвело до підвищення рівня сейсмічної небезпеки, зокрема, на всій території України та до зростання відповідного зсувопровокуючого фактора. Україна (а не лише карпатський і кримський регіони, як раніше вважалось), є зоною, де потенційно можливі прояви землетрусу, причому доволі сильні. На підтвердження цьому доречно привести висловлювання заступника директора інституту геофізики НАНУ О. Кендзера<sup>1</sup>: «...В районах з послабленими ґрунтами (часті зсуви та ін.) можуть спостерігатись і 7—8-бальні ефекти». «До японського землетрусу (11 березня 2011) вважалось, що при 9-бальному землетрусі прискорення ґрунту може складати до 0,4g. Але японська катастрофа показала значення аж до 2,7g. Це призвело до більших руйнувань, ніж очікувалось. Це значить, що варто переглянути всі параметри землетрусів», — так вважає директор Інституту геофізики і інженерної сейсмології Вірменії С. Огасян<sup>1</sup>. О. Кендзера вважає, що, відповідно, потрібно переглянути і дані, які використовуються проектувальниками при зведенні будівель та споруд<sup>1</sup>. Суттєвою проблемою є відсутність достатнього обсягу матеріалів та інформації щодо технічного стану існуючих будівель і споруд, відсутність організованого моніторингу.

Наряду з думками вчених додамо висловлювання і практиків. «В цьому аспекті (сейсмічна небезпека) особливо актуальною стає необхідність детального обстеження будівель і споруд міської забудови з метою виявлення

---

<sup>1</sup> Ученые: Сильные землетрясения могут быть во всей Украине [Новости Украины](http://for-ua.com/ukraine/2011/03/23/08:51:21.html) / 23 марта 2011 | 08:51 Режим доступу: <http://for-ua.com/ukraine/2011/03/23/08:51:21.html>.

сейсмонебезпечних об'єктів, до яких можна уже віднести житлові будинки старої забудови та об'єкти, побудовані з місцевих матеріалів у повоєнні роки. Слабкість вітчизняної законодавчої та нормативної бази, а також економічні проблеми є причиною того, що така робота майже не проводиться», – так у своєму виступі охарактеризував наявну ситуацію колишній заступник міністра Мінрегіонбуду Беркута А.В. на відкритті конференції з сейсмостійкого будівництва в м. Ялта 2012 г.

**Актуальність проблеми.** Найважливішою складовою гірничодобувної промисловості України є видобуток залізної руди, яка ведеться переважно 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 великий 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, так як збільшується ймовірність виникнення їх резонансних коливань, в результаті яких значно збільшуються зміщення і 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. В охоронній зоні кар'єрів на ділянках житлових кварталів на сьогодні вже знаходяться об'єкти соціально-культурного призначення (школи, центри дитячої творчості, дитячі садки, церкви та ін.), а також житлові будинки заввишки 5-9 поверхів. Дуже частими є такі порушення, як осипання побілки. Спостерігаються також порушення заклення 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 міської межі вимагає адміністративних заходів обмеження сейсмічних впливів вибухів на будівлі і споруди в контрольованій зоні. До таких заходів належить встановлення граничних



маси речовин, що підриваються, і регулярності проведених вибухів. Тому цілком зрозумілий той широкий інтерес, який проявляється в останні роки місцевими органами влади Кривого Рогу, керівництвом гірничо-збагачувальних комбінатів, екологічними організаціями тощо до вивчення сейсмічного впливу промислових вибухів і якісного визначення ширини охоронних зон поблизу кар'єрів. До теперішнього часу немає науково обґрунтованих, застосовних в 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. Рижова. 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., Марєнков 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.

Закон Де Сіттера [1] свідчить, що чим більш пізньою є стадія, на якій здійснюються рішення з підтримки працездатності будівельної конструкції, тим більшу ціну доводиться за них платити. Якщо позначити через  $n$  номер стадії, на якій реалізуються заходи з підтримки технічного стану об'єкта, і вважати, що  $n = 0$  відповідає стадії проектування і будівництва, тоді  $n = 1$  буде відповідати стадії профілактичного ремонту,  $C_0$  - вартість профілактичного ремонту,  $n = 2$  - стадії

усунення локальних пошкоджень, а  $n = 3$  буде відповідати стадії капітального ремонту. Відповідно до закону Де Сіттера [1], вартість ремонтно-відновлювальних робіт буде визначатися наступною формулою:

$$C=C_0k^n$$

де коефіцієнт  $k$  змінюється в діапазоні від 2 до 5 в залежності від складності конструкції і умов експлуатації.

Визначення щільності потоку сейсмічної енергії від промислових вибухів вимагає великого обсягу статистичного матеріалу, який накопичується на основі інструментальних вимірювань для конкретних умов. Наявних даних для прогнозування наслідків промислових вибухів 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 16.07.2019, підстава - 2704-VIII). Дисертацію виконано у Державному підприємстві «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Результати, що отримано під час виконання роботи, є складовою частиною досліджень, які проводилися в відділі 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 метою розробки Настанови (державного будівельного нормативного документу України) ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016, а також "Розроблення проекту ДБН на заміну ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво у сейсмічних районах України"" (номер реєстрації № ДР 0112U003603).

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

Для досягнення мети проведення дослідження були визначені такі завдання:

- провести систематизування наявних джерел та узагальнити результати

теоретичних і експериментальних досліджень при проведенні промислових вибухів, виконати аналіз 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, а також дослідження щодо проектного терміну експлуатації та довговічності будинків і споруд;

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

– узагальнити прямий динамічний метод розрахунку каркасних залізобетонних 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 досліджень** — зміна деформації та напруження в будівлях та спорудах при проходженні сейсмічних хвиль від промислових вибухів.

**Предмет досліджень** — експериментальна і теоретична оцінка 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.

**Методи дослідження** — 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; необхідність проведення експериментальних та теоретичних досліджень для визначення динамічних характеристик, оцінки напружено-деформованого стану будівель та споруд при дії сейсміки; моделювання МСЕ; застосування програм обробки експериментальних даних.

**Наукову новизну отриманих результатів складають:**

• **вперше** 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 інтегральної вібраційної діагностики;

- **вперше** 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.

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

**Достовірність** основних положень та результатів дисертації доведено:

- використанням методів експериментальних досліджень з застосуванням сертифікованого та атестованого експериментального обладнання та врахування допустимої похибки при аналізі експериментальних даних;

- відповідністю (співставимість) одержаних результатів експериментальних одержаних на основі і теоретичних досліджень.

Наукові положення, висновки та рекомендації базуються на поєднанні . експериментальних досліджень, одержаних методом інтегральної діагностики, та методах комп'ютерного моделювання. Результати теоретичних досліджень з застосуванням чисельних методів перевірено експериментально при проведенні натурних обстежень об'єкта досліджень.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено методику оцінки життєвого ресурсу будівель та споруд на інструментальній базі нового покоління автоматизованих систем неруйнівної діагностики ТС будівель та споруд.

**Реалізація роботи.** Результати досліджень використано:

1. Здобувач безпосередньо брав участь у зборі інформації, необхідної для розробки ДБН «Будівництво у сейсмічних районах України» та «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016», її опрацюванні, внесення уточнень до тексту у підсумкові редакції документів за результатами їх численних рецензувань та обговорень.

2. Результати дисертаційного дослідження за розділом 4 були впроваджені в ВАТ «ПівдГЗК» при дослідженні впливу промислових вибухів на будівлі та споруди на межі санітарно-охоронної зони кар'єру, де здобувач був безпосередньо одним з виконавців.

Документи, що підтверджують впровадження вище наведених результатів досліджень, представлені в Додатку А.

**Особистий внесок здобувача** в опублікованих роботах:

- пошук, узагальнення й аналіз результатів проведених раніше експериментальних і теоретичних досліджень методами неруйнівної технічної діагностики будівель та споруд, формулювання мети та задач досліджень;

- отримання нових експериментальних дослідних даних про вплив промислових вибухів на технічний стан будівель та споруд на межі санітарної зони кар'єрів м. Кривий Ріг методами інтегральної вібраційної діагностики;

- розробка комплексної методики оцінки життєвого ресурсу будівель та споруд на інструментальній базі інтернету речей в хмарному середовищі за допомогою сучасного покоління автоматизованих приладів неруйнівної діагностики.

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи доповідалися на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-громадського, промислового та транспортного призначення» (м. Ялта, смт. Гаспра, 2009); Восьмій всеукраїнській науково-технічній конференції «Будівництво в сейсмічних районах України» (Ялта, 2010); 4 Fib Congress (Мумбаї, Індія, 2014); «Monitoring 2019» (Київ, 2019).

У повному обсязі дисертація доповідалася в 2019 р. та в 2021 р. на двох розширених науково-технічних семінарах відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд ДП "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" за участю представників Інституту гідромеханіки НАН України.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 11 робіт, з яких 7 статей у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку ВАК України, 3 роботи опубліковані в матеріалах міжнародних конференцій, 2 роботи опубліковані в

журналі, що входить до наукометричної бази даних *SCOPUS* (квартиль 2), 1 робота опублікована в матеріалах конференції, що проіндексована в наукометричній базі даних *SCOPUS*.

**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.

Автор вважає за необхідне висловити подяку Хавкіну О.К. та Мар'єнкову М.Г., колишнім завідувачам відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд ДП "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій", за сприяння та цінні поради при виконанні дисертаційних досліджень протягом 2005–2020 рр.

## **РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВІВ ПРОСМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА НДС БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**

### **1.1. Промислові вибухи і механізм формування сейсмічних коливань**

Подальше нарощування економічного потенціалу України, забезпечення стійкого збалансованого зростання важкої промисловості ставлять величезні завдання перед гірничо-збагачувальними комбінатами Криворізького залізорудного басейну. Вони повинні випереджати зростаючі потреби експортного потенціалу України у продукції металургійних підприємств.

Тому не знижуються і поступово збільшуються останнім часом масштаби і темпи зростання видобутку залізної руди в Кривому Розі, які безпосередньо пов'язані зі збільшенням обсягів мирного використання енергії вибуху. Прогнозні дані говорять про те, що найближчими роками обсяг гірської маси, що підривається в гірничодобувній промисловості Кривого Рогу, може збільшитися. Все це свідчить про надзвичайну економічну важливість підвищення ефективності промислових вибухів на кар'єрах Кривого Рогу.

У той же час вибухові роботи часто виконуються поблизу об'єктів промислового, житлового та культурно-побутового призначення Кривого Рогу, так як кар'єри розташовані на всій протяжності міста з півночі на південь, включаючи його центральну частину, де розташований Центральний гірничо-збагачувальний комбінат.

Дослідження сейсмічної дії промислових вибухів інтенсивно розвивалися як в Україні та колишньому СРСР, так і за кордоном у зв'язку з необхідністю забезпечення безпечних умов ведення вибухових робіт при постійному зростанні їх масштабів, коли кількість вибухової речовини (ВР), що одночасно підривається, досягає декількох сотень, а іноді і декількох тисяч тонн.

Фундаментальні положення про виникнення і поширення сейсмічних хвиль від вибухів викладені в роботах Г. А. Гамбурцева, Б. Д. Дерягіна, М. А. Садовського [36-38].

Великий внесок у дослідження дії промислових вибухів на будівлі і споруди зробили українські вчені, співробітники ДП НДІБК: професор, доктор технічних наук Немчинов Ю.І., старший науковий співробітник, доктор технічних наук Мар'єнков М.Г., професор, доктор технічних наук Рижов А.М. та ін. [39-41]. Однак до теперішнього часу немає науково обґрунтованих і придатних для широкого діапазону промислових умов теоретичних методів прогнозу сейсмічної небезпеки вибухів і методів захисту споруд від їх шкідливого сейсмічного впливу. Тому основним методом вивчення сейсмічної дії вибуху залишається лише аналіз результатів інструментальних спостережень [42, 43]. Прогноз сейсмічної небезпеки і вибір раціональної технології промислових вибухів досі базується на емпіричних залежностях основних показників коливань від умов виконання вибухів [44].

Складність прогнозування сейсмічної дії вибухів і прийняття тих чи інших інженерних рішень обумовлюється тим, що, крім загальної енергії зарядів, що підриваються, на величини динамічних параметрів коливань істотний вплив здійснюють розроблені і впроваджені в практику технічні заходи з управління вибухом. На сьогодні широко застосовують методи підриву: високих уступів; в затиснутому середовищі з залишенням породного буфера; з мілісекундними уповільненнями парнозближених зарядів; зарядів ВР різної конструкції; зарядів ВР з регульованою концентрацією енергії. Використовуються також: прийоми екранування хвиль напружень; контурне підривання та ін.

Всі інженерні заходи, змінюючи умови роботи зарядів, що підриваються, тією чи іншою мірою впливають на динамічні показники сейсмічних коливань. Тому необхідно вивчати матеріал щодо сейсмічних проявів промислових вибухів на цивільні будівлі Кривого Рогу від вибухів в кар'єрах.

### **1.1.1. Сейсмічна небезпека від промислових вибухів**

Вибухові роботи в гірничовидобувній промисловості та будівництві найчастіше проводяться поблизу будівель і споруд промислового та побутового призначення, підземних гірничих виробок, укосів кар'єрів і котлованів споруджуваних споруд. Сейсмічні коливання від вибухів здійснюють шкідливий вплив на конструкції діючих



промислових установок різного призначення, на системи блокування, сигналізації і зв'язку. За своєю дією сейсмічні коливання від промислових вибухів і слабких землетрусів мають багато спільного. Правда, при сейсмічних коливаннях від вибухів амплітуди зміщення або швидкості мають меншу повторюваність, тобто загальну тривалість струсу ґрунту. Однак при короткоповільненому 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 споруд, адже збільшується ймовірність виникнення резонансних коливань, в результаті яких значно збільшуються зміщення і швидкості коливань окремих елементів споруд.

У практиці гірських і будівельних робіт відомі численні випадки порушень будівель і споруд від промислових вибухів. Порушення в будівлях житлового та культурно-побутового призначення проявляються насамперед у падінні димових труб і відшаруванні штукатурки, які спостерігалися, наприклад, у 1962 - 1964 рр. при розвитку Ново-Бакальського кар'єра [45]. У Бакальському гірничому технікумі в аудиторії впали 7 м<sup>2</sup> штукатурки стелі. Такі порушення, як осипання побілки, взагалі дуже часті. Спостерігалися також порушення засклення вікон внаслідок перекосу віконних рам в будівлях, що мають відносно рухливі несучі стіни. Відомі випадки розшарування фундаментів від дії вибухів при будівництві стану на Златоустівському металургійному заводі. Порушення в фундаментах і стінах будівель спостерігалися на трьох прилеглих вулицях.

Тріщини після вибухів виникали в будівлі Тулунської районної електричної підстанції, в головному корпусі Бобровського заводу залізобетонних виробів, в підпірній стінці та будівлі кварцитої фабрики в м. Бакалі, в житлових будинках м. Коркіно [45]. А поблизу вугільного розрізу Ірша-Бородинський мало місце обвалення перекриття будівлі та 16 плит в арматурному цеху, що спиралися на нього. Крім перерахованих порівняно великих порушень в будівлях, відомо багато і більш дрібних порушень при сейсмічних впливах вибухів. У житлових районах міст необхідно враховувати і психологічний вплив коливань на населення, особливо в умовах часто повторюваних вибухів.

Діючі Єдині правила безпеки [44] при вибухових роботах не можуть враховувати

всієї різноманітності умов, що зустрічаються на практиці. Навіть при спеціально проведених дослідженнях з виявлення зміни параметрів коливань, що поширюються від місця вибуху в район житлових масивів, як показують їх результати, необхідне знання складу ґрунту в основах споруд. Так, виконане сейсмічне мікрорайонування ґрунтів в м. Коркіно показало, що будівлям, розташованим на ґрунтах, що відрізняються за своїми властивостями, передається різна кількість сейсмічної енергії. Таке ж явище спостерігалось на Бобровському заводі залізобетонних виробів, де фундаменти головного корпусу розташовані в ґрунтах з різними сейсмічними властивостями. Вивчення умов передачі сейсмічних коливань спорудам дозволило, наприклад, на Коркінському розрізі визначати сейсмобезпечну масу зарядів, що підриваються, з урахуванням відстані до більш віддалених від борту кар'єру будівель, але розташованих на ґрунтах з більшою здатністю передачі енергії сейсмо-вибухових хвиль [45].

Самостійне значення при виконанні вибухових робіт має забезпечення збереження укосів бортів кар'єрів і підземних виробок. Істотне значення тут мають частота коливань і розміри зони незворотних мікрODEФОРМАЦІЙ. Безсумнівно, що заряди ВР, які підриваються на укосах, здійснюють негативний вплив на стан внутрішнього тертя в зоні передбачуваної або розрахункової площини ковзання укосу. Тут, правда, суттєве значення мають глибина кар'єрів і особливості поширення поверхневих і об'ємних хвиль.

При експлуатації залізорудних родовищ має значення повторюваність вибухів, так як споруди та масиви гірських порід здатні зберігати результати впливу попередніх вибухів тією чи іншою мірою. Це, ймовірно, пов'язано з зародженням і накопиченням мікротріщин, які спочатку практично не розкриваються.

Викладене дозволяє зробити висновок, що для забезпечення безпечних умов ведення вибухових робіт на діючих підприємствах вибухи повинні виконуватися за науково обґрунтованою сейсмобезпечною технологією з урахуванням здатності ґрунтів передавати сейсмічні коливання спорудам, укосам масивів і підземним гірничим виробкам.

Проектування і будівництво нових підприємств, а також планування забудови прилеглих площ необхідно також виконувати з урахуванням оцінки ґрунтів у

сейсмічному відношенні і додаткових динамічних навантажень при дії сейсмічних хвиль.

### 1.1.2. Загальні уявлення про сейсмічні хвилі

При вибухових роботах спостерігається хвильова передача енергії від заряду, що підривається, в навколишній масив. Від дії ударної хвилі розширення продуктів вибуху поширюється поздовжня хвиля. Частинки ґрунту при цьому здійснюють рухи вздовж шляху поширення хвиль в прямому і зворотному напрямках, викликаючи послідовно стиснення і розтягнення. Тому поздовжні хвилі іноді називають хвилями стиснення - розтягнення.

Крім поздовжніх хвиль, в ґрунті поширюються хвилі, що викликають рух частинок середовища в напрямку, поперечному поширенню хвиль. Ці хвилі викликають в ґрунті деформацію зсуву, і тому їх називають хвилями зсуву, або поперечними. У поперечних хвилях рухомі частинки середовища описують еліпси в площині, дотичній до поверхні фронту хвилі. Відношення великий осі еліпса до малої і характер поляризації хвиль уздовж кожного з сейсмічних променів для однорідного середовища залишаються незмінними.

Швидкість поширення поздовжніх хвиль  $C_p$  в гірських породах змінюється від 300 м/с в слабких або тріщинуватих до 7000 м/с в міцних монолітних масивах. Швидкість поширення поперечних хвиль  $C_s$  залежить від жорсткості, в'язкості, порушеності порід і змінюється від  $0,2 C_p$  до  $0,7 C_p$ . Найбільш часто  $C_s = (0,45-0,6) C_p$ .

Якщо в масиві поширюється група хвиль різної довжини, що має місце під час вибуху, то з огляду на значне внутрішнє тертя в масиві, швидкості окремих хвиль розрізняються. Однак є область, де зміщення частинок тіла найбільші, - це ядро групи хвиль, яке поширюється з певною швидкістю, званою груповою.

При наявності границь розділу порід з різними пружними властивостями поблизу них можуть виникати хвилі другої категорії - поверхневі. Головні типи серед них: поверхнева хвиля Релея, вперше передбачена математично Релеєм і виявлена на сейсмограмах землетрусів в 1931 р.; хвиля Лява - поперечна поверхнева хвиля.

Хвиля Релея характеризується тим, що несе взаємопов'язані деформації об'єму та

зсуву. Коливання частинок поверхні ґрунту здійснюються в вертикальних площинах, паралельних напрямку поширення хвилі. Частинки рухаються уздовж еліптичних орбіт, велика вісь яких вертикальна і приблизно в 1,5 рази перевищує горизонтальну. Зміщення частинок відбувається як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямку. Швидкість хвилі Релея  $C_r$  зазвичай дорівнює  $0,92 C_s$ .

З віддаленням від поверхні землі вглиб середовища амплітуда коливань, пов'язаних з хвилею Релея, спочатку зростає до глибини  $0,2$  довжини поверхневої хвилі, потім зменшується, а при глибині, рівній  $1,5 - 2$  видимої довжини поверхневої хвилі, амплітуда коливань в  $10 - 20$  разів менше, ніж на поверхні, і при подальшому збільшенні глибини дуже швидко спадає.

Видимі періоди коливань поверхневої хвилі, як правило, значно більші видимих періодів об'ємних хвиль від того ж вибуху. Спектр коливань поверхневих хвиль зсунутий відносно спектру коливань об'ємних хвиль в бік низьких частот.

В реальних умовах майже завжди у верхній частині масиву існує шар зі зниженою швидкістю поширення хвиль. При цьому утворюється так звана псевдорелеївська хвиля, вельми схожа на хвилею Релея, що відрізняється від неї тим, що швидкість псевдорелеївської хвилі залежить від довжини хвилі, тобто спостерігається дисперсія швидкості. Якщо швидкість поширення хвиль у підстилаючому шарі  $C_{s2}$  більша, ніж швидкість поширення в верхньому шарі масиву  $C_s$ , то швидкість псевдорелеївської хвилі буде зростати зі збільшенням довжини хвилі - нормальна дисперсія. При  $C_s > C_{s2}$  спостерігається зворотна картина, і з ростом довжини хвилі швидкість спадає - аномальна дисперсія. Останнє в практиці виконання промислових вибухів спостерігається у виняткових випадках.

Хвиля Лява викликає коливання частинок поверхні землі в горизонтальній площині в напрямку, перпендикулярному до поширення хвилі. Відомі також спарена і гідродинамічна хвилі, які на сейсмограмах від промислових вибухів практично не виділяються.

Рядом дослідників виділяються на сейсмограмах інші типи хвиль. Так, А. Н. Ромашов виділяє три типи поверхневих хвиль, що мають домінуючі амплітуди й періоди: хвилю розрядження і два типи поперечних хвиль [46]. При цьому поперечним хвилям зсувного характеру притаманні загальні риси з хвилями Релея і

Лява. Це можна пояснити тим, що хвилі, що виникають під дією деформацій розтягу та зсуву, реєструються на відносно менших відстанях від вибуху, ніж хвилі при землетрусах, а сейсмоприймачі часто встановлюються на тій же скельній основі масиву, в якій виконаний вибух. Хвилі Релея, ймовірно, виникають на більшій відстані в слабших, покривних відкладеннях.

Досліджуючи окремі параметри хвиль, В. М. Мосинець [47] виділяє чотири можливих джерела коливань і називає типи хвиль за характером деформації в місці їх виникнення, відзначаючи, що основну небезпеку для споруд несуть поверхнева, поперечна та зсувна хвилі.

Однак основну небезпеку для будівель і споруд несуть поверхневі хвилі, а в якості їх джерела визнаються області руйнування гірських порід вибухом, які розташовані на різній відстані від заряду, що підривається [38-45].

При вибухах поблизу земної поверхні в повітрі виникають і поширюються сильні звукові хвилі, швидкість поширення яких близько 340 м/с. Ці звукові хвилі, впливаючи на поверхню ґрунту, можуть порушувати вторинні інтенсивні поверхневі хвилі.

На сейсмограмах записів коливань, зафіксованих на деякому віддаленні від вибуху, можна умовно виділити дві частини:

Перша частина - початок сейсмограми - характеризується порівняно високими частотами і невеликими амплітудами. Зазвичай до цієї частини сейсмограми приурочені високочастотні складові поздовжніх і поперечних хвиль, які інтенсивно затухають з відстанню. Друга частина сейсмограми характеризується більш низькими частотами і пов'язана з поверхневими хвилями.

Траєкторії окремих частинок мають досить складну форму. На рис. 1.1 приведена траєкторія руху частинок ґрунту при миттєвому вибухові заряду, на якій позначені поштовхи в окремі моменти часу (с) від початку коливань [45].

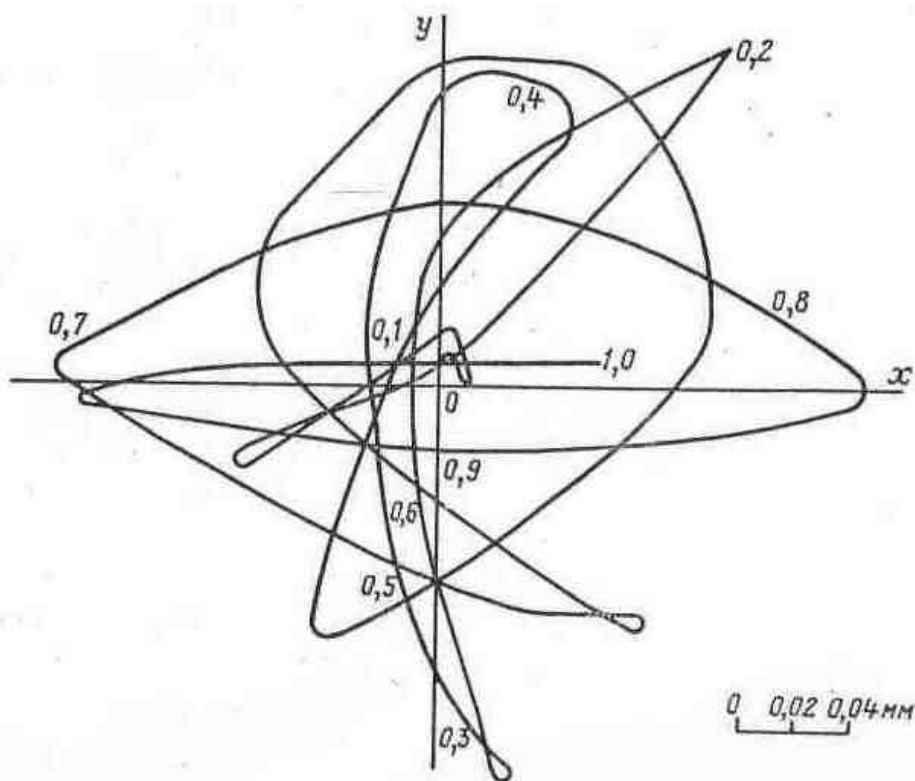


Рис. 1.1 - Траєкторія руху ґрунту в горизонтальній площині під час вибуху в альбітофірах заряду масою 4400 кг на відстані 560 м.

Траєкторія побудована не по всій довжині запису коливань, оскільки кінець запису часто ускладнений слабо затухаючими амплітудами, характерними для конкретних ґрунтів, що ускладнило би загальну картину руху ґрунту. Однак позначки часу на траєкторії коливання частинок свідчать про більш пізні приходи максимальних амплітуд особливо поперечних, поверхневих хвиль. Тривалість коливання значною мірою залежить від умов виконання вибуху, властивостей ґрунтів в пункті спостереження і тривалості вибуху при короткоуповільненому підриванні, яка коливається від 1-2 до 12-15 с.

Одним з основних питань інженерної сейсмології при прогнозуванні сейсмічної дії вибуху є кількісна оцінка величин зсувів, швидкостей і прискорень коливань частинок ґрунту. У загальному випадку зміщення в місці виміру залежить від характеру джерела, від пружних характеристик середовища, відстані до джерела, а також від часу. Швидкість згасання пружних хвиль залежить від властивостей середовища. При проходженні сейсмічних хвиль через непов'язані матеріали спостерігається більш інтенсивне їх згасання, ніж в скельних породах. Завдяки цьому енергія пружних хвиль в скельних породах передається на більші відстані, ніж у незв'язаних матеріалах.

Викладені короткі відомості про основні типи хвиль і особливості їх поширення свідчать про складну хвильову картину, що спостерігається при реєстрації хвиль від вибухів, що підтверджує складність прогнозу коливань в складних гірничо-геологічних умовах Кривого Рогу.

Промислові вибухи, що виконуються на земній поверхні з метою дроблення або відкидання підірваної породи, створюють специфічні умови формування окремих хвиль. Складність умов формування хвиль, а отже, прогноз параметрів коливань поглиблюються всім тим різноманіттям інженерних прийомів, які використовуються для управління енергією вибуху з технологічних міркувань.

### 1.1.3. Сейсмічний осередок вибуху

Для досліджень береться заглиблений зосереджений заряд, що спрощує вивчення механізму розвитку вибуху, аналогічного промислового вибуху (рис. 1.2, а). Основні фізичні явища, що відбуваються на першій стадії розвитку вибуху в гірській породі, - це інтенсивне дроблення матеріалу, безпосередньо прилеглого до заряду ВР, пластична течія гірської породи і виникнення радіальних тріщин. Дія вибуху в гірському масиві характеризується нестационарним поширенням поля напружень і зміною механічних констант середовища, швидкоплинністю загального процесу і появою в середовищі порушень, а також розвитком існуючих і виникненням нових мікротріщин.

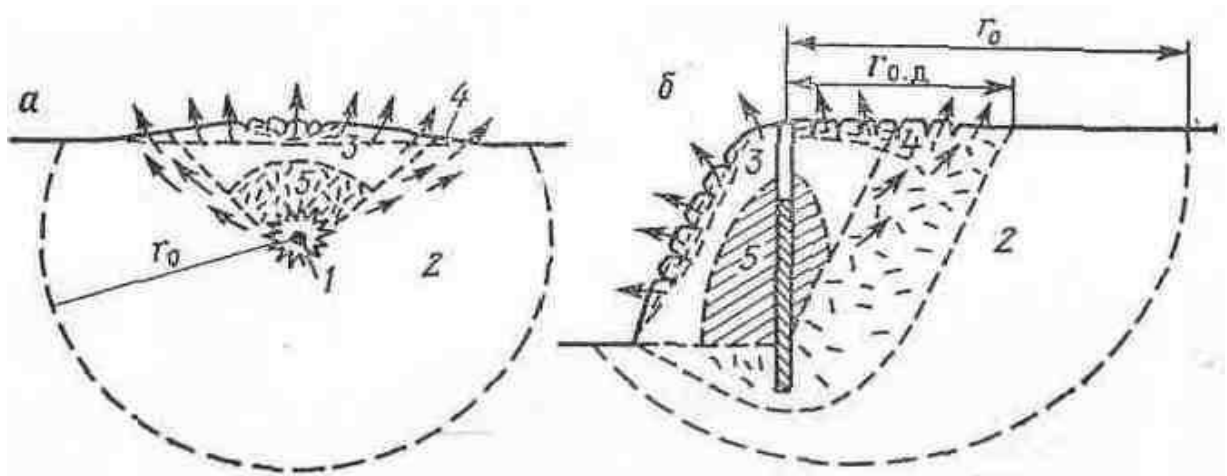


Рис. 1.2 - Схема дії вибуху зосередженого заряду (а) і заряду в свердловині на уступі кар'єру (б).

У момент детонації заряду ВР на фронті детонаційної хвилі розвивається тиск до  $10^5$  кгс/см<sup>2</sup> при температурі порядку 3000° С. У прилеглому до заряду масиві в момент виходу детонаційної хвилі спостерігається сильне зминання ґрунту, де зчеплення, а можливо, і внутрішнє тертя не мають великого значення.

Цю зону у вибуховій практиці називають зоною зминання, від якої розвиваються радіальні тріщини. Вона невелика за своїми розмірами - до трьох-семи радіусів заряду, проте в ній відбувається сильне поглинання енергії і надалі з віддаленням від заряду навантаження на фронті хвилі, що розповсюджується, падають, а швидкість поширення фронту знижується.

На цій стадії утворення порожнини 1 (див. рис. 1.2, а, б) джерелом сейсмічних коливань є підірваний заряд, що передає масиву поздовжню хвилю стиску-розтягу. На цій стадії підірваний заряд діє на навколишній масив так само, як при камуфлетному вибухові. Розміри джерела в цьому випадку визначаються радіусом утвореної вибухом порожнини і розмірами радіальних тріщин, що виникли при першому зрушенні порід. Оскільки процес цей відносно швидкоплинний, то в масив випромінюються високочастотні хвилі стиснення-розтягування. При певних умовах, досягаючи земної поверхні, вони можуть генерувати хвилі інших типів.

На деякій відстані від заряду напруги на фронті ударної хвилі знижуються, а фронт її дещо виположується, формуючи хвилю напружень, яка за зоною зминання через різницю в швидкостях поширення отримує ускладнену форму фронту: попереду поширюється звукова хвиля, що переходить з деяким відставанням в просторі і часі в пластичну складову. Ця пружнопластична хвиля напружень вже на відносно великій відстані від заряду створює в масиві зону пружно-напруженого стану 2 і передумови для розкриття існуючих тут тріщин і природних послаблень масиву, а також створення нових мікротріщин. Триває групування мікротріщин в зонах розвитку радіальних тріщин, швидкість проростання яких залежить від якостей породи і величини накопиченої масивом пружної енергії, яка частково витрачається на підживлення пластичних деформацій в вершинах мікротріщин, а в подальшому сприяє їх злиттю і насамкінець - розвитку радіальних тріщин в бік відкритої поверхні між зарядами. Накопичена масивом в цій зоні



енергія переходить в енергію утворення нових поверхонь, тріщин і кінетичну енергію, яка може бути знижена при використанні тих чи інших інженерних прийомів з управління енергією вибуху. У загальному випадку сейсмічна енергія, величина амплітуд і період коливань можуть бути зменшені за умови скорочення часу формування куполоподібного підняття породи і зменшення об'ємної щільності пружної енергії в межах сейсмічного осередка вибуху.

Вивчення вибухового руйнування і механізму розвитку тріщин свідчить, що найбільш небезпечні сейсмічні хвилі, з максимальними амплітудами і періодами коливань, поширюються від вибуху через порівняно великий проміжок часу після вибухового перетворення заряду ВР.

#### **1.1.4. Оцінка сейсмічної небезпечності вибухів в балах**

Небезпечність землетрусів прийнято оцінювати в балах сейсмічної шкали. Розподіл землетрусів за балами заснований на різних критеріях: величині зміщення ґрунту, швидкості коливань ґрунту, енергії сейсмічних хвиль. Більшість використовуваних шкал, бали в яких оцінюються за різними критеріями, виходять з рівних результатів їх впливу на будівлі, ґрунти, людей і тварин.

В Україні для оцінки небезпечності землетрусів використовується єдина міжнародна шкала сейсмічної інтенсивності MSK—1964, в основу якої покладена шкала, розроблена в Інституті фізики Землі АН СРСР.

Для оцінки наслідків землетрусів при вибухах С. В. Медведєвим запропонована шкала сейсмічної інтенсивності, що враховує меншу тривалість сейсмічних коливань і повторюваність порівнянних між собою за величиною хвиль, а також високу частоту коливань при вибухах в порівнянні з землетрусами [48].

Результуючий вплив землетрусів на споруди залежить від динамічних властивостей споруд або характеристик власних коливань споруд під дією змушуючої зовнішньої сили. Шкала сейсмічної інтенсивності побудована відповідно до характеру передачі коливань приладу СБМ, що має період власних коливань маятника 0,25 с і логарифмічний декремент загасання 0,5, відповідні

будівлям висотою до п'яти поверхів. Шкала сейсмічної інтенсивності затверджена для найбільш небезпечних коливань інтенсивністю понад V балів.

У таблиці 1.1 величини коливання для менших балів наведені за аналогією зі структурою шкали MSK — 1964.

Описова шкала належить у першій своїй частині до явищ, які спостерігаються при вибухах. Прояви і сейсмічна дія природних землетрусів умовно названі тектонічними землетрусами.

Коливання ґрунту при вибухах у VII балів викликають порушення в будівлях, що знаходяться в задовільному стані та не мають будь-яких відхилень від будівельних норм.

В умовах гірської та будівельної практики вибухи здійснюються найчастіше щодня, іноді і не один раз на день. Всім спорудам тією чи іншою мірою властива здатність накопичувати попередні деформації, що виражається властивістю втоми матеріалів.

Не можна визнати допустимими коливання інтенсивністю V балів, так як в житлових і адміністративних будівлях систематично спостерігається осипання побілки, накопичуються пошкодження штукатурки (див. таблицю 2.1). При цьому можливі пошкодження окремих ветхих будівель, що знаходяться в експлуатації. Насамперед до пошкоджень схильні будівлі та споруди, збудовані з відхиленнями від діючих норм, правил і проектів. Будинки зі збільшеною, в порівнянні з нормативною, товщиною штукатурки стелі або неякісним зварюванням стиків, при застосуванні збірних залізобетонних конструкцій, незалежно від часу їх побудови, можна свідомо віднести до розряду ветхих або таких, що мають порушення.

Таблиця 1.1.

### Шкала сейсмічної інтенсивності [52].

| Бали | Коливання і викликані ними порушення   | Допустима швидкість коливань, м/с·10 <sup>2</sup> |             |
|------|--|---|-------------|
|      |  | при землетрусах                                   | при вибухах |
| I    | Коливання відмічаються лише приладами  | 0,125   | 0,2         |
| II   | Коливання відчуються окремими людьми, що знаходяться в спокої, при тиші, особливо на верхніх поверхах  | 0,125—0,25  | 0,2—0,4     |
| III  | Коливання відчуються деякими людьми або тими, хто знає про вибух. При землетрусах спостерігачі зауважують легке розгойдування підвішених предметів | 0,25—0,5  | 0,4—0,8     |
| IV   | Коливання відзначаються багатьма людьми, деренчання шибок, посуду  | 0,5-1,0   | 0,8—1,5     |

|      |  |          |             |
|------|--|----------|-------------|
| V    | Осипання побілки, пошкодження штукатурки і окремих ветхих будівель. Землетрус відчувається усіма людьми всередині приміщень  | 1,0-2,0  | 1,5—3,0     |
| VI   | Тонкі тріщини в штукатурці, пошкодження будівель, що мали деформацію. При тектонічних землетрусах багато людей, що знаходяться в будівлях, лякаються, вибігають на вулицю, домашні тварини вибігають з укриттів. Можливі пошкодження елементів будівель  | 2,1-4,0  | 3,0—6,0     |
| VII  | Пошкодження будівель, що знаходилися в задовільному стані; тріщини в штукатурці; падіння шматків штукатурки; тонкі тріщини в зчленуваннях стінок і перекриттів; тріщини в печах, трубах. При тектонічних землетрусах в багатьох будівлях фіксуються ушкодження різного ступеня                     | 4,1-8,0  | 6,0-12,0    |
| VIII | При вибухах значні пошкодження будівель, тріщини в несучих конструкціях і стінах, великі тріщини в перегородках, падіння пічних труб, обвали штукатурки. При тектонічних землетрусах значні пошкодження в усіх типах будівель, тріщини в ґрунтах і невеликі зсуви на схилах виїмок і насипів доріг | 8,0—16,0 | 12,0 - 24,0 |

У житлових масивах міст необхідно враховувати також психологічний вплив на населення систематично повторюваних вибухів: відчуття коливань, деренчання шибок, дзвін посуду. Такі явища спостерігаються вже при коливаннях в IV бали, тобто при швидкості коливань до 0.008 м/с. В районі житлових масивів можуть перебувати лікарні, дитячі установи, тому психологічний вплив сейсмічних коливань від промислових вибухів потрібно враховувати.

Викладене свідчить, що в конкретних умовах Кривого Рогу, в залежності від завдань щодо запобігання тієї чи іншої дії вибуху, необхідно керуватися різним рівнем допустимої швидкості коливань і, відповідно, балом сейсмічної інтенсивності.

## **1.2. Аналіз нормативних документів України, європейських країн і міжнародних стандартів щодо допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі та споруди**

В діючих нормативних документах України та європейських країн наводяться допустимі рівні вібрації (віброприскорення або віброшвидкості) будівель (промислового, житлового та культурного призначення) та споруд при динамічному впливі від стаціонарних машин, будівельного або іншого віброактивного обладнання, транспорту і поштовхів від промислової сейсміки. Стандарти європейських, американських та інших країн, а також норми і стандарти України містять вимоги до допустимих параметрів вібрації будівельних конструкцій, які відповідають визначеним типам конструктивних систем і широко розповсюдженим типам будівель. Реакція будівлі або споруди та її несучих елементів при впливі динамічних навантажень залежить від власних частот і демпфіруючих властивостей конструкцій, а також від спектрального складу кінематичного або силового збудження. Для оцінки впливу на будівлі вібрації в різних країнах розроблені різні класифікації будинків. В основі такої класифікації лежить значення власної частоти коливань будівлі за основним тоном, яка являється однією з основних характеристик. Власну частоту коливань будівлі визначають розрахунком або експериментальним шляхом за допомогою спектрального аналізу коливань при мікросейсмічних коливаннях конструкцій. Експериментальні дослідження, проведені в багатьох країнах, підтверджують, що діапазон частот коливань несучих конструкцій будівель знаходиться в межах від 1 до 100 Гц.

Проект міжнародного стандарту ІСО/ПМС 4866 [63] розглядає дві групи будівель, в кожній з яких береться до уваги вік будівлі. У межах кожної групи будівлі і споруди поділяються на категорії залежно від поверховості, типу і стану конструкцій, виду матеріалу.

Група 1. Будівлі старої і традиційної побудови.

Будинки цієї групи рідко бувають вище 7 поверхів. Як правило, вони мають важку конструкцію та дуже високий коефіцієнт демпфірування.

Група 2. Сучасні будівлі і споруди, зведені із застосуванням сучасних (нових) матеріалів і технологій. До цієї групи належать будівлі, які мають відносно невелику

масу і малий коефіцієнт демпфірування. Сюди включені будівлі каркасної конструктивної схеми, а також будівлі з несучими стінами. Будинки цієї групи можуть бути як одно-, так і багатоповерховими. Класифікація будівель за вищезгаданими групами приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. - Класифікація будівель за категоріями і групами

| Категорія будівлі | Будівлі  |   |
|-------------------|--|---|
|                   | група 1  | група 2   |
| 1                 | 2  | 3   |
| 1                 | Важкі промислові багатоповерхові будівлі від 5 до 7 поверхів, в тому числі сейсмостійкі  | Дво- і триповерхові промислові будівлі з важким залізобетонним або сталевим каркасом, з зовнішніми і внутрішніми стінами з панелей і блоків, з цегляної кладки, зі збірних елементів, зі збірними сталевими або монолітними бетонними перекриттями. Збірні важкі промислові будівлі з залізобетонними або сталевими каркасами |
| 2                 | Важкі громадські будівлі, в тому числі сейсмостійкі  | П'яти-, дев'яти- (і більше) поверхові багатоквартирні житлові будинки, адміністративні, лікарняні, промислові будівлі з легким залізобетонним або сталевим каркасами, з внутрішніми стінами з блоків, цегляної кладки, збірних панелей, не сейсмостійкі   |
| 3                 | Одно- і двоповерхові житлові будинки і будівлі з дерев'яним каркасом, з внутрішніми і (або) зовнішніми стінами, зокрема типу "зруб", сейсмостійкі  | Одноповерхові помірно легкі промислові будівлі бескаркасного типу зі сталевими, алюмінієвими або дерев'яними перегородками в якості ребер жорсткості, будівлі з залізобетонним каркасом, з легкими зовнішніми і внутрішніми стінами, в тому числі сейсмостійкі  |
| 4                 | Досить важкі багатоповерхові будівлі від 5 до 7 поверхів, які використовуються в якості складів середніх розмірів або для житлових приміщень   | Двоповерхові будівлі для господарсько-побутових і подібних цілей, виконані з бетонних блоків, цегли або збірних елементів, з залізобетонними перекриттями, а також повністю залізобетонні, сейсмостійкі   |
| 5                 | Чотирьох-шестиповерхові житлові будинки та подібні будівлі міського типу, блокової або цегляної побудови з важкими несучими стінами, в тому числі будівлі типу маєтків і невеликих палаців   | Чотирьох-десятиповерхові будівлі господарсько-побутового та подібного призначення, зазвичай з легкими несучими стінами з блоків або цегли, з внутрішніми стінами, виконаними в основному з тих же матеріалів, а також із залізобетону, зі збірними або монолітними перекриттями, розташованими щонайменше через поверх        |
| 6                 | Двоповерхові житлові будинки з блоків, цегли, а також глинобитні з дерев'яними перекриттями. Вежі з каменю або цегли, в тому числі сейсмостійкі  | Двоповерхові господарсько-побутові та подібні будівлі, в тому числі зі стінами з блоків, цегли або збірних елементів; з дерев'яними збірними або цільними перекриттями і дахами   |
| 7                 | Дуже високі церкви, зали і подібні споруди з каменю, цегли; арочного типу зі склепіннями і без, в тому числі невеликі аркові церкви і подібні споруди. Низькі важкі церкви без внутрішніх стін, а також будівлі типу сховищ, в тому числі стайні, гаражі, низькі промислові будівлі, ратуші, замки, мечеті і подібні будівлі з досить важкими дерев'яними підлогами і дахами | Одно- і двоповерхові житлові будинки та подібні будівлі легкої побудови, з легких матеріалів, збірні або цільні, а також комбінованого типу   |
| 8                 | Будинки в руїнах і всі будівлі в критичному стані. Всі будівлі категорії 7, що мають історичну цінність  |   |

Деякі інші національні стандарти, наприклад ЧСН 730032 [64], поділяють споруди за ознакою стійкості до вібрації всього на три класи (див. таблицю 1.3.).

Таблиця 1.3.

## Класифікація споруд за стійкістю до вібрації

| Клас стійкості споруди | Деякі характерні ознаки споруд  |
|------------------------|---|
| А                      | Будинки з видимими ушкодженнями, з тріщинами в штукатурці, споруди з необробленого каменю, пустотілих блоків з в'язким матеріалом низької несучої здатності |
| В                      | Звичайні будівлі цегляної кладки, споруди з блоків, з обробленого каменю, фахверки. Будівлі в хорошому стані, без пошкоджень                                |
| С                      | Жорсткі споруди в хорошому стані (наприклад, якісно виконані залізобетонні рами, металоконструкції, відмінно виготовлені дерев'яні конструкції і т.д.)      |

У якості кінематичних параметрів, що характеризують інтенсивність вібрації, приймаються максимальні зміщення, віброприскорення та віброшвидкість.

При оцінці динамічних впливів на будівлі, в тому числі і під час вибухів, використовується експериментально визначене максимальне спектральне прискорення або максимальна спектральна швидкість в якості показника пошкодження.

Стандарт ЧСН 730032-76 [64] оцінює динамічні впливи на будівлі і споруди за величинами швидкостей і прискорень. У таблиці 1.4 наведені граничні значення швидкостей і прискорень коливань споруд, класи яких вказані в таблиці 1.3.

Стандарт PN-64/B-02170 [65] при оцінці ступеня шкідливого впливу вібрації на споруди використовує перевірку умов міцності; перевірку умов виникнення перших ушкоджень; перевірку шкідливого динамічного впливу на споруду при використанні шкал динамічних впливів.

У польському стандарті PN-64/B-02170 наводяться як орієнтовні шкали динамічних впливів на житлові та промислові будівлі (шкала Целлера, шкала коефіцієнтів потужності вібрації), так і детально розроблені шкали динамічних впливів SWD.

Таблиця 1.4

## Допустимі параметри коливань конструкцій в залежності від класу стійкості споруди

| Клас стійкості споруди | Параметри коливань, викликаних імпульсними впливами, для діапазону частот, Гц |      | Параметри усталених періодичних коливань для діапазону частот, Гц |      |
|------------------------|---|------|---|------|
|                        |   | 1-10 | 10-100  | 1-10 |

|   | прискорення, | швидкість, мм/с | прискорення, | швидкість, мм/с |
|---|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| A | 125          | 2               | 63           | 1               |
| B | 250          | 4               | 150          | 2,5             |
| C | 630          | 10              | 380          | 6               |

За шкалою Целлера оцінку динамічного впливу на будівлю проводять в залежності від значень коефіцієнта вібрації  $\chi$ , що визначається за формулою:

$$\chi = \frac{W_{\max}^2}{n} \quad (\text{см}^2/\text{с}^3) \quad (1.1)$$

де  $W_{\max}$  – максимальне прискорення;

$n$  - частота коливань, що відповідає цьому прискоренню, Гц.

Шкала Целлера містить 12 ступенів, перші 8 з яких наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Ступені динамічного впливу на будівлю згідно зі шкалою Целлера

| Ступінь | Характеристика коливань і небезпеки для конструкцій  | Величина коефіцієнта вібрації $\chi$ , $\text{см}^2/\text{с}^3$ |
|---------|--|---|
| 1       | Невідчутні   | 1-2   |
| 2       | Дуже слабкі  | 2-10  |
| 3       | Слабкі - можуть утворитися перші тріщини на штукатурці   | 10-50   |
| 4       | Середні - утворюються тріщини на штукатурці, можуть утворитися тріщини в кладці                                | 50-250  |
| 5       | Досить сильні - утворюються тріщини в стінах, обсипається штукатурка   | 250-1000  |
| 6       | Сильні - розтріскуються стіни і залізобетонні конструкції, можуть руйнуватися карнизи                          | 1000-5000   |
| 7       | Дуже сильні - загрожують спорудам, можуть руйнуватися балки, перемички і т.д.                                  | 5000-20000  |
| 8       | Незвичайно сильні - безпосередня загроза стійкості споруд та конструктивних елементів при безперервному впливі | 20000-100000  |

Таблиця 1.6 включена в PN-64/B-02170 [65], класифікує динамічні впливи на будівлі і споруди за шестиступінчастою шкалою в залежності від коефіцієнта потужності вібрації  $S$ , що визначається за формулою:

$$S = 10 \lg \frac{\chi}{\chi_0} = 10 \lg(10\chi) \quad (1.2)$$

де  $\chi_0 = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}^3$  - еталонний коефіцієнт вібрації;  $\chi$  - коефіцієнт вібрації (за Целлером).

Таблиця 1.6

Значення коефіцієнтів потужності вібрацій за шестиступінчастою шкалою.

| Ступінь | Результат впливу   | Величина коефіцієнта потужності вібрації $S$ |
|---------|--|--|
| 1       | Вібрація, яка не відчувається спорудою   | 10   |
| 2       | Слабка вібрація без пошкодження споруд   | 10-20  |
| 3       | Середня вібрація без принципових пошкоджень споруди, перші тріщини   | 20-30  |
| 4       | Досить сильна вібрація - утворюються пошкодження споруди, тріщини в стінах, осипання штукатурки              | 30-40  |
| 5       | Сильна вібрація, значні пошкодження споруди, тріщини в несучих стінах, перекриттях, загроза стійкості споруд | 40-50  |
| 6       | Дуже сильна вібрація, обвалення, можливість повного руйнування деяких споруд                                 | 50-60  |

Наведені шкали Целлера і коефіцієнти потужності вібрації характеризують ступінь пошкодження в залежності від коефіцієнтів, пов'язаних з максимальним прискоренням і виміряною частотою вібрації. Недоліком даних оціночних шкал є та обставина, що не враховуються вид та матеріал конструкцій, метод і місце вимірювання параметрів, джерело і характер вібрації. Невизначеність вихідних даних, а також відсутність теоретичних основ при створенні цих шкал посилюють труднощі, що виникають при динамічному розрахунку споруд, пов'язаному з прогнозом поведінки будівельних конструкцій при динамічних впливах. На підставі теоретичних робіт польських дослідників були складені розрахункові таблиці, які отримали найменування SWD і увійшли в стандарт Польщі PN-64/B-02170 [65].

Шкали swd розроблені для споруд зі звичайної, пустотілої та фасонної керамічної цегли, звичайного та легкого бетону і великих блоків.

Шкала SWD-I призначена для одно- або двоповерхових будівель малих розмірів (до 15 м в горизонтальній проекції) і для триповерхових будівель, що задовольняють умові:  $h : b \leq 1$ , де  $h$  і  $b$  - висота і ширина будівлі.

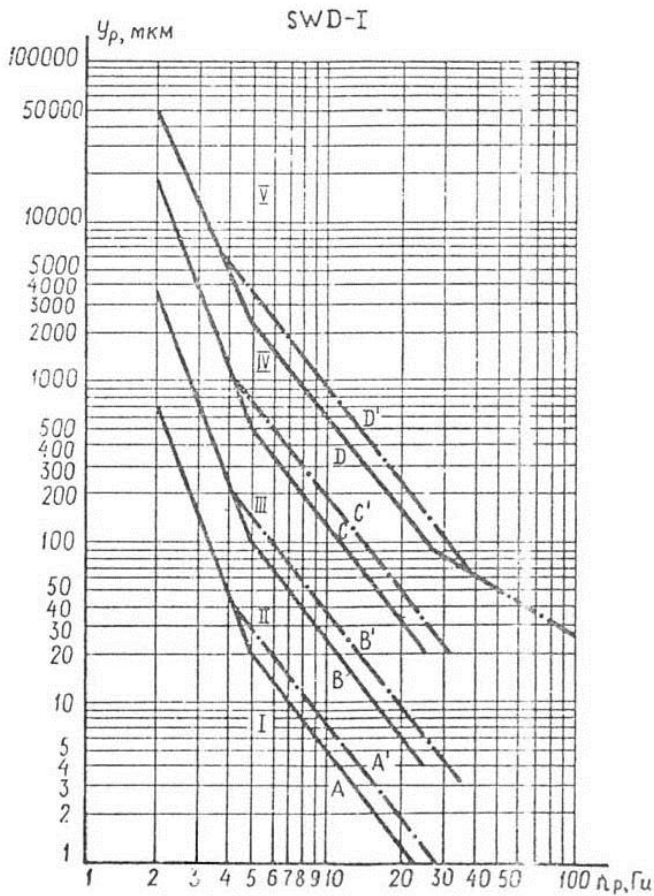
Шкала SWD-II призначена для низьких будівель, що мають складну форму в плані, і споруд середньої висоти компактної форми, які відповідають умові:  $h : b_{\min} \leq 1$ , де  $b_{\min}$  - найменший розмір в плані.

На рис. 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 наводяться шкали SWD, які мають п'ять зон (I, II, III,



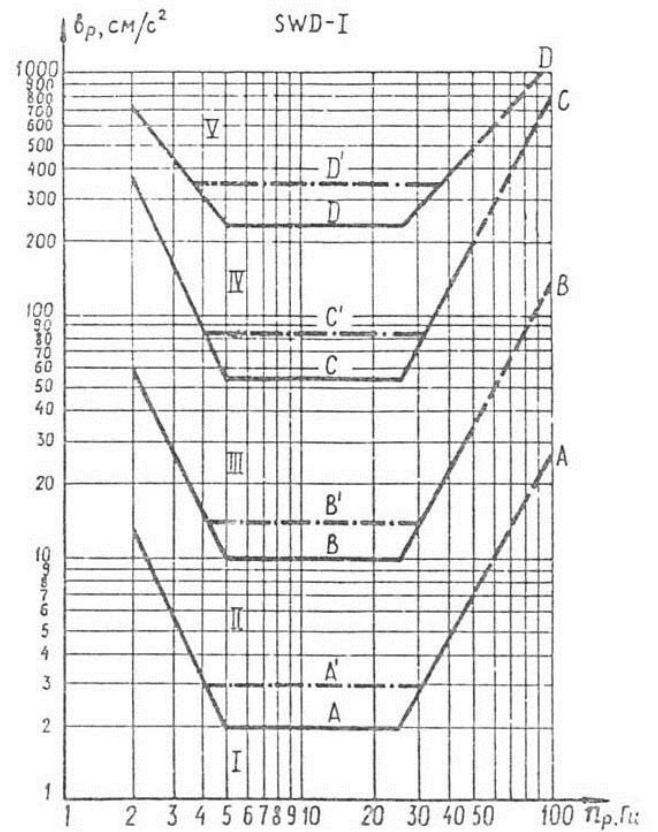
IV, V), розділених чотирма лініями A, B, C, D, нанесеними в логарифмічному масштабі в системах:

$Y_p = Y_{pmax}$  і  $n_p$  (максимальне переміщення нижнього поверху - частота коливань);  $b_p = b_{pmax}$  і  $n_p$  (максимальне прискорення нижнього поверху - частота).



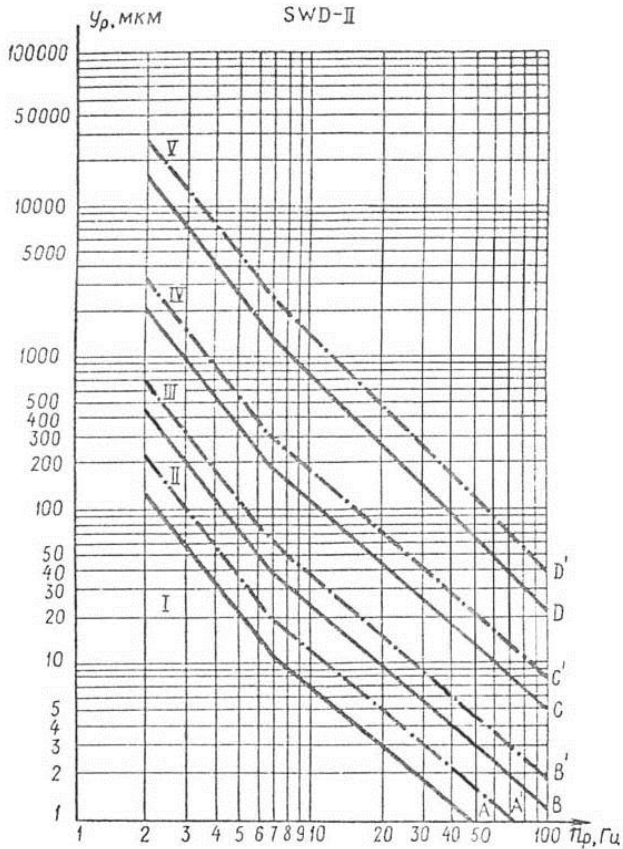
— споруди типу а  
 - . - споруди типу б

Рис. 1.3 – Оцінка максимального горизонтального переміщення нижнього поверху будівлі за шкалою SWD-I [65]



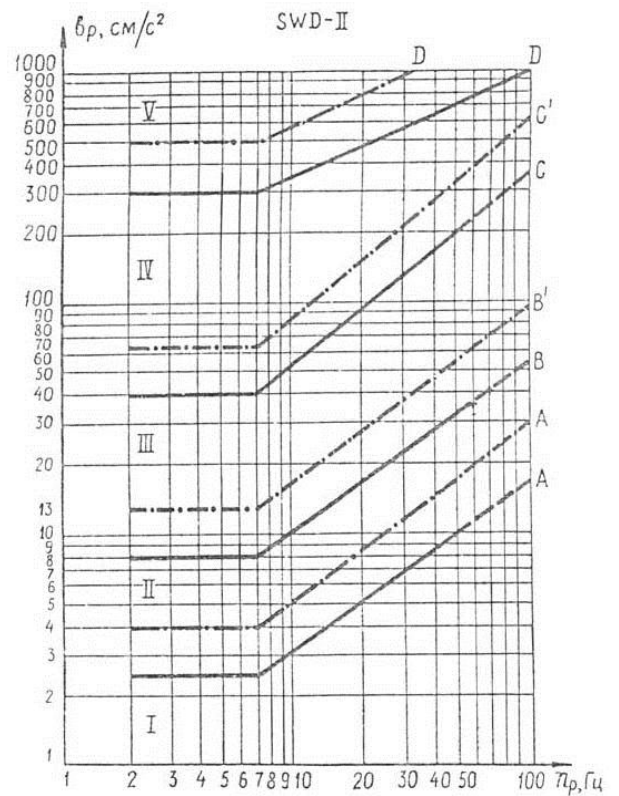
— споруди типу а  
 - . - споруди типу б

Рис. 1.4 – Оцінка максимального прискорення нижнього поверху будівлі за шкалою SWD-I [65]



— споруди типу а  
 - . - споруди типу б

Рис. 1.5 – Оцінка за шкалою SWD-II максимального переміщення нижнього поверху будівлі в горизонтальному напрямку [65]



— споруди типу а  
 - . - споруди типу б

Рис. 1.6 – Оцінка за шкалою SWD-II максимального прискорення будівлі [65]

Зони визначені при впливі на звичайні будівлі відповідних коливань з урахуванням демпфірування, що характеризується логарифмічним декрементом коливань, рівним  $\delta=0,31$ .

Характеристики зон на рис. 1.3-1.6 наведені в таблиці 1.7.

На двох шкалах SWD-I і SWD-II границі зон позначені двома лініями: суцільною - для споруд типу "а" і штрих-пунктирною - для споруд типу "в". Розподіл на чотири групи здійснюється в залежності від стану споруди, типу основи, від матеріалів і типу конструкції, а також від виду коливань. Віднесення до належної групи проводиться залежно від переважаючого числа відповідних властивостей, перерахованих в таблиці 1.8 [65].

Таблиця 1.7

## Характеристики зон і границь, які використовуються в шкалах SWD-I і SWD-II

| Зона на графіку | Опис зон і границь  |
|-----------------|---|
| I               | Коливання, які не впливають на конструкцію.<br><u>Границя А</u> - нижня границя чутливості споруд до вібрації і нижня межа врахування динамічних впливів. Вібрація, більш слабка, ніж "А", не становить реальної небезпеки для будівель, і тому немає необхідності її аналізувати.  |
| II              | Коливання, що відчуються спорудою, але є безпечними: відбувається лише прискорення зносу будівлі, і з'являються перші тріщини в штукатурці.<br><u>Границя В</u> - границя жорсткості споруди, нижня границя утворення тріщин в конструктивних елементах. Вібрація слабша, ніж В, не завдає шкоди спорудам.  |
| III             | Коливання, що шкодять конструкціям, викликають тріщини і місцеві пошкодження, внаслідок чого знижується несуча здатність і стійкість споруди до наступних динамічних впливів; може статися осипання штукатурки, проте не існує небезпеки негайного руйнування.<br><u>Границя С</u> - границя міцності окремих елементів споруди. Вище границі С є небезпека пошкодження споруди.                                |
| IV              | Коливання, що завдають значної шкоди спорудам і становлять загрозу безпеці їх мешканців; утворюються численні тріщини, місцеві руйнування стін і інших окремих елементів споруди; можливі обвалення штукатурки стель на великій площі, сповзання балок перекриттів з опор тощо.<br><u>Границя D</u> - границя стійкості споруди. Перевищення її може привести до руйнування будівлі і загрожувати життю людини. |
| V               | Коливання, що викликають аварію споруди, при якій обвалюються стіни, падають перекриття тощо; виникає реальна загроза життю людей; в разі підозри щодо виникнення вібрації цього типу споруда не може експлуатуватися.  |

Таблиця 1.8.

## Властивості груп (типів) споруд, що використовуються в шкалах SWD-I і SWD-II

| Група споруд                      | Тип споруд | Опис властивостей споруди   |
|-----------------------------------|------------|---|
| За станом споруди                 | a          | Старі будівлі з ушкодженнями (наприклад, з тріщинами), споруди, що перебудовуються чи посилюються   |
|                                   | b          | Неушкоджені споруди без переробок конструкцій   |
| За матеріалом і типом конструкції | a          | Цегляні або кам'яні споруди без підвищених вимог до якості виконання; конструкції з порожнистої цегли або шлакобетону; перекриття, які не є жорсткими в своїй площині (відсутність анкерних кріплень); склепінні перекриття; стіни, що мають багато отворів при їх розташуванні поблизу кутів |
|                                   | b          | Стіни з суцільної цегли, виконані ретельно, з правильною перев'язкою на вапняному або вапняно-цементному розчині; залізобетонні або бетонні фундаменти; масивні перекриття, що мають жорсткий зв'язок зі стінами  |
| За типом ґрунту і фундаментам     | a          | Ґрунт з великим модулем податливості; розташування елементів фундаменту на різних висотах; влаштування фундаментів у вигляді паль, колодязів  |
|                                   | b          | Твердий ґрунт; використання жорстких фундаментних плит  |
| За характером коливань            | a          | Усталені коливання, що тривають протягом довгого часу (понад 10 год), випадкові коливання, кілька одночасних джерел вібрації  |
|                                   | b          | Коливання, що відбуваються періодично, безперервні коливання, але з великими інтервалами між серіями коливань   |

При використанні шкал SWD необхідно провести вимірювання параметрів вібрації на рівні першого поверху обстежуваної будівлі, тобто визначити максимальні амплітуди горизонтальних коливань уртах і прискорення  $\nu$ ртах з відповідними частотами. Параметри коливань вносяться в одну з таблиць SWD-I або SWD-II. Положення отриманої точки визначає ступінь небезпеки і можливого пошкодження будівлі від динамічного впливу (рух транспорту, дія машин і механізмів, забивання паль, вибух і т.д.). Ряд літературних джерел свідчить про хорошу узгодженість результатів вимірювань і нормативів відповідних шкал, що дозволяє робити прогноз про можливі наслідки ударів і вібрації, що впливають на споруди.

До недоліків цих таблиць можна віднести деяку обмеженість класу споруд, на які поширюється дія шкал. Ці шкали стосуються лише малоповерхових будівель - від одного до трьох поверхів. Така поверховість властива старим будівлям.

Інші нормативно-технічні документи регламентують допустимі рівні вібрації широкого класу споруд. Так, на рис. 1.7 приведена ще одна схема нормованих рівнів вібрації конструкцій для частотного діапазону від 0 до 50 Гц, отримана фахівцями США на основі аналізу літературних джерел [66]. На рис. 1.7 кривою 1 позначений рівень вібрації, перевищення якого веде до аварій конструкцій. Нижче кривої 2 рівень вібрації характеризується як "безпечний для конструкцій". Зона між кривими 1 і 2 відповідає рівню вібрації, яка загрожує конструкціям. Зони 3 та 4 є рекомендованими.

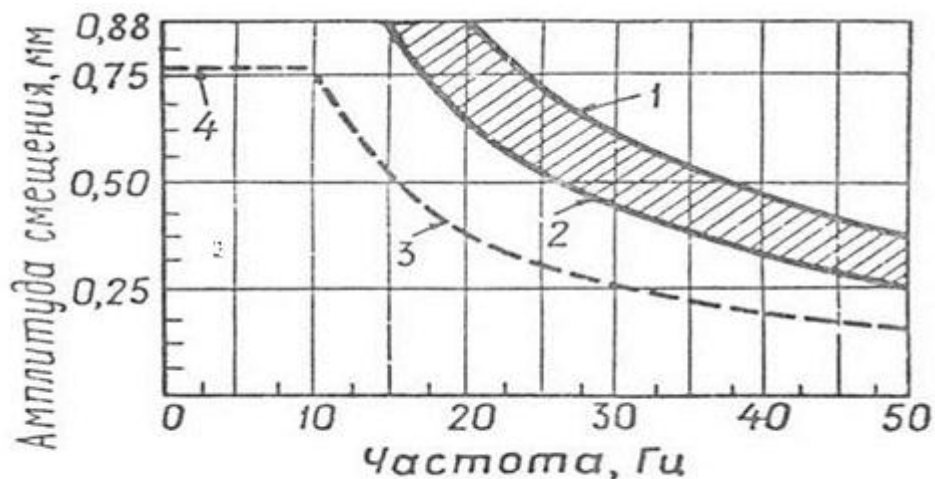


Рис. 1.7 – Нормовані рівні вібрації конструкцій для частотного діапазону 0-50 Гц [66]

В Японії, схильній до частих землетрусів, рекомендації (табл. 1.9) дають

значення допустимої віброшвидкості «при фіксовані частоті коливань 2 Гц».

Таблиця 1.9

## Рекомендовані значення допустимої віброшвидкості в Японії

| Характеристика коливань за шкалою ІМА                   | Допустима швидкість, мм/с, при частоті 2 Гц |
|---|---|
| Колівання не відчуються                                 | 1,31  |
| Відчуються  | 4,18  |
| Розтріскування будинків і споруд                        | 13,1  |
| Сильне розгойдування будинків і споруд                  | 41,8  |
| Розтріскування штукатурки, пошкодження цегляних димарів | 131   |
| Зсуви ґрунту, тріщини на пологих ділянках ґрунту        | 259   |

Проект Міжнародного стандарту ІСО [67] містить граничні рівні вібрації, викликані впливом на будівлі вибухів в кар'єрах або раптовими ушкодженнями машин і механізмів, наприклад вильотом турбінної лопатки. У цьому документі вібрація оцінюється середньоквадратичним значенням швидкості, обчисленої або виміряної по ортогональних осях в конструкції; найбільше значення, визначене в обраних точках вимірювання, характеризує інтенсивність вібрації в споруді. Уявлення про рівень вібрації по стандарту ІСО [67] дає рис. 1.8.

Широке коло нормативних документів встановлює граничні рівні вібрації, що впливає на будівлі і споруди при вибухових роботах.

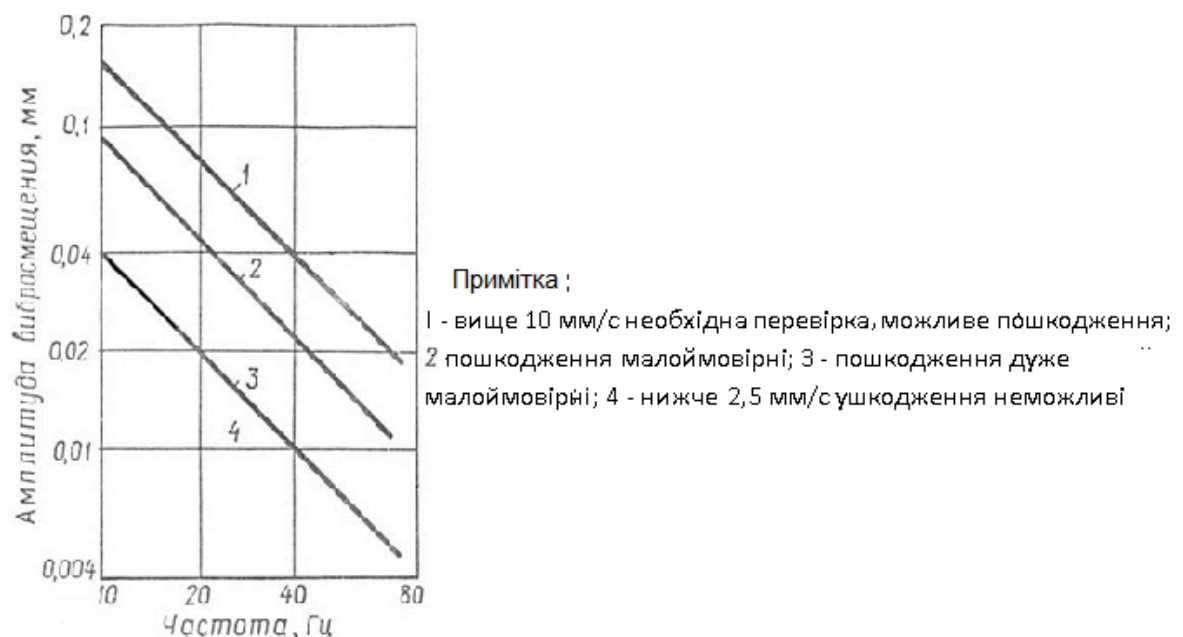


Рис. 1.8 - Граничні рівні вібрації конструкцій будівель при вибухах у кар'єрах і аваріях машин.

У країнах колишнього СРСР не існує офіційно чинного нормативного документа, що регламентує допустиму інтенсивність коливань ґрунту і об'єкту, що охороняється, при промислових вибухах. Тому вельми актуальним є огляд національних і міжнародних стандартів з нормування інтенсивності коливань ґрунту і конструкцій споруд, що охороняються, від вибухових впливів. У ряді країн існують кілька регламентних вимог і приписів залежно від того, яким відомством здійснюються вибухові роботи.

Стандарт ФРН DIN 4150 [68] дає значення допустимої віброшвидкості різних будівельних конструкцій споруд трьох типів при впливі вібрації з частотами до 100 Гц. Ці значення наведені в табл. 1.10.

Таблиця 1.10.

#### Норми ФРН DIN 4150 для значень допустимої віброшвидкості

| Тип споруди  | допустима віброшвидкість, мм/с |       |                     |   |
|--|--------------------------------|-------|---------------------|---|
|  | фундамент при частоті, Гц      |       |                     | покриття верхнього поверху для всіх частот <sup>2</sup> |
|  | 10                             | 10-50 | 50-100 <sup>1</sup> |   |
| 1. Будівлі, що використовуються як адміністративні та промислові                   | 20                             | 20-40 | 40-50               | 40  |
| 2. Оштукатурені споруди, житлові будинки і приєднані конструкції                   | 5                              | 5-15  | 15-20               | 15  |
| 3. Споруди, що не входять в І і 2 групи в зв'язку з більшою чутливістю до вібрації | 3                              | 3-8   | 8-10                | 8   |

Примітка. При частоті більше 100 Гц дозволяється більший рівень вібрації.

Норми ФРН DIN 4150 піддаються великій критиці з боку багатьох національних організацій і ряду практиків в самій ФРН. Основний їх недолік - мала обґрунтованість норм результатами експериментальних досліджень, внутрішні суперечності і завищені вимоги для споруд 3-го типу. Так, при проведенні вибухових робіт з розпушування ґрунту в межах житлової забудови в Баден-Бадені [69] була зареєстрована віброшвидкість коливань ґрунту біля фундаментів споруд під охороною, рівна 12,8 мм/с при частоті близько 90 Гц. При цьому не виявлено жодних негативних наслідків протягом п'яти місяців проведення 300 вибухів, кожен з яких складався з 18 ступенів масою ВР у 20 кг.

У будівлях, що мають два і більше поверхів, необхідно виконувати

експериментальні вимірювання рівня вібрації на фундаменті і покритті верхнього поверху. Прилади на покритті будівлі повинні бути встановлені як можна ближче до зовнішніх стін за взаємоперпендикулярними осями, одна з яких паралельна зовнішній стіні споруди.

В інших національних стандартах при частоті коливань близько 100 Гц встановлюється допустима віброшвидкість, що перевищує 10 мм/с для споруд особливого призначення, прирівняних до архітектурних пам'яток. У табл. 1.11 наводяться дані зі стандарту НДР KDT-Richtlinien 046/72 [70], а в табл. 1.12 - відомості з норм США OSM [71].

Таблиця 1.11.

## Допустима віброшвидкість для споруд особливого призначення

| Клас споруди | Тип споруди                                  | Допустима швидкість $V_z$ , мм/с |                   |
|--------------|--|----------------------------------|-------------------|
|              |  | частота 2-30 Гц                  | частота 30-100 Гц |
| I            | Будинки й пам'ятники                         | 2                                | 2-14              |
| II           | Спецспоруди                                  | 5                                | 5-35              |
| III          | Панельні та великоблочні будівлі             | 10                               | 10-70             |
| IV           | Будинки з залізобетонним і сталевим каркасом | 30                               | 30-200            |

Таблиця 1.12.

## Допустима віброшвидкість для споруд особливого призначення

| Клас споруди | Технічний стан               | Частота вибухових коливань ґрунту, Гц | Допустима швидкість коливань, мм/с |
|--------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 0            | Поганий                      | -                                     | 12,7                               |
| 1            | Від поганого до посереднього | 0-10                                  | 19,1                               |
| 2,3          | Від посереднього до хорошого | 10-40                                 | 25,4                               |
| 1,2,3,4      | Чудовий                      | >40                                   | 50,8                               |

Примітка: Клас 0 - історичні споруди та житлові будинки з бутовим фундаментом, що мають тріщини в штукатурці стін. I - будинки, старші за 20 років; 2 - сучасні дерев'яні будівлі віком менше 20 років з бетонним фундаментом; 3 - споруди типу водонапірних веж, тунелів, трубопроводів, шахт тощо; 4 - інженерні споруди, спроектовані з урахуванням динамічних навантажень від землетрусів, транспорту, вітру.

Слід зазначити, що в нормах OSM [71] при частоті 40 Гц величина допустимої швидкості змінюється стрибком вдвічі, що є істотним недоліком цієї шкали, оскільки за реальними осцилограмами досить важко встановити різницю в частотах. Більшість національних норм вважає швидкість коливань ґрунту при вибухових впливах єдиним показником стану будівель під охороною. Однак навіть до оцінки віброшвидкості нормувальні організації підходять на підставі різних критеріїв. Так, документи НДР KDT-Richtlinien 046/72 і Швеції (табл. 1.13) [70]

Таблиця 1.13.

Вертикальна складова швидкості  $V_z$  при вибухові

| Ґрунт в основі споруди                                    | Пісок, кварц, глина | Морена, м'який вапняк | Твердий вапняк, кварц, пісок, граніт, діабаз | Характер пошкоджень   |
|---|---------------------|-----------------------|--|-----------------------|
| Швидкість поширення хвилі в ґрунті                        | 1000-1500           | 2000-3000             | 4500-6000                                    | -                     |
| Допустима швидкість коливань ґрунту поблизу споруди, мм/с | 4-18                | 35                    | 70   | Помітних тріщин немає |
|   | 6-30                | 55                    | 110  | Незначні тріщини      |
|   | 8-40                | 80                    | 100  | Розтріскування        |
|   | 12-60               | 115                   | 230  | Сильне розтріскування |

рекомендують приймати за нормований параметр вертикальну складову швидкості  $V_z$ . Норми США зобов'язують вимірювати швидкість  $V_h$  горизонтальних складових коливань, орієнтованих на епіцентр вибуху і відповідних двом взаємно перпендикулярним напрямкам. Норми ФРН DIN 4150 [68] рекомендують вимірювати швидкість горизонтальних складових коливань в напрямку головних осей фундаменту споруди, що охороняється. Нормами ВНР (табл. 1.14 [72]), що діють також і в деяких балканських країнах, рекомендується вимірювати найбільшу швидкість коливань  $V_L$  в напрямку епіцентру вибуху. Багато інших організацій рекомендують вимірювати просторову швидкість  $V_R$ , незважаючи на її досить умовний характер.

Таблиця 1.14.

Допустима швидкість коливань  $V_L$  в напрямку епіцентру вибуху

| Тип споруди  | Допустима швидкість $V_L$ мм/с |
|--|--------------------------------|
| Пошкоджені споруди, пам'ятники, трубопроводи під тиском, гнучкі споруди              | 2                              |
| Споруди незавершеного будівництва, нафтові і газові об'єкти в експлуатації           | 5                              |
| Вежі, заводські димарі, гідроелектростанції, електрообладнання на відкритому повітрі | 10                             |
| Залізобетонні і сталеві споруди, тунелі, підземні виробки                            | 20                             |
| Залізничні колії, електричні лінії   | 50                             |

Норми, що розробляються кожною національною організацією, орієнтовані на конкретні особливості країни за геологічними умовами та характером будівництва. Норми Швеції враховують переважання в країні твердих гірських порід. У Канаді розроблені рекомендації (табл. 1.15) з метою забезпечення безпеки споруджуваних



залізничних будівель при вибухах у вапняку.

Таблиця 1.15.

## Допустима швидкість коливань ґрунту під час вибуху

| Тип зони безпеки | Допустима швидкість ґрунту при 12-100 Гц, мм/с |
|------------------|--|
| Безпечна зона    | < 60   |
| Зона обережності | 80-120   |
| Небезпечна зона  | >120   |

Нормативні документи ряду країн, наприклад Швейцарії (табл. 1.16, 1.17 [70]), Чехії (табл. 1.18, 1.19 [69]), а також стандарт ISO/TC 108/SG2/Wg (табл. 1.20, 1.21 [67]) визначають допустиму швидкість коливань будівельних конструкцій, беручи до уваги який тип споруди під охороною, так і характер пошкодження її конструкцій. Введення в документи нормованих пошкоджень пояснюється бажанням якоюсь мірою врахувати регулярність проведення вибухових робіт.

Таблиця 1.16.

## Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від типу споруди

| Клас споруди | Тип споруди   | Частота, Гц | Допустима швидкість, мм/с |
|--------------|---|-------------|---------------------------|
| I            | Залізобетонні і сталеві споруди без штукатурки, такі як промислові споруди, мости, вежі, відкрито укладені трубопроводи | 10-60       | 30                        |
|              | Підземні споруди з пустотами, тунелі, штольні   | 60-90       | 30-60                     |
| II           | Будинки з перекриттями на фундаментах з бетону або кам'яної кладки;   | 10-60       | 18                        |
|              | високі споруди типу веж з кам'яної кладки на бетонному фундаменті;  | 60-90       | 18-25                     |
|              | підземні споруди з пустотами, тунелі, штольні з бетонним облицюванням;  | 10-60       | 12                        |
|              | трубопроводи в пухкій гірській породі   | 60-90       | 12-18                     |
| III          | Будинки з фундаментами і підвалами з бетону і дерев'яними перекриттями верхніх поверхів                                 | 10-60       | 8                         |
| IV           | Споруди, чутливі до вібрації або особливо цінні   | 60-90       | 8-12                      |

Таблиця 1.17.

## Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від характеру ушкоджень

| Клас пошкодження | Характер пошкодження   | Допустима швидкість $V_R$ на фундаменті, мм/с |
|------------------|--|---|
| 1                | Порогові пошкодження: поява видимих тріщин на покриттях і не несучих конструкціях                                      | 3-5   |
| 2                | Легкі пошкодження: поява тріщин на перекриттях і ін. несучих конструкціях без істотного зменшення їх несучої здатності | 5-30  |

|   |  |      |
|---|--|------|
| 3 | Значні пошкодження: широкі тріщини в конструкціях, осідання і зрушення фундаменту зі зменшенням його несучої здатності | >100 |
|---|--|------|

Таблиця 1.18.

Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від типу споруди

| Тип споруди  | Допустима швидкість, мм/с |
|--|---------------------------|
| Особливо цінні історичні споруди                           | 10                        |
| Приватні житлові будинки                                   | 20-25                     |
| Багатоповерхові житлові будинки                            | 35                        |
| Споруди зі збірного залізобетону з залізобетонним каркасом | 80                        |
| Споруди з металевим каркасом                               | 100                       |
| Сталеві трубопроводи діаметром до 10 мм, кабелі            | 50-100                    |

Таблиця 1.19.

Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від характеру ушкоджень

| Характер ушкодження  | Допустима швидкість при частоті 1-10 Гц, мм/с |
|--|---|
| а) Перші ознаки ушкоджень: осипання побілки, волосяні тріщини в штукатурці, насамперед в місцях з'єднань конструкцій   | 10-30   |
| б) Легкі пошкодження: великі тріщини в штукатурці, з'єднаннях і навколо отворів в кам'яній кладці, ослаблення окремих елементів конструкцій, падіння тонких шарів штукатурки       | 30-60   |
| в) Серйозні пошкодження: тріщини в несучих конструкціях, падіння великих шматків штукатурки, розтріскування димарів і покриттів даху, поява дрібних тріщин в бетонних конструкціях | 60-140  |
| г) Руйнування: руйнування окремих елементів і кам'яної кладки, великі тріщини в залізобетонних конструкціях  | > 140   |

Примітка. Швидкість повинна бути експериментально визначена на стіні нижнього поверху споруди або на фундаменті (рекомендації щодо напрямку її вимірювання відсутні)

Таблиця 1.20.

Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від типу споруди

| Тип споруди  | Допустима віброшвидкість на фундаменті, мм/с |
|--|--|
| 1. Будинки з віброчутливим обладнанням             | 15   |
| 2. Житлові будинки                                 | 25   |
| 3. Громадські будівлі, що не входять в групи І і 2 | 50   |

Таблиця 1.21.

Допустима швидкість коливань будівельних конструкцій в залежності від характеру ушкоджень

| Характер ушкодження   | Частота, Гц | Допустима швидкість, мм/с |
|---|-------------|---------------------------|
| Порогові:   |             |                           |
| виникнення волосяних тріщин в штукатурці та стінах, швах бетонних блоків; збільшення ширини вже існуючих тріщин в | 1-4         | 4,5-18                    |
|   | 5-15        | 18                        |
|   | 15-40       | 18-50                     |

|   |                                 |                              |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| штукатурці та стінах  | 40-350                          | 50                           |
| Малі:   |                                 |                              |
| виникнення великих тріщин, відшарування і падіння частин штукатурки, наскрізні тріщини в швах бетонних блоків | 1-4<br>4-15'<br>15-40<br>40-300 | 8-40<br>40<br>40-100<br>100  |
| Великі:   |                                 |                              |
| пошкодження несучих конструкцій, тріщини в несучих конструкціях   | 1-4<br>4-15<br>15-40<br>40-300  | 20-80<br>80<br>80-200<br>200 |

З метою орієнтовної оцінки інтенсивності сейсмічних коливань для малоповерхових будівель і споруд різного ступеня збереження і безпечних відстаней рекомендується користуватися таблицею 1.22 і рисунком 1.9.

Таблиця 1.22.

## Допустимі параметри коливань ґрунту в основах будівель

| Стан будівлі | Допустима бальність | Допустима швидкість коливань, см/с |
|--------------|---------------------|------------------------------------|
| Задовільний  | 5                   | 1,5-3                              |
| Є деформації | 4                   | 0,8-1,5                            |
| Ветха        | 3                   | 0,4-0,8                            |

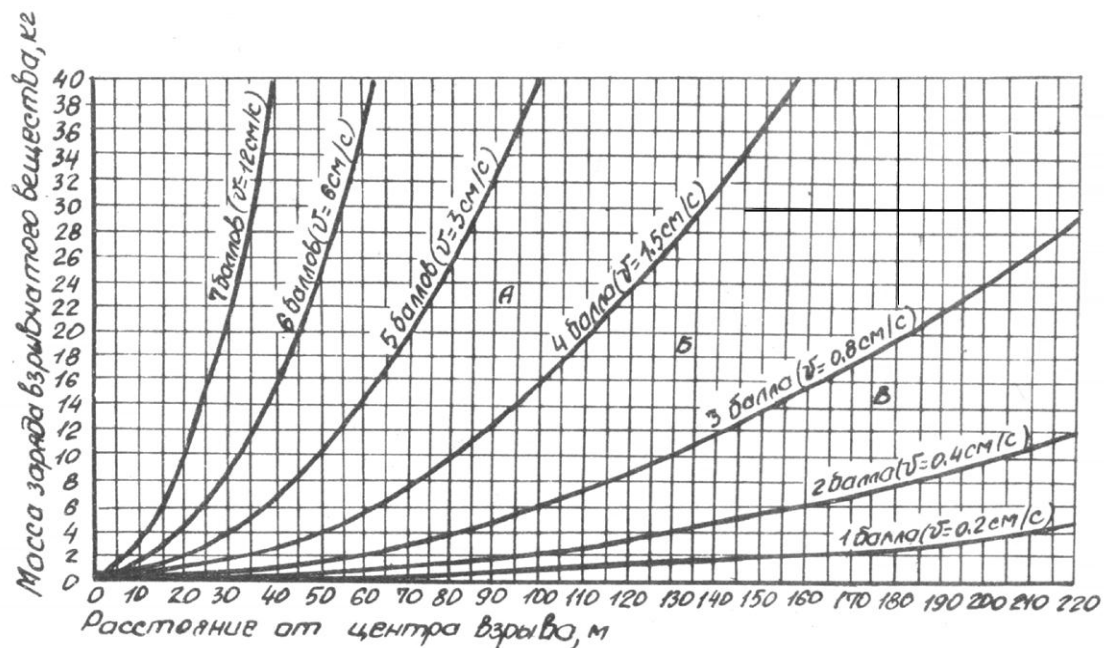
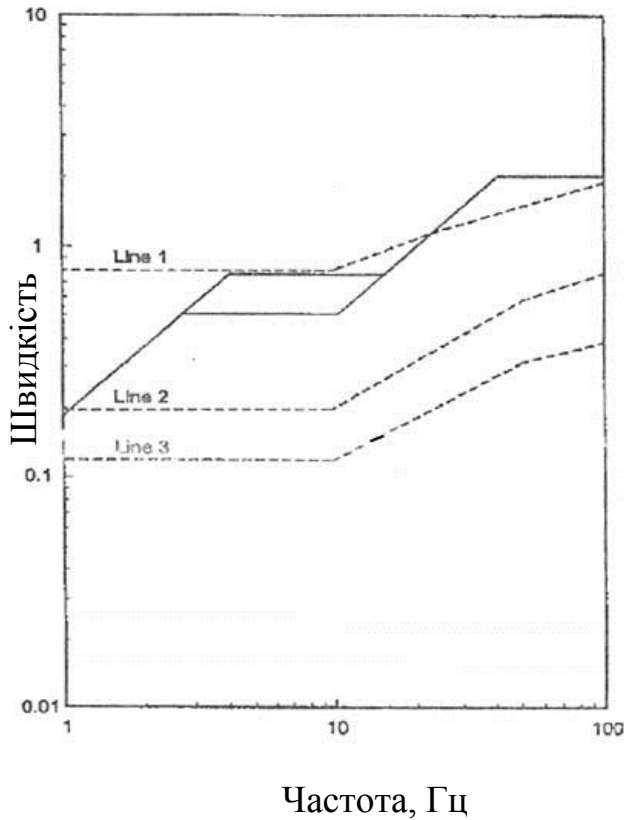


Рис. 1.9 – Графік залежності мінімальних безпечних відстаней від маси зарядів, що підриваються: А – неушкоджених будівель; Б – що мають значні пошкодження; В – ветхих.

У документі [73] виконано порівняння вимог норм Німеччини DIN 4150 [68], США USBM RI 8507 і Великобританії BS 7385 [74] для прикладу критеріїв, використовуваних в різних країнах, в якості основи для визначення потенційних ушкоджень при впливі коливань (рисунки 1.10 і 1.11). Лінії 1-3 на рисунку 1.10 і 1, 2 на рисунку 1.11 являють собою різні типи конструкцій і споруд.



| Линия | Тип здания   |
|-------|--|
| 1     | Армированные и каркасные конструкции<br>Промышленные и сложные коммерческие здания               |
| 2     | Неармированные или конструкции с легким каркасом<br>Жилые или незначительные коммерческие здания |

Рис. 1.10 – Порівняння між вимогами USBM RI 8507 (суцільна лінія) і DIN 4150 (пунктирна лінія)

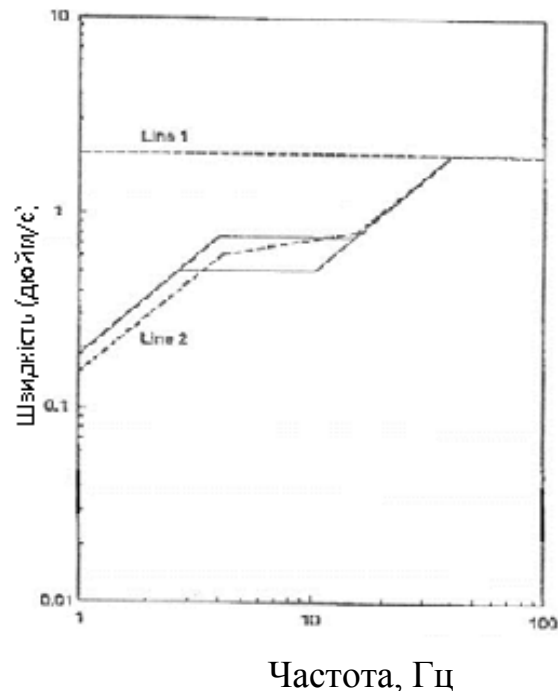


Рис. 1.11. – Порівняння між вимогами USBM RI 8507 (суцільна лінія) і BS 7385 (пунктирна лінія)

Таким чином нормування вібрації згідно [62], порівняння національних і міжнародних стандартів дозволяє виявити велику різноманітність в їх структурі. Нормування швидкості коливань ґрунту здійснюється:

- в залежності від типу споруди під охороною з урахуванням і без урахування основної частоти вібрації;
- те саме, але з додатковими рекомендаціями щодо швидкості, що викликає появу пошкоджень певного класу;
- за умовою потрапляння споруди під охороною в зону певного ступеня небезпеки;
- в залежності від характеру пошкодження споруди з урахуванням і без урахування частоти зовнішнього впливу і т.д.

Все це призводить до того, що величина допустимої швидкості коливань ґрунту, що визначається за різними нормами, може лежати в широкому діапазоні навіть при однаковій частоті вібрації. Наприклад, для частоти 10 Гц значення допустимої швидкості коливань ґрунту варіюється в межах 2-80 мм/с. Звідси і спостережувані випадки пошкодження споруд при швидкостях нижче допустимих і відсутність ушкоджень при перевищенні допустимих віброшвидкостей.

Значні пошкодження будівельних конструкцій мають місце при близьких значеннях частоти коливань ґрунту під час вибуху і частоти власних коливань споруди.

Очевидно, єдиний документ, який регламентує допустимі норми вібрації споруд при вибухах, не може задовольнити всі країни, які мають різні геологічні умови і висувають різні вимоги до екологічної чистоти вибухових робіт.

Проведений аналіз національних і міжнародних нормативних документів дозволяє зробити наступні висновки.

1. Оцінка вібрації, що впливає на будівлі і споруди, приведена в національних стандартах України, Польщі, Чехії, Німеччини, США, Франції і деяких інших, а також в Міжнародних стандартах ІСО.

2. За результатами аналізу та узагальнення вимог нормативних документів України, європейських і міжнародних стандартів, а також експериментальних даних ДП НДІБК [2-6, 7, 8, 9, 12-14] рекомендується прийняти в якості допустимих значень віброприскорень фундаментів дані, наведені на рисунку 1.12.

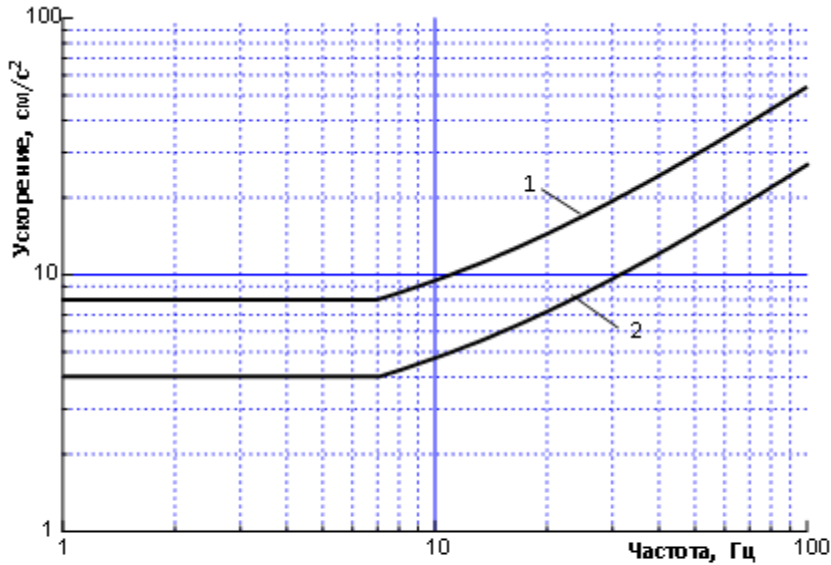


Рис. 1.12. Допустимі значення віброприскорень для фундаментів будівель (1 – для I-ої та II-ої категорій технічного стану будівель [36]; для III-ої та IV-ої категорій [36])

Проведений аналіз національних і міжнародних нормативних документів дозволяє зробити наступні висновки.

1. Оцінка вібрації, що впливає на будівлі і споруди, приведена в національних стандартах України, Польщі, Чехії, Німеччини, США, Франції і деяких інших, а також в Міжнародних стандартах ІСО.

2. За результатами аналізу та узагальнення вимог нормативних документів України, європейських і міжнародних стандартів, а також експериментальних даних ДП НДІБК [2-6, 7, 8, 9, 12-14] рекомендується прийняти в якості допустимих значень віброприскорень фундаментів дані, наведені на рисунку 1.12.

### **1.3. Аналіз сучасних методів розрахунку основ і фундаментів будівель на сейсмостійкість**

Останнім часом все більше занепокоєння викликають інші, так звані промислові, землетруси. Вони виникають внаслідок проведення вибухових робіт на кар'єрах, які вже впритул наближаються до околиць промислових міст, або при проведенні масштабних будівельних робіт.

В умовах гірської і будівельної практики вибухи можуть проводитися щодня, іноді і не один раз на день. Всім спорудам тією чи іншою мірою властива здатність накопичувати попередні деформації, що виражається властивістю втоми матеріалів. Інша проблема полягає в тому, що раніше території поблизу зони вибухів не відносили до сейсмонебезпечних та при будівництві не застосовувалась методика розрахунку з урахуванням сейсмічних навантажень. В цьому випадку при будівництві нових будівель є можливим використання антисейсмічних заходів, а от із уже існуючими будівлями все набагато складніше. Єдиноможливим варіантом є розрахунок безпечної відстані від місця проведення вибуху до об'єктів, що охороняються, та розрахунок безпечної маси заряду.

Не можна визнати припустимим коливання інтенсивністю 5 балів, оскільки в житлових і адміністративних будівлях систематично спостерігається осипання побілки, накопичуються пошкодження штукатурки. При цьому можливі пошкодження окремих старих будівель, що знаходяться в експлуатації. Насамперед до пошкоджень схильні будівлі і споруди, побудовані з відхиленнями від діючих норм, правил і проектів. У житлових масивах міст необхідно враховувати також психологічну дію на населення вибухів, що систематично повторюються: відчуття коливань, дзвін шибок та посуду. Такі явища спостерігаються вже при коливаннях в IV бали, тобто при швидкості коливань до  $8 \cdot 10^{-3}$  м/с. У районі житлових масивів можуть знаходитися лікарні, дитячі установи. А отже, є дуже важливим правильно розрахувати відношення маси вибухової речовини до відстані між місцем проведення вибуху і об'єктом, що охороняється.

Механізм формування сейсмічних хвиль від промислових вибухів вельми складний, має свої особливості і недостатньо вивчений. Для механізму формування

сейсмічних коливань при вибухах характерні багатостадійність і розсосередженість основних джерел коливань у просторі та часі. Першим джерелом хвиль стиснення-розтягування є сам заряд, що впливає на навколишній масив при вибуховому розкладанні. Під дією первинного імпульсу навколо підірваного заряду створюється область напруженого стану або сейсмічного осередка вибуху, яка бере участь у формуванні інших типів хвиль. Основним джерелом коливань є руйнована і відокремлювана від гірського масиву порода. Це є результатом напруг, що розвиваються в ній через підірваний заряд. Амплітуда і період коливань злежать від часу, об'єму і швидкості руйнування породи [76].

Загальний принцип охорони споруд та їх фундаментів визначається співвідношенням

$$u \leq u_{\text{пр}} \quad (1.1)$$

де  $u$  та  $u_{\text{пр}}$  – можлива та максимально допустима швидкість коливання ґрунтів при вибухах, м/с.

Перші спроби схематичного розрахунку впливу вибуху в ґрунті були розглянуті з позиції ґрунту як ідеального, ізотропного, пружного середовища. Глибина закладання зарядів на кар'єрах зазвичай мала в порівнянні з горизонтальними відстанями, і для опису сейсмічних процесів за допомогою формули вибухове навантаження можна уявити як зосереджений удар по пружному напівпростору. Для співставлення інтенсивності коливань від вибухів різних масштабів зручніше користуватися не абсолютними значеннями ваги зарядів і відстані, а будь-якою безрозмірною величиною. В промисловій сейсмології в якості такої величини зазвичай використовується приведена відстань:

$$\rho = \frac{r}{\sqrt[3]{Q}} \quad (1.2)$$

де  $r$  – відстань від місця вибуху, м;

$Q$  – загальна вага зарядів, кг.

За даними багаторазових спостережень ПЕУ Союзвибухпрома ВНІМІ, залежність швидкості сейсмічних коливань від приведеної відстані може бути виражена у вигляді (формула М.А. Садовського [41]):



$$V = K\rho^{-1.5}, \text{ см/с} \quad (1.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт сейсмічності, для скельних і напівскельних порід – 200-300, піщано-глинистих ґрунтів з потужністю більше 15 м, середньої водонасиченості – 300-450, пухких і водонасичених ґрунтів – 450-600, у А.А. Вовка [77] – до 750.

При спостереженнях сейсмічних коливань, внаслідок впливу багатьох неврахованих факторів, має місце велике розходження параметрів, тому для кожних ґрунтових умов вказані 2 значення – середнє і максимальне. Максимальні значення  $K$  вибрані таким чином, що в 95% випадків коливання, що спостерігались, не перевищували рівня, що визначається формулою (1.3) при максимальному значенні  $K$ .

Коефіцієнти у формулі уточнюються експериментально в залежності від конкретних умов виконання вибухових робіт, геологічних умов майданчика, форми заряду тощо.

В.І. Чепурний [78]: на основі експериментальних досліджень залежність швидкості коливань  $V$  і маси заряду  $G$  має вигляд:

$$V = K_c \sqrt{G^3} \quad (1.4)$$

$K_c$  – коефіцієнт, що залежить від умов проведення вибуху.

Г.О. Генієв [79] визначає горизонтальні переміщення земної поверхні, що викликані зосередженою зсувною сейсмічною дією за допомогою комплексу безрозмірних критеріїв подібності. Ґрунт у розрахунках він моделював пружним в'язким середовищем. Але в складних умовах, при наближенні вибухів до об'єктів під охороною, використання в незмінному вигляді моделей не забезпечує необхідної надійності розрахунків через значну варіацію інтенсивності коливань.

Наявність похибок у розрахунках за запропонованими вище формулами пов'язані з тим, що вибухи виконуються не в нескінченному однорідному просторі, а у просторі з відповідними не завжди простими границями (вибухи з однією, двома і декількома відкритими поверхнями). В результаті швидкість стає залежною від ступеня віддаленості заряду від граничної поверхні (глибина закладання), що повинно відбиватися на ускладненні рівняння. До того ж порода як правило шарова та з перемінними властивостями за глибиною, що порушує подібність. Навіть у

випадку однорідного напівпростору при значних заглибленнях заряду прослідковується порушення простішої подібності типу формули М.А. Садовського, внаслідок того, що при цьому починають проявлятися сили тяжіння, що не враховуються при менших глибинах. В таких випадках необхідна хоча б приблизна оцінка імовірних значень швидкостей ґрунту в районі об'єктів, що охороняються. Прихильниками імовірнісної оцінки коливань ґрунту були С.Г. Оніка [80], Б.В. Поздняков [81], Я.І. Цейтлін, Н.І. Смолій [82].

Для одержання таких приблизних оцінок Я.І. Цейтлін, Н.І. Смолій [82] звертаються до математико-статистичної обробки і виводять формули у відповідності до метода найменших квадратів. Але глибокого фізичного сенсу у таких формулах мало, вони частіше носять службовий характер. Черний В.Г. [83] пропонує застосовувати евристичний підхід, що заснований на визначенні ймовірності ушкодження будівель і споруд при динамічному впливі. Застосування такого підходу дає змогу чіткіше з'ясувати можливі механізми ушкодження основи об'єкта і за певної статистики більш явно окреслити ступені надійності. Але потребує досить значного й адекватно показового набору статистики ушкоджень та аварій.

Максимально допустиму швидкість коливань можна розрахувати за формулою [76]:

$$u_{np} = 10^{-2} e^{\frac{K+P}{2} + 1} \quad (1.5)$$

де  $K$  – клас споруди, що визначається ступенем її важливості (від 1 до 4),  $P$  – сумарний ранг об'єкта, що залежить від характеристики елементів споруди та її типу, матеріалу та наявності антисейсмічних посилень.

У практиці вибухових робіт сейсмічна безпека часто забезпечується обмеженням маси заряду, що вибухає одночасно. Звичайно це робиться відповідно до Єдиних правил безпеки при вибухових роботах. У складніших випадках Правилами передбачено залучення науково-дослідних груп для обґрунтування допустимих мас зарядів або визначення сейсмобезпечних відстаней.

Зменшення об'єму маси заряду, що вибухає одночасно, насамперед сприяє збереженню будівель і споруд, в яких відбувається накопичення дій попередніх вибухів, і зниженню психологічної дії на людей в населених пунктах, прилеглих до району ведення вибухових робіт.

Розглянуті методи управління промисловими вибухами здійснюють вплив на характер формування сейсмічних хвиль і їх параметри. Проте можна змінювати інтенсивність сейсмічних коливань на шляху їх розповсюдження і безпосередньо в районі тих об'єктів, що охороняються.

Умову безпечного виконання промислових вибухів можна визначити за формулою [176]:

$$u'_{\text{пр}} \geq C_p^{5/6} \gamma^{1/6} (\gamma C_p)_H^{-1/2} \left( 1 - \frac{4 C_s^2}{3 C_p^2} \right)^{2/3} R_{\text{э.пр}}^{-2,21 R_{\text{э.пр}}^{-0,05}} \quad (1.6)$$

де  $C_p$  – швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль;

$C_H$  – швидкість розповсюдження поперечних хвиль;

$\gamma$  – питома вага породи;

$R_{\text{э.пр}}$  – гранично допустимий приведений радіус, що залежить від фактичної маси заряду, його питомої теплоти вибуху і фактичної відстані.

Подальше завдання з визначення безпечних відстаней до об'єктів, що охороняються, або граничної маси вибухових зарядів розв'язується при рівності граничної еквівалентної приведеної відстані і фактичної приведеної відстані з урахуванням впливу основних гірничотехнічних чинників. В даних умовах виникає необхідність в розробці нових методів ведення вибухових робіт, розвиток яких заснований на сучасних уявленнях про дію вибуху.

Останнім часом, внаслідок швидкого розвитку комп'ютерних технологій, набули поширення різноманітні програмні продукти, що дозволяють швидко і з більшою точністю проводити різноманітні розрахунки. Такі програми як ANSYS, Zenit – 95, Ліра, Plaxis та інші дозволяють за даними інженерно-геологічних досліджень будувати модель ґрунтової основи з подальшим визначенням змінних коефіцієнтів фундаментної плити за чисельними методами. Розрахунок

характеристик коливань частіше виконують за методом скінченних елементів, який вимагає складання відповідної розрахункової схеми (рис. 1.13).

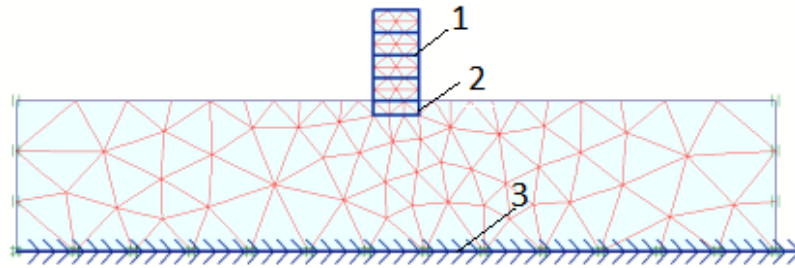


Рис. 1.13. Розрахункова схема для розрахунку характеристик коливань за методом скінченних елементів на базі програмного комплексу PLAXIS: 1 – будівля; 2 – фундамент будівлі; 3 – сейсмічне навантаження від вибуху.

За результатами розрахунку визначаються переміщення та навантаження на фундамент і конструкцію будівлі.

**Висновки:** Отже, сучасні уявлення про формування хвиль від промислових вибухів не можна визнати вичерпними, і вдосконалення методів управління сейсмічною дією вибуху обумовлює необхідність подальшого вивчення механізму формування коливань.

Відомо, що вібрація викликає зміну деформаційних і міцнісних властивостей ґрунту (суттєво зростає стисливість і різко падає опір зсуву). І тому для розрахунку імпульсних впливів динамічних навантажень потрібно застосовувати особливу динамічну модель ґрунтового середовища. Реальне середовище, в якому відбуваються динамічні процеси розповсюдження сейсмовибухових хвиль, описується не ідеальною моделлю і описати його рівнянням дуже складно. В моделі належним чином не враховуються загальні і локальні зміни тектонічних, ґрунтових і гідрогеологічних умов у джерелі вибуху, на шляху розповсюдження хвиль і в місцях спостережень. При застосуванні теорії статистики одержимо прикладні формули для конкретних умов вибухових робіт. Тому для точної оцінки впливу вибухових робіт на конструкції будівель та споруд необхідно застосовувати комбінацію розрахункових методів із методами, заснованими на вимірюваннях коливальних характеристик ґрунту.

#### 1.4. Проектний термін експлуатації та довговічності будинків і споруд

Класифікація будинків і споруд за рівнем вимог до якості, з метою вибору економічно доцільних рішень при їх проектуванні, в СРСР була унормована в 1954 р. з уведенням в дію глави II-A.1 СНиП «Основные положения по классификации зданий и сооружений» [84]. За сукупністю прикмет капітальності та експлуатаційних властивостей будівлі і споруди були розділені на три класи.

Капітальність будівель і споруд характеризувалася ступенем їх довговічності та ступенем вогнестійкості конструктивних елементів в заданих умовах експлуатації. Вимоги до будівель і споруд, що визначали їх клас, встановлювалися в нормах проектування відповідних будівель і споруд, а вибір класу для кожного будинку повинен був обґрунтовуватися проектною організацією.

В 1962 р. на заміну глави II-A.1 СНиП [84] було введено СНиП II-A.3-62 «Классификация зданий и сооружений. Основные положения проектирования» [85]. В залежності від капітальності – сукупності ознак, притаманних будівлі в цілому, її народногосподарському та містобудівному значенню – встановлювався комплекс найважливіших вимог до будівель та їх елементів. Клас будівлі також розглядався як рівень вимог щодо довговічності та вогнестійкості. Було встановлено чотири класи капітальності:

I клас, строк служби понад 100 років: наприклад, крупні громадські будівлі (музеї, театри), урядові установи, житлові будинки заввишки понад 9 поверхів, крупні електростанції і т.д.

II клас, строк служби понад 50 років: громадські будівлі масового будівництва в містах – школи, лікарні, дитячі установи, адміністративні будівлі, підприємства торгівлі і громадського харчування, житлові будинки заввишки 6...9 поверхів, крупні виробничі будівлі.

III клас, строк служби понад 20 років: житлові будинки не вище 5 поверхів, громадські будівлі невеликої місткості в сільських населених пунктах.

IV клас, строк служби до 20 років: малоповерхові житлові будинки, тимчасові громадські будівлі, виробничі будівлі, розраховані на можливість їх експлуатації протягом короткого часу.

Клас капітальності будівлі повинен був забезпечуватися застосуванням конструкцій відповідних ступенів вогнестійкості і довговічності, наприклад: житлові будівлі I класу мали проектуватися з конструкціями не нижче за I ступінь вогнестійкості і довговічності; будівлі II класу – з конструкціями не нижче за II ступінь вогнестійкості і довговічності; III класу – не нижче III ступеня за вогнестійкістю і II ступеня за довговічністю; у будівлях IV класу ступінь вогнестійкості не нормувався, а довговічність мала бути не нижче III ступеня.

Житлові будівлі I класу могли бути будь-якої поверховості; II класу – не вище 9 поверхів; III – не вище 5; IV – не вище 2 поверхів.

Виходячи з цих прикладів, встановлювали послідовну схему вибору матеріалів і конструкцій. Після вибору класу капітальності будівлі виявляли відповідні мінімально необхідні вимоги за ступенями вогнестійкості і довговічності.

З метою зниження вартості і матеріаломісткості будівництва, Державним комітетом СРСР у справах будівництва (Госстрой ССРСР) на заміну СНиП II-A.3-62 [85] в 1981 р. було введено «Правила обліку ступеня відповідальності будівель і споруд при проектуванні конструкцій» [86]. За цими Правилами було встановлено класи відповідальності будівель і споруд і коефіцієнт надійності за призначенням  $\gamma_n$ .

Клас I,  $\gamma_n = 1$ . Основні будівлі і споруди об'єктів, що мають особливо важливе народногосподарське і (або) соціальне значення, а саме: головні корпуси ТЕЦ, АЕС, центральні вузли доменних печей, димарі заввишки більше 200 м, телевізійні башти, резервуари для нафти і нафтопродуктів ємністю більше 10 тис. куб. м, криті спортивні споруди з трибунами, будівлі театрів, кінотеатрів, цирків, критих ринків, учбових закладів, дитячих дошкільних установ, лікарень, пологових будинків, музеїв, державних архівів і т. п.

Клас II,  $\gamma_n = 0,95$ . Будівлі і споруди об'єктів, що мають важливе народногосподарське і (або) соціальне значення (об'єкти промислового, сільськогосподарського, житлово-цивільного призначення і зв'язку, що не увійшли в I і III класи).

Клас III,  $\gamma_n = 0,9$ . Будівлі і споруди об'єктів, що мають обмежене народногосподарське і (або) соціальне значення, а саме: склади без процесів сортування

і упаковки для зберігання сільськогосподарських продуктів, добрив, хімікатів, вугілля, торфу і ін., теплиці, парники, одноповерхові житлові будинки, опори дротяного зв'язку, опори освітлення населених пунктів, огорожі, тимчасові будівлі і споруди і т. п.

Для тимчасових будівель і споруд з терміном служби до 5 років допускалося приймати  $\gamma_n = 0,8$ .

Ступінь відповідальності будівель і споруд визначався розміром матеріального і соціального збитку, можливого при досягненні конструкціями граничних станів.

На коефіцієнт надійності за призначенням  $\gamma_n$  слід ділити: граничні значення несучої здатності, розрахункові значення опорів, граничні значення деформацій, розкриття тріщин; або множити: розрахункові значення навантажень, зусиль або інших дій.

В 1995 р. в Україні «Правила обліку...» [86] були скасовані з наданням чинності зміні №1 до ГОСТ 27751-88 «Надежность конструкций и оснований. Основные положения по расчету» [87]. Замість класів відповідальності були встановлені три рівні відповідальності, що характеризуються економічними, соціальними і екологічними наслідками їх відмов: I – підвищений, II – нормальний, III – понижений.

До підвищеного рівня відповідальності були віднесені будівлі і споруди, відмови яких можуть привести до тяжких економічних, соціальних і екологічних наслідків (резервуари для нафти і нафтопродуктів місткістю  $\geq 10000 \text{ м}^3$ , магістральні трубопроводи, виробничі будівлі з прольотами  $\geq 100 \text{ м}$ , споруди зв'язку заввишки  $\geq 100 \text{ м}$ , а також унікальні будівлі і споруди).

Нормальний рівень відповідальності повинен був прийматися для будівель і споруд масового будівництва (житлові, громадські, виробничі, сільськогосподарські будівлі і споруди).

Понижений рівень відповідальності слід було приймати для споруд сезонного або допоміжного призначення (парники, теплиці, літні павільйони, невеликі склади та ін.).

При розрахунку несучих конструкцій і основ враховувався коефіцієнт надійності за відповідальністю  $\gamma_n$ . Вибір значення коефіцієнта  $\gamma_n$  проводився генеральним проектувальником за узгодженням із замовником і приймався: для I рівня

відповідальності - від 0,95 до 1,2, для II рівня - 0,95, для III рівня - від 0,8 до 0,95.

На коефіцієнт надійності за відповідальністю слід було множити ефект навантаження (внутрішні сили і переміщення конструкцій і основ, що викликаються навантаженнями та впливами). Коефіцієнт надійності за відповідальністю за ГОСТ 27751-88 [87] не поширювався на будівлі і споруди, урахування відповідальності яких встановлено у відповідних нормативних документах.

Вищезазначені рівні відповідальності будівель і споруд необхідно було враховувати також при визначенні вимог до довговічності будівель і споруд, при встановленні правил приймання, випробуваннях, експлуатації та технічній діагностиці будівельних об'єктів.

В липні 2009 р. на заміну ГОСТ 27751-88 [87] в Україні введено ДБН В.1.2-14-2008 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [88], при розробленні яких враховані основні положення Євростандарту EN 1990 «Основні принципи будівельного проектування» [89] та стандарту ISO 2394:1994 «Основні принципи забезпечення надійності» [90].

В ДБН В.1.2-14-2008 [88] встановлені *Класи відповідальності будівель і споруд за рівнем можливих матеріальних збитків і (або) соціальних втрат, пов'язаних з припиненням експлуатації або із втратою цілісності об'єкта та встановлені Категорії відповідальності конструкцій та їх елементів.*

Можливі соціальні втрати від відмови будівель і споруд повинні оцінюватися в залежності від таких факторів ризику, як: небезпека для здоров'я і життя людей; різке погіршення екологічної обстановки у прилеглий до об'єкта місцевості (для прикладу, при руйнуванні сховищ токсичних рідин або газів, відмові очисних споруд, каналізації тощо); втрата пам'яток історії і культури або інших духовних цінностей суспільства; припинення функціонування систем енергопостачання і зв'язку, руху наземного транспорту, перебої в системах водопостачання чи інших елементів життєзабезпечення населення або безпеки суспільства; неможливість організувати надання допомоги потерпілим при аваріях і стихійних лихах; загроза обороноспроможності країни.

В залежності від можливих збитків та втрат від відмови будівлі або споруди встановлені такі класи наслідків: СС3 – значні наслідки, СС2 – середні наслідки, СС1 – незначні наслідки [88].



Клас відповідальності унікальних будівель та споруд визначається на основі експертних оцінок. Для таких об'єктів як крупні вокзали, аеровокзали, крупні лікарні тощо призначення будівельному об'єкту класу відповідальності визначається у нормах проектування цих об'єктів.

В додатку до ДБН В.1.2-14-2008 [88] наведені орієнтовні показники об'єктів за класами відповідальності, класифікаційні параметри яких можуть уточнюватися в нормах проектування конкретних об'єктів. *Категорії відповідальності конструкцій та їх елементів* встановлюються залежно від наслідків, що можуть бути викликані відмовою.

Розрізняють три категорії відповідальності конструкцій та їх елементів:

А – конструкції і елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації будівлі (споруди) в цілому або значної її частини.

Б – конструкції і елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

В – конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

Категорії відповідальності встановлюються проектувальником на основі аналізу діючих норм і мають бути наведені у проектній документації. Рекомендації щодо визначення цих категорій, як правило, мають бути наведені у нормах проектування будівель або споруд певного типу.

У складі категорії А можуть виділятися конструкції категорії А1 (головні несучі конструкції), безвідмовність яких забезпечує будівлю або споруду від повного руйнування при аварійних впливах, навіть якщо її подальше використання за призначенням при цьому стане неможливим без капітального ремонту. До цієї ж категорії А1 слід відносити елементи, відмова яких може стати безпосередньою причиною аварійної ситуації з прямою загрозою для людей або довкілля.

В нормах проектування конструкцій з різних матеріалів можуть встановлюватися також інші категорії елементів за ступенем їх відповідальності.

Для конструкцій та елементів категорії А рекомендується використовувати

окремо або в будь-яких доцільних комбінаціях такі принципи гарантування безпеки:

- резервування, тобто забезпечення виконання основних функцій за рахунок надмірного числа елементів і пристроїв або їх надмірних можливостей;
- незалежність, тобто функціонування одного елемента (підсистеми) по можливості не повинно залежати від здатності виконання своїх функцій іншим елементом (підсистемою);
- розділення функцій, що забезпечує зменшення ймовірності одночасної відмови різних елементів (підсистем) за загальною причиною;
- відмінність принципів, тобто використання різних за конструкцією і принципом дії захисних пристроїв і елементів.

Рішення щодо принципів гарантування безпеки ухвалює генеральний проектувальник за погодженням із замовником проекту, організацією, яка здійснює науковий супровід проектних робіт, та відповідними державними наглядовими органами. Для елементів категорії А1 відмова від використання принципу незалежності має бути спеціально обґрунтованою.

Для елементів категорії А1, як правило, до введення об'єкта в експлуатацію повинні бути розроблені методики, пристосування і пристрої для проведення оцінки їх функціонування: випробування на відповідність проектним показникам; періодичного контролю їх технічного стану; заміни при відпрацюванні встановленого ресурсу.

Терміни експлуатації будівель або споруд, а також залишковий термін експлуатації частин існуючих будівель і споруд, котрі зберігаються при реконструкції, визначаються в завданні на проектування.

Встановлений термін експлуатації будівлі або споруди визначається при проектуванні та узгоджується замовником на підставі техніко-економічних розрахунків з урахуванням умов і режиму експлуатації, які надаються замовником (при відповідному технічному обслуговуванні, але без потреби в капітальному ремонті). При визначенні встановленого терміну експлуатації слід передбачати та прогнозувати темпи можливих змін визначених технологічних процесів і виробництв, для організації і обслуговування яких створюється будівельний об'єкт.

Якщо виконати вказані техніко-економічні розрахунки неможливо, термін експлуатації допускається визначати за даними табл. 1.23 (табл. 1 [134]).

Встановлений термін експлуатації повинен фіксуватися в проектній документації і має бути відомим власнику об'єкта, який відповідає при відсутності дозвольних документів за несанкціоновану експлуатацію об'єкта після закінчення встановленого терміну експлуатації.

Таблиця 1.23 – Терміни експлуатації будівель і споруд

| Найменування  | Орієнтовне значення встановленого терміну експлуатації $T_{ef}$ (в роках) |
|---|---|
| <b>Будівлі:</b>   |   |
| житлові та громадські   | 100   |
| виробничі та допоміжні  | 60  |
| складські   | 60  |
| сільськогосподарські  | 50  |
| мобільні збірно-розбірні (у тому числі промислові, житлові та інші) | 20  |
| мобільні контейнерні  | 15  |
| <b>Інженерні споруди:</b>   |   |
| мости, в залежності від типу  | 80-100  |
| греблі  | 120   |
| тунелі  | 120   |
| резервуари для води   | 80  |
| резервуари для нафти і нафтопродуктів                               | 40  |
| резервуари для хімічної промисловості                               | 30  |
| ємнісні конструкції для сипучих матеріалів                          | 20-30   |
| башти і щогли, в залежності від призначення                         | 20 - 40   |
| димові труби  | 30  |
| теплиці   | 30  |

Продовження терміну експлуатації понад встановлений допускається лише після проведення обстеження і оцінки технічного стану об'єкта, за результатами яких визначається можливе збільшення цього терміну  $T_{ef}$ . При цьому можуть бути вказані особливі умови експлуатації або висунуті вимоги щодо особливого режиму нагляду, періодичності ремонтів тощо.

Ступінь довговічності основних конструктивних елементів забезпечується шляхом їх захисту від вогню, фізичних, біологічних, хімічних та інших пошкоджень, забезпечення можливості їх заміни після вичерпання ресурсу, а також способи захисту основ від надмірного деформування (наприклад при підтопленні) повинні бути пов'язані з встановленим терміном експлуатації об'єкта і забезпечувати необхідний рівень надійності протягом усього цього терміну.

В ДБН В.1.2-14-2008 [88] вживається поняття «ресурс», визначення якого

сформульовано в загальнотехнічних міждержавному [91] та вітчизняному [92] стандартах.

В нормативних документах будівельної галузі вживання поняття «ресурс» не регламентовано, однак, коли розглядаються питання довговічності обладнання та конструкцій будівель і споруд, вживається єдина термінологія, наприклад при продовженні ресурсу енергоблоків АЕС, ГЕС та ін.

В міжнародному стандарті ISO 2394:98 [90] надано приклади запровадження національної класифікації проектного терміну служби, протягом якого надійність конструкцій має забезпечувати придатність для відповідної експлуатації будівель і споруд, та виділено чотири класи проектного терміну служби згідно табл. 1.24 (табл. 2 [90]).

Таблиця 1.24 – Класифікація проектного терміну служби

| Клас | Національний проектний термін служби (роки) | Приклади   |
|------|---|--|
| 1.   | 1...5                                       | Тимчасові конструкції  |
| 2.   | 25  | Замінні конструкційні частини, наприклад підкранові балки, опори                         |
| 3.   | 50  | Будівлі і споруди, відмінні від перерахованих нижче                                      |
| 4.   | 100 і більше                                | Монументальні будівлі й інші особливі або відповідальні конструкції, великі мости і т.п. |

В Євростандарті EN 1990 [90], обов'язковому для застосування як національний стандарт для переважної більшості країн Європи, визначено 5 категорій проектного терміну служби згідно табл. 1.25 (табл. 3 [90]).

Таблиця 1.25 – Категорії проектного терміну експлуатації  $t_{SL}$

| Категорії проектного терміну експлуатації | Розрахунковий термін служби $t_{SL}$ [роки] | Приклади  |
|---|---|---|
| 1   | 10  | Тимчасові споруди (споруди, що можуть бути демонтовані з можливістю повторного використання, не слід розглядати як тимчасові) |
| 2   | 10 – 25                                     | Замінні конструкційні частини, наприклад балки робочих платформ   |
| 3   | 15 – 30                                     | Сільськогосподарські та подібні до них конструкції  |
| 4   | 50  | Будівлі та звичайні споруди   |
| 5   | 100   | Монументальні будівлі, мости та інші споруди цивільного призначення   |

На основі вітчизняних та міжнародних нормативних документів [1...7], в яких розглядаються питання класифікації будинків і споруд за рівнем вимог якості, можна зробити такі висновки.

1. Терміни експлуатації будинків і споруд з виділенням класів або категорій уніфікуються в нових документах без дотримання спадкоємності з раніше прийнятими, що викликає певні ускладнення при плануванні експлуатації вже збудованих споруд.

2. Впровадження ДБН В.1.2-14-2008 [88] пов'язано з розробкою нормативно-правових актів і нормативних документів щодо визначення класів відповідальності та методики визначення обсягу можливого економічного збитку від відмови будівель і споруд. Доцільно розробити нормативний документ виду ДСТУ-Н з деталізацією правил і методів призначення термінів експлуатації несучих та огорожувальних конструкцій.

3. **Довговічність будівель і споруд розглядається як властивість технічного об'єкта зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонтів.** Для технічних **об'єктів** розрізняють показники довговічності, що характеризують довговічність за напрацюванням і за календарним часом служби. Показник, що характеризує довговічність за напрацюванням, називається ресурсом, а показник, що характеризує довговічність за календарним часом – терміном служби. Для будівельних конструкцій та будівельних об'єктів в цілому показник ресурсу часто співпадає з терміном служби (проте не завжди), що необхідно розрізняти при нормуванні.

4. Через те, що будівельна галузь належить до сфери техніки, доцільно в будівництві дотримуватися єдності з загальнотехнічною термінологією та посилатися на відповідні загальнотехнічні стандарти [91, 92], враховуючи при цьому специфіку будівництва.

### 1.5. Постановка завдання дослідження

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. В охоронній зоні кар'єрів на ділянках житлових кварталів на сьогодні вже проводяться спостереження не лише за будинками приватної забудови, але і за будинками соціально-культурного призначення (школи, центри дитячої творчості, дитячі садки, церкви та ін.), а також житловими будинками заввишки до 5 поверхів при впливі промислових вибухів. Дуже частими є такі порушення, як осипання побілки. Спостерігалися також порушення засклення вікон внаслідок перекосу віконних рам в будівлях, що мають відносно рухливі несучі стіни. Відомі випадки розшарування фундаментів від впливу вибухів.

Близькість санітарно-охоронних зон до міської межі вимагає адміністративних заходів обмеження сейсмічних впливів вибухів на будівлі і споруди в контрольованій зоні. До таких заходів належать встановлення граничних маси вибухових речовин і регулярності проведених вибухів. Тому цілком зрозумілий той широкий інтерес, який проявляється в останні роки місцевими органами влади Кривого Рогу, керівництвом гірничо-збагачувальних комбінатів, екологічними організаціями тощо до вивчення сейсмічного впливу промислових вибухів і якісного визначення ширини охоронних зон поблизу кар'єрів. Це необхідно для забезпечення сейсмобезпеки ведення вибухових робіт при поліпшенні їх техніко-економічних показників. Збільшення видобутку металовмісних руд вибуховим способом для металургійної промисловості обумовлено застосуванням цілого ряду нових технічних рішень. До них можна віднести суттєве збільшення маси заряду в цілому і в окремих блоках, а також застосування нових типів сповільнювачів.

До теперішнього часу немає науково обґрунтованих і застосовних в 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.

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. Для визначення величини відносної деформації або напруги в ґрунтах необхідно попередньо знати швидкість коливань.

Необхідні додаткові експериментальні і теоретичні дослідження для вдосконалення методики визначення ширини охоронних зон і величини масових вибухів на кар'єрах Кривого Рогу, а нормативний документ з проведення промислових вибухів ДСТУ 4704:2008 потребує корегування і вдосконалення [59].

## **РОЗДІЛ 2. СИСТЕМНА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНОГО ВРАХУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ**

### **2.1. Експериментальне обладнання для реєстрації динамічних впливів на будівлі та споруди.**

При вивченні динамічних навантажень на будівлі та споруди при дії різноманітних зовнішніх впливів штучного або природного походження практикою вироблені наступні методи дослідження:

- **теоретичні методи дослідження** об'єкта на основі проектних матеріалів по його конструктивному рішенню (при їх наявності) та матеріалів обстежень, що уточнюють технічний стан (ТС) об'єкта на момент проведення його досліджень. Цей метод застосовується навіть тоді, коли про об'єкт нічого не відомо крім обґрунтованих припущень;

- **експериментальні методи дослідження** дозволяють вивчити об'єкт як в цілому, так і його складові елементи на основі застосування апаратури для відповідних задач. Відповідно до поставлених задач проводиться підбір такої апаратури в кількісному та якісному плані для отримання достовірних даних про об'єкт на основі проведення багаторазових експериментів. Збір і достовірність

одержаних експериментальних даних досягається не тільки завдяки застосуванню апаратури при проведенні експериментальних досліджень, але й при періодичному її тестуванні (калібруванні) у відповідних Державних органах з сертифікації засобів вимірювання (ЗВ). Калібрування ЗВ в Державних органах з сертифікації засобів вимірювання проводяться з використанням еталонного та сертифікованого обладнання, що постійно знаходиться в будівлі органу з сертифікації ЗВ з дотриманням, відповідно, постійних температурного та вологостного режимів.

Результати проведеного калібрування всього вимірювального тракту або його елементів дозволяють користуватися ЗВ протягом 1 року на основі виданого сертифікату, в якому наведені параметри ЗВ, які були встановлені або підтверджені під час калібрування. Застосування сертифікованих ЗВ для виконання виробничих завдань зобов'язує персонал, який використовує дані засоби вимірювання (ЗВ), проводити додаткові контрольні тестування вимірювальної апаратури протягом дозволеного періоду їх використання. Такі тестування необхідно проводити для підтвердження незмінності наявних параметрів ЗВ згідно з наданим сертифікатом. Для цього проводяться один або декілька порівняльних випробувань з використанням всього складу віброметричної апаратури, що включає елементи реєстрації сигналів (датчики), вимірювальний модуль, елементи передачі сигналів та запису на електронний носій.

Зміна або відхилення наявних параметрів ЗВ може бути спричинена різними причинами. Ця апаратура є мобільною і використовується на об'єктах дослідження зазвичай після її транспортування, а також при різних температурних режимах повітря та вологості. В цьому випадку при накопиченні зазначених факторів для підтвердження наявних параметрів ЗВ проводяться додаткові порівняльні випробування переважно в лабораторних умовах. Інколи місця проведення порівняльних випробувань можуть бути наближені до реальних об'єктів.

При порівняльних випробуваннях використовується аналогічна сертифікована апаратура, за функціональним призначенням та параметрами ЗВ споріднена з заявленою. Організація порівняльних випробувань в лабораторних умовах є найбільш доступною. Експериментальний об'єкт дослідження вибирається і узгоджується обома сторонами.



Для одержання більшої інформативності та достовірності результатів експериментальний об'єкт дослідження вибирають таким чином, щоб була можливість забезпечити сталість його внутрішніх параметрів і змінювати лише його зовнішні параметри, наприклад обпирання, змінювати масу при довантаженні тощо. Це дає можливість при порівняльних випробуваннях провести дослідження вибраного об'єкта як у кількісному, так і в якісному плані, що збільшує достовірність одержаних результатів при додатковому тестуванні засобів вимірювання зацікавлених сторін.

Експериментальні дослідження як елемент включають також проведення робіт з визначення технічного стану досліджуваного об'єкта. При проведенні таких робіт важливим фактором для отримання даних є дослідження з застосуванням інструментальних засобів вимірювання (ЗВ) та безпосередньо візуальні обстеження з елементами фотофіксації. При оцінці технічного стану досліджуваного об'єкта використовуються сертифіковані інструментальні ЗВ, калібрування яких проводиться з відповідною періодичністю.

**- поєднання експериментальних та теоретичних методів дослідження** дозволяє комплексно і найбільш повно провести вивчення об'єкта дослідження.

В даній науковій роботі проводиться вивчення динамічних (сейсмічних) навантажень на ґрунт та досліджувані будівлі при проведенні вибухів у відкритих залізородних кар'єрах м. Кривий Ріг з метою розробки корисних копалин для металургійної промисловості. Сейсмічні навантаження при вибухах як фактор впливу оцінюються для будівельних об'єктів, що знаходяться на границі санітарно-охоронної зони кар'єрів.

Визначення сейсмічних навантажень на прилеглий до будівель ґрунт проводиться за допомогою експериментальних досліджень з застосуванням віброметричної апаратури. Віброметрична апаратура з моменту початку виконання віброметричних обстежень об'єктів на границі санітарно-охоронної зони кар'єрів м. Кривий Ріг змінювалась (удосконалювалась). В цьому плані потрібно зазначити найголовніші відмінності комплектів віброметричної апаратури, що застосовувались. Але незалежно від засобів отримання даних при віброметричних обстеженнях одних і тих же об'єктів в різний період, їх результати повинні

узгоджуватись між собою, а їх зміна з плином часу повинна мати відповідну закономірність. Важливим фактором для отримання достовірних даних при віброметричних обстеженнях є повірка (калібрування) апаратури у відповідних органах сертифікації. Це важливе питання буде розглянуте в розділі 2.2.

Тепер дамо коротку характеристику віброметричній апаратурі за її видами. Використовувана віброметрична апаратура відрізнялася за своєю комплектністю, видом та формою передачі сигналів, їх запису та збереженням на носій у відповідному форматі, обробкою сигналів на ПК або ноутбуці з відповідним програмним забезпеченням (ПЗ).

На початковому етапі робіт з інструментального обстеження реєстрація параметрів коливань ґрунту та будівель здійснювалась з застосуванням вібровимірювальної апаратури, в якій застосовувався **дротовий зв'язок** для передачі сигналів на записуючий пристрій (див. рис. 2.1).

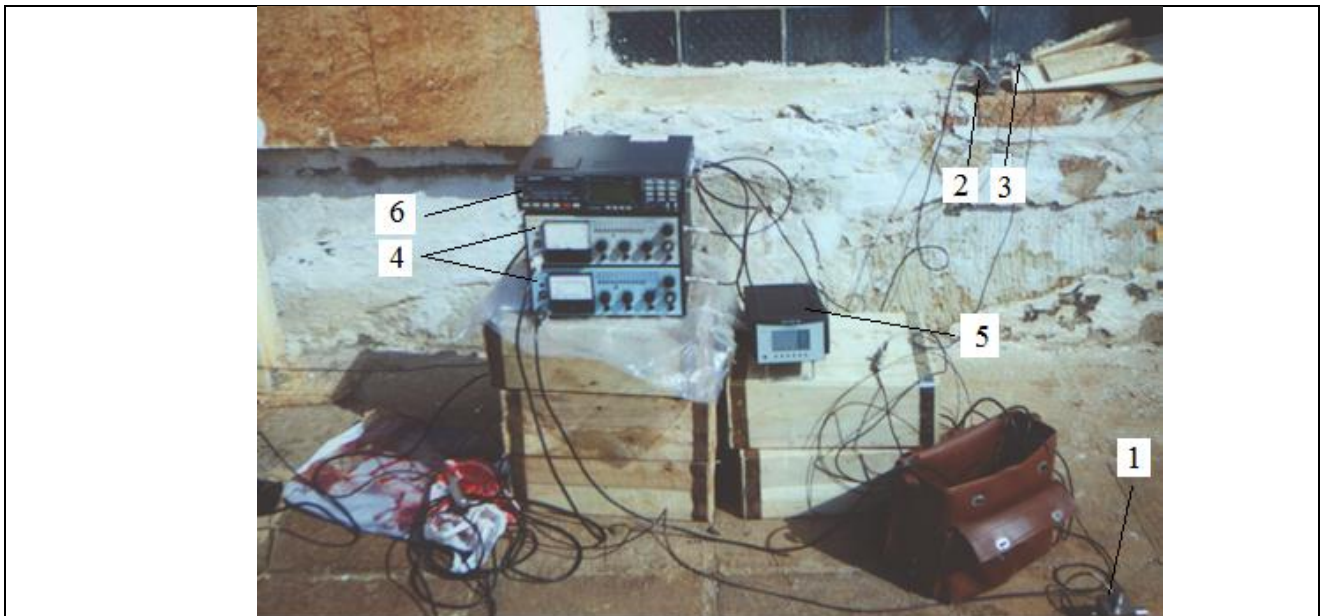


Рис. 2.1 – Загальний вигляд віброметричної апаратури при проведенні досліджень об'єктів на межі санітарно-охоронної зони кар'єра НК ГЗК. Позначення: 1 – однокомпонентний датчик ДН 3-М1, 2 - сейсмоприймач СМ-3, 3 - трьохкомпонентний датчик (акселерометр) 4321 фірми «Brüel & Kjær» (Данія), 4 – вимірювач шуму та вібрації ВШВ-003-М2, 5 – чотирьохканальний підсилювач сигналів «NEXUS» фірми «Brüel & Kjær» (Данія), 6 – восьмиканальний цифровий касетний магнітофон PC208Ax фірми «SONY».

На рис. 2.1 представлена вібровимірювальна апаратура, що застосовувалась для обстеження об'єктів при вибухах в кар'єрах м. Кривий Ріг в 2005 – 2009 рр.

За типом датчики ДН 3-М1 [93] та 4321 [94] є п'єзоелектричними. Електричні сигнали, які видають датчики, пропорційні віброприскоренню. Датчики ДН 3-М1 за допомогою вимірювача шуму та вібрації ВШВ-003-М2 [95] дозволяють реєструвати віброприскорення або віброшвидкість в вертикальному напрямку. Трьохкомпонентний датчик 4321 застосовується тільки для вимірювання віброприскорень. Електричні сигнали, що видаються датчиком 4321, підсилюються за допомогою підсилювача сигналів «NEXUS».

Сейсмоприймач СМ – 3 [96] за типом є електромеханічним. Датчик виробляє електричний сигнал, пропорційний віброшвидкості. Коефіцієнт чутливості сейсмоприймача складає 15 В/м/с [96]. При незмінності положення корпусу датчика площину коливань маятника можна змінювати на 90°, що дозволяє проводити вимірювання віброшвидкості в вертикальному або в горизонтальному напрямках. Вібросигнали від датчиків записуються на цифровий багатоканальний касетний магнітофон PC208Ax фірми «SONY» у файл з розширенням \*.txt. Все обладнання для проведення віброметричних обстежень, яке згадується вище, повірене в УкрЦСМ (м. Київ), про що свідчать відповідні свідоцтва.

Обробку текстових файлів сигналів коливань об'єктів дослідження здійснювали на ноутбучі Dolch з відповідним ліцензійним програмним забезпеченням (ПЗ) - пакетом «PULCE» фірми «Brüel & Kjaer» (Данія) [97]. ПЗ «PULCE» для обробки вібраційних сигналів дозволяє візуалізувати сигнали, одержати їх амплітудні спектри, функції спектральної щільності, побудувати функції когерентності тощо. Для прикладу, нижче на рис. 2.2 надано графік сигналу віброприскорення коливань ґрунту та його амплітудний спектр, які відтворені за допомогою пакета «PULCE».

В подальшому, після придбання в 2009 р. нової бездротової багатоканальної вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» [98], її почали використовувати для віброметричних обстежень об'єктів, які підлягають впливу вибухів в кар'єрах Кривого Рогу. Опис вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг», можливості

запису, візуалізації, обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень буде наведено нижче в п. 2.2.

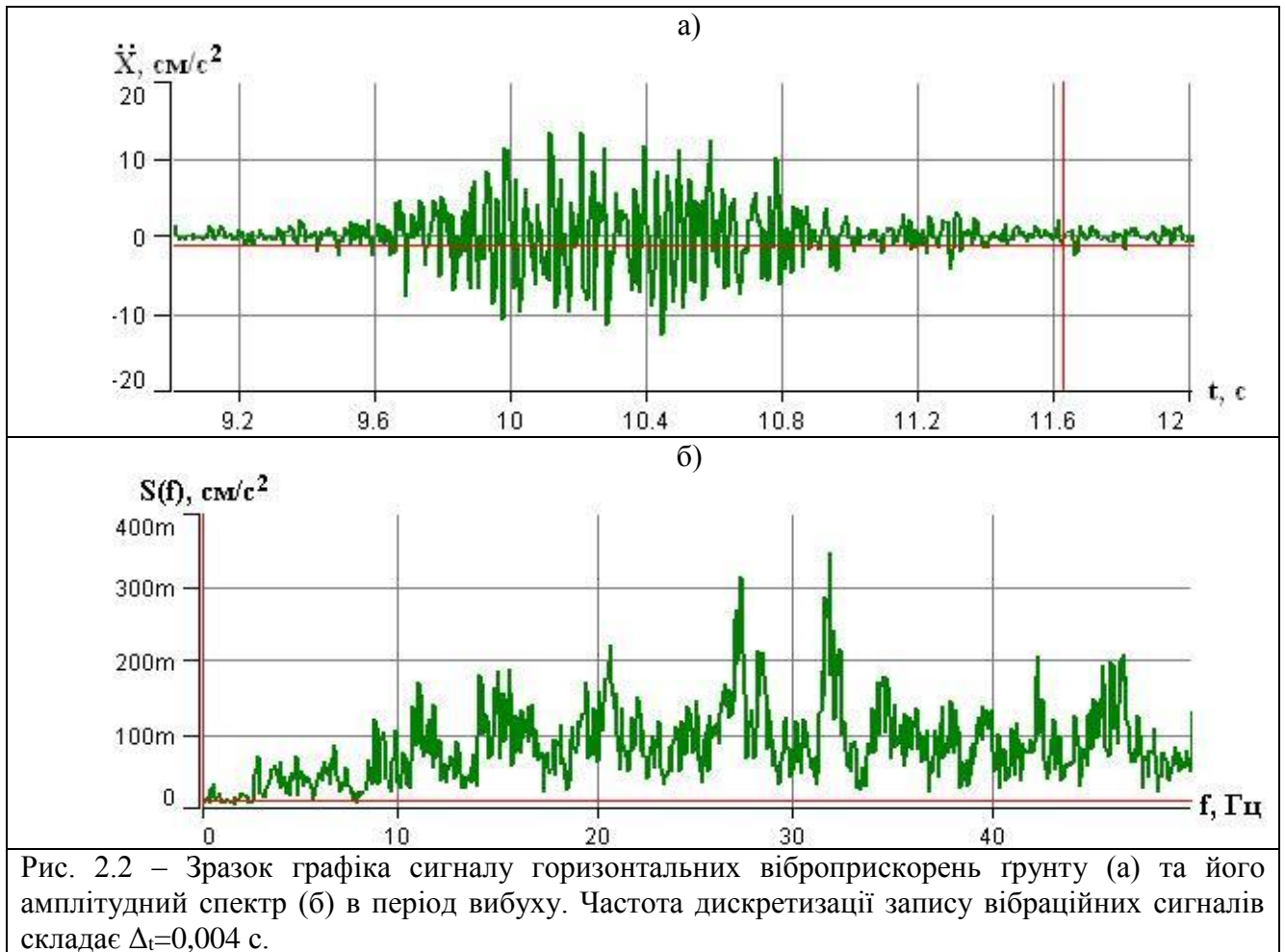


Рис. 2.2 – Зразок графіка сигналу горизонтальних віброприскорень ґрунту (а) та його амплітудний спектр (б) в період вибуху. Частота дискретизації запису вібраційних сигналів складає  $\Delta t=0,004$  с.

Слід зауважити, що в якості допоміжного засобу для додаткової інтерпретації одержаних даних експериментальних досліджень та їх аналізу застосовувався розрахунковий програмний комплекс «ЛІРА - САІР» [102, 133]. Таку можливість надає базова система комплексу - «ЛІР - ВІЗОР» коплкусу. Результати обробки та аналізу проведених досліджень, одержані за допомогою «ЛІР - ВІЗОР», будуть представлені в розділі 4.

Визначення реакції будівельних об'єктів на динамічні (сейсмічні) навантаження поєднує як експериментальні методи дослідження, так і теоретичні.

Предметом експериментальних досліджень є визначення рівня динамічних навантажень на будівлю та прилеглий ґрунт в період проведення масових вибухів. Крім того, ми маємо можливість визначити динамічні характеристики будівель і проаналізувати їх зміну в різний період часу, що відповідає періодичності

обстежень. В цьому питанні ми опираємось на значний об'єм багаторічних досліджень і наявні результати для окремих будинків, розміщених на границі санітарно-охоронної зони кар'єрів.

Предметом теоретичних досліджень є визначення внутрішніх зусиль в несучих конструкціях однієї або двох досліджуваних будівель при дії сейсмічних навантажень як фактору циклічного впливу на досліджуваний об'єкт. Теоретичні розрахунки проводяться з застосуванням розрахункового програмного комплексу «ЛІРА» та її версії «ЛІРА - САПР». Короткий опис розрахункового комплексу «ЛІРА - САПР» буде наведено нижче.

Результати розрахунків внутрішніх зусиль досліджуваної будівлі є основою для оцінки її довговічності (залишкового ресурсу) відповідно до існуючої методології її (його) визначення.

Таким чином, поєднання експериментального та теоретичного методів дослідження визначених об'єктів на межі санітарно-охоронної зони кар'єрів (грунту та будівель) повною мірою відповідає потребам дослідження. Це дає можливість поглибити знання про досліджуваний об'єкт, одержати в різний спосіб необхідні дані для оцінки його поведінки у відповідь на існуючий фактор впливу, провести їх аналіз та спрогнозувати його стан в майбутньому.

## **2.2. Багатоканальна вимірювальна система «Сейсмомоніторинг»**

Багатоканальна вимірювальна система «Сейсмомоніторинг» розроблена Науково-технічним центром «Діагностика технологічного обладнання АЕС» (НТЦ «ДІАТОС») при Національному технічному університеті України «КПІ». Система «Сейсмомоніторинг» призначена для запису, збереження та обробки вібраційних сигналів при проведенні інструментальних обстежень будівель, споруд та їх конструктивних елементів (будівельних конструкцій). Результатом вібраційних вимірювань об'єктів є представлення вимірюваних параметрів у вигляді таблиць, протоколів, графіків. Файли вібраційних сигналів зберігаються в спеціальній папці даних Database з відповідним ім'ям, що характеризує об'єкт. Повна реалізація можливостей при обробці файлів результатів з відповідним розширенням \*.GDB

здійснюється лише програмою «Сейсмомоніторинг». За необхідності файли вібраційних сигналів можна експортувати в Microsoft Excel для їх обробки іншими аналогічними програмами. Вимірювальна система пристосована для проведення її модернізації як за компонентами, так і для вдосконалення ПЗ.

ДП НДІБК на замовлення відділу автоматизації досліджень будівель і споруд придбав дану багатоканальну вимірювальну систему в 2009 р. для виконання виробничих завдань. З цього періоду почалась експлуатація даної системи для виконання науково-дослідних робіт інституту. Першими об'єктами в 2009 р., що досліджувалися за допомогою системи «Сейсмомоніторинг», були об'єкти «Укриття» ЧАЕС. За період експлуатації системи (11 років) вона була модернізована двічі. Безвідмовна робота системи гарантована її надійністю.

Загальний вигляд автономної бездротової багатоканальної вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» представлений рис. 2.3



Рис. 2.3 – Загальний вигляд багатоканальної системи «Сейсмомоніторинг». Позначення: 1 – однокомпонентні датчики віброприскорень (акселерометри) моделі 731А, 2 – модуль вимірювання низькочастотної вібрації (МВНВ), 3 - ноутбук

Складові елементи модуля низькочастотної вібрації МВНВ є наступними:

- модуль вимірювання,
- маршрутизатор,
- акумуляторна батарея,
- роз'єми зовнішні 2-х типів – DJ-45 та SR-50.

Зовнішній вигляд складових елементів МВНВ представлений на рис.2.4.

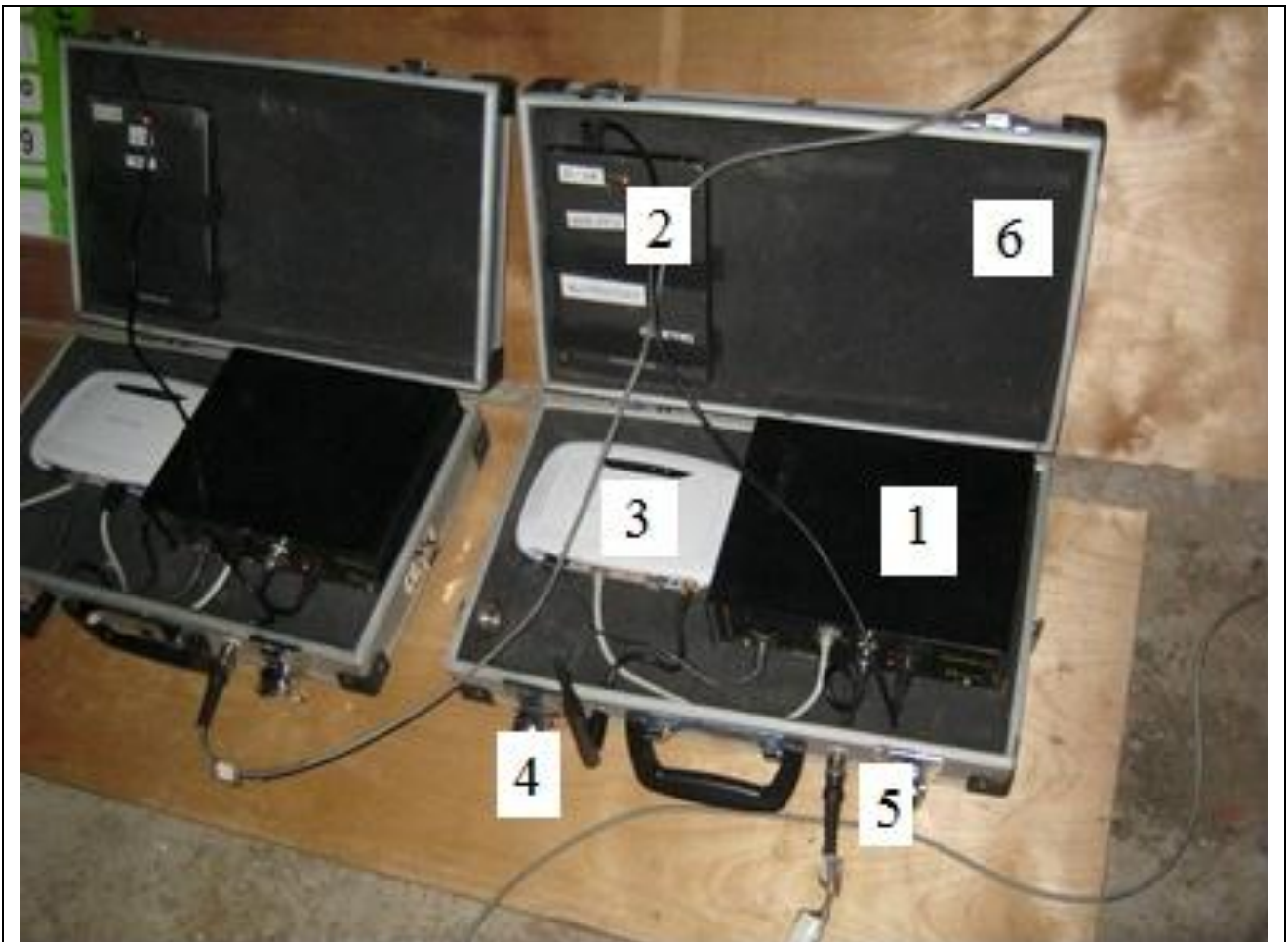


Рис. 2.4 – Загальний вигляд складових елементів МВНВ. Позначення: 1 – модуль вимірювання, 2 – акумуляторна батарея, 3 – маршрутизатор (роутер), 4 – антена, 5 – роз'єм SR-50 для під'єднання датчика моделі 731A, 6 – корпус.

Число реєстраційних каналів в вимірювальній системі «Сейсмомоніторинг» може різнитись в залежності від об'єму і складності виконуваних задач. Тому вона розробляється і виготовляється на індивідуальне замовлення, а це в свою чергу диктує запит на придбання відповідних комплектуючих – число датчиків для реєстрації, роздільну здатність аналого-цифрового перетворювача (АЦП), елементи забезпечення передачі сигналів по WI-FI, розробку відповідного програмного забезпечення (ПЗ) «Сейсмомоніторинг». Найбільш розповсюдженим

варіантом комплектації вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» є 8- та 32-канальна вимірювальна система.

Програмне забезпечення вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» являє собою окремий додаток з реалізацією основних базових функцій, який може доповнюватись і вдосконалюватись індивідуально на замовлення користувача.

ДП НДІБК для виконання віброметричних обстежень придбав 8-канальну вимірювальну систему «Сейсмомоніторинг». На рис. 2.3 та 2.4 представлені тільки два модуля МВНВ з можливих восьми. Число каналів для реєстрації вібросигналів у вимірювальній системі залишається незмінним, число задіяних каналів може бути меншим за їх загальну кількість. Після візуального ознайомлення з вимірювальною системою «Сейсмомоніторинг» за рис. 2.3 та 2.4 дамо коротку характеристику компонентам цієї системи:

*Датчик віброприскорення (акселерометр) моделі 731А* фірми «Wilcoxon» (США) належить за типом до п'єзоелектричних датчиків. Для своєї роботи потребує зовнішнього живлення від джерела постійного струму з напругою 12 В. В таблиці 2.1 наведена технічна характеристика датчика моделі 731А з опису, який розміщений в Інтернеті на сайті фірми-виробника [101].

Коефіцієнт перетворення (sensitivity) датчика (sensory) складає  $1020 \text{ мВ/м/с}^2$  ( $10 \text{ V/g}$ ). Відхилення його значення від норми складає  $\pm 10\%$ . Стабільне значення цього коефіцієнта для датчика в межах допустимих границь є запорукою достовірності одержуваних даних. Тому датчик підлягає постійному контролю і періодичному калібруванню в державних органах сертифікації, про що буде зазначено в п. 2.3. Датчик з'єднаний з модулем вимірювання екранованим кабелем для зменшення наявних перешкод сигналу. Датчик видає аналоговий сигнал. Маса датчика складає 700 г. Датчик є однокомпонентним, але може бути орієнтованим за трьома осями – X, Y або Z. В датчику є осьове циліндричне заглиблення з різьбою для надійного кріплення до об'єкта (за необхідності).



Таблиця 2.1

Технічна характеристика датчика віброприскорення (акселерометра) моделі 731А фірми «Wilcoxon» (див. в складі інших датчиків)



| Wilcoxon model                          | 731A/P31  | 735T   | 731-207                                    | 799M                                     |
|---|---|--|--|--|
| <b>Description</b>                      | Ultra quiet, ultra low frequency accelerometer/power amplifier system | Ultra quiet, ultra low frequency accelerometer with temperature sensor | Compact, ultra low frequency accelerometer | High sensitivity, filtered accelerometer |
| <b>Sensitivity</b>                      | 10 V/g  | 10 V/g   | 10 V/g                                     | 1 V/g                                    |
| <b>Sensitivity tolerance</b>            | ± 10%   | ± 10%  | ± 10%                                      | ± 5%                                     |
| <b>Frequency response</b><br>± 3 dB, Hz | 0.05 - 450  | 0.01 - 350   | 0.2 - 1,300                                | 0.2 - 2,500                              |
| <b>Resonance frequency</b>              | 750 Hz  | 700 Hz   | 2.4 kHz                                    | 18 kHz                                   |
| <b>Electrical noise</b><br>100 Hz       | 0.004 µg/√Hz  | 3.5 ng/√Hz   | 0.03 µg/√Hz                                | 1 µg/√Hz                                 |
| <b>Max temperature</b>                  | 65° C   | 65° C  | 70° C                                      | 80° C                                    |
| <b>Temperature response</b>             | -10° C: -12%<br>+65° C: +5%   | -10° C: -20%<br>+65° C: +50%   | 0° C: -14%<br>+70° C: +14%                 | -50° C: -7%<br>+80° C: +5%               |
| <b>Bias output voltage</b>              | 9 VDC   | 8 VDC  | 10 VDC                                     | 8 VDC                                    |
| <b>Grounding</b>                        | case isolated   | case isolated  | case grounded                              | case isolated                            |
| <b>Mounting</b>                         | 3/8-16 tapped hole  | M6x1 tapped hole   | 10-32 tapped hole                          | 1/4-28 tapped hole                       |
| <b>Output connector</b>                 | 2-pin MIL-C-5015  | 4-pin M12  | 10-32 coaxial                              | 2-pin MIL-C-5015                         |

Модуль вимірювання проводить перетворення аналогового сигналу від датчика в цифровий сигнал за допомогою плати АЦП (аналогово-цифрового перетворювача). Кількість в плат в модулі вимірювання – одна. Відповідно, одна плата АЦП забезпечую роботу одного вимірювального каналу системи. Основними елементами модуля вимірювання є:

- плата АЦП,
- підсилювач сигналів,
- роз'єм для під'єднання кабелю забезпечення живленням плати від акумуляторної батареї,
- блок живлення датчика 731А та маршрутизатора,

- 2 вихідні роз'єми – DJ-45 та SR-50,
- з'єднувальний кабель (вита пара) до маршрутизатора з роз'ємами DJ-45,
- з'єднувальний кабель датчика 731A з роз'ємом SR-50.

Роздільна здатність АЦП підбирається в залежності від кількості задіяних каналів. В представленому варіанті восьмиканальної вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» застосована плата АЦП 24-bit Sigma-Delta. Розрядність АЦП складає . Час дискретизації АЦП складає 0,004 с для вимірювання коливань в діапазоні до 100 Гц. При запису вібраційних сигналів час дискретизації може бути змінено програмно до 0,008 с в діапазоні до 50 Гц або 0,016 с в діапазоні до 25 Гц.

Модуль вимірювання забезпечується живленням від джерела постійного струму. Вхідна напруга на вимірювальний модуль складає 12 В, 16 В або 19 В. Передача даних з модуля вимірювання на маршрутизатор (роутер) здійснюється за допомогою Ethernet-кабелю. Кожний реєструючий модуль МВНВ прописаний в програмному забезпеченні з присвоєнням відповідної індивідуальної ІР-адреси для його розпізнавання. Для спрощення зовнішнього розпізнавання МВНВ присвоєно індивідуальний номер в порядку зростання від 1 до 8.

Підсилення сигналів при візуалізації сигналів на екрані монітора здійснюється програмно і забезпечує підсилення з коефіцієнтом  $k=1, 2, 4, 8, 16, 32$ .

Кожний МВНВ має власний маршрутизатор (роутер), що живиться від джерела постійного струму напругою 9 В від модуля вимірювання або за допомогою зарядного пристрою з вихідною/вхідною напругою 9 В/220 В. Маршрутизатор кожного МВНВ розпізнає тільки своє оточення за допомогою зовнішньої антени. В вимірювальній системі «Сейсмомоніторинг» задіяна лінійна схема зв'язку між МВНВ (роутерами) згідно з наведеною схемою на рис. 2.5. Зв'язок між МВНВ організовується насамперед за допомогою WI-FI. Радіосигнал передається в ефір зовнішньою антеною. За необхідності зв'язок між роутерами сусідніх МВНВ може здійснюватися по Ethernet-кабелю відповідної довжини.

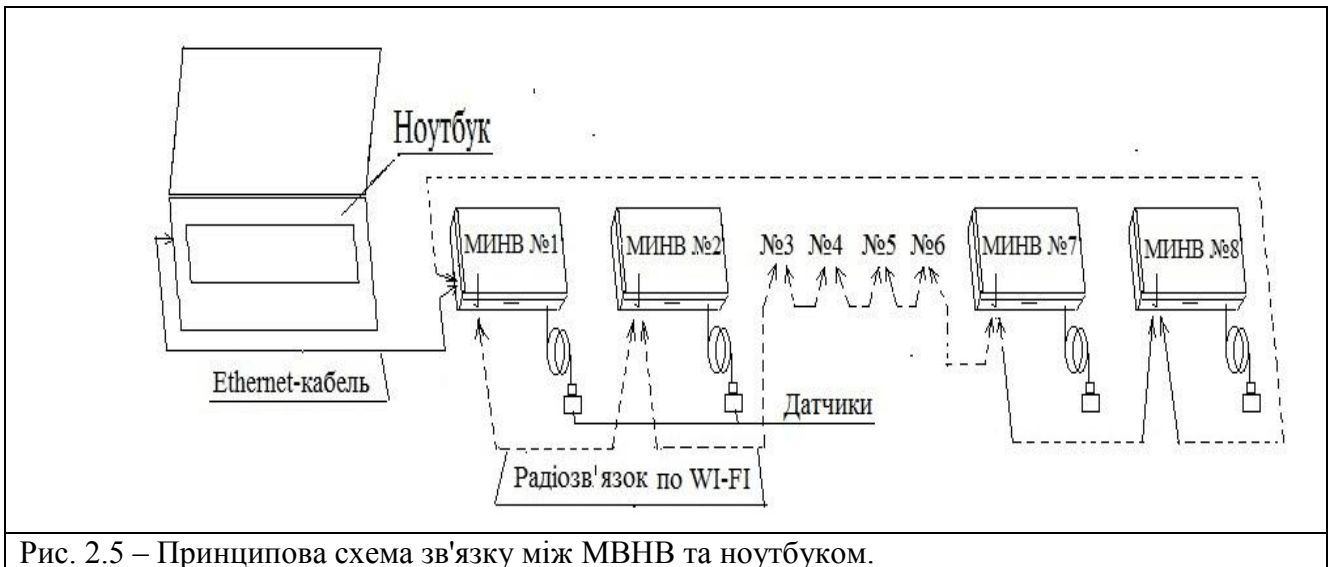


Рис. 2.5 – Принципова схема зв'язку між МВНВ та ноутбуком.

На схемі представлений зв'язок між всіма вісьмома МВНВ, що відповідає восьми каналам реєстрації сигналів. МВНВ №1 в цьому випадку виконує роль станції, всі інші МВНВ є передавачами сигналів даних. Зв'язок між роутером МВНВ №1 та ноутбуком здійснюється за допомогою Ethernet-кабелю. Передбачений також зв'язок між ноутбуком та МВНВ №1 -станцією за допомогою WI-FI. Але при цьому енергозабезпечення системи «Сейсмомоніторинг» суттєво зменшується.

При підключенні ноутбука до МВНВ №1 число задіяних каналів може складати від 2-х до 8-ми. За необхідності число підключених каналів (МВНВ) при роботі виміральної системи «Сейсмомоніторинг» може бути менше 8. Це може бути пов'язано з об'ємами виконання робіт, справністю МВНВ або непередбачуваними відмовами у роботі датчика, неможливістю забезпечення їх джерелом живлення при роботі в автономному режимі тощо. При підключенні ноутбука, наприклад, до МВНВ №3 розпізнавання інших МВНВ може бути тільки за схемою на рис. 2.4. В кількісному плані число задіяних каналів може складати від 2-х до 6-и. Відстань між сусідніми МВНВ на відкритій місцевості може складати до 90 м і визначається потужністю роутера. При наявності перешкод у вигляді бетонних або цегляних стін, перекриттів, прийом та передача сигналів радіозв'язку може бути утруднена. В цьому випадку відстань по прямій між МВНВ має бути скорочена або організований зв'язок по кабелю.

Кожний МВНВ укомплектовується однією Li-Ion акумуляторною батареєю моделі MP 16000 mAh з вихідною напругою 12 В, 16 В або 19 В. Зарядний пристрій забезпечує її відновлення до 1000 разів від джерела змінного струму 220 В.

Всі названі компоненти вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг» розміщуються в алюмінієвому кейсі розміром 40x25x10 см. Загальна маса укомплектованого кейса складає 1,5 кг. Незначний час на розгортання компонентів одного МВНВ системи до робочого стану (2-3 хв), невелика маса його і всієї системи загалом, широкий діапазон робочих температур надають системі універсальності, мобільності та надійності в процесі виконання віброметричних обстежень будівель та споруд.

Програмне забезпечення (ПЗ) системи «Сейсмомоніторинг» для ноутбука розроблено також НТЦ «ДІАТОС». Програмне забезпечення є невід'ємною частиною вимірювальної системи «Сейсмомоніторинг». ПЗ описує компоненти, які входять або можуть бути застосовані за бажанням Замовника. Це стосується різних типів датчиків та їх призначення.

### **2.3. Програмне забезпечення. Програма «Сейсмомоніторинг».**

Програмне забезпечення системи «Сейсмомоніторинг» розроблено для операційних систем Windows XP/7/8/10. Головне вікно при завантаженні програми представлено на рис. 2.6.

Дане вікно вказує на об'єкт і дату віброметричних обстежень, види обстежень у відповідності до номеру експерименту (прописується в коментарях), забезпечує даними про кількість датчиків та номери задіяних каналів, коефіцієнт чутливості датчика (розмірність мВ/(м/с<sup>2</sup>), тип датчика для кожного задіяного каналу, IP-адреса для кожного каналу.

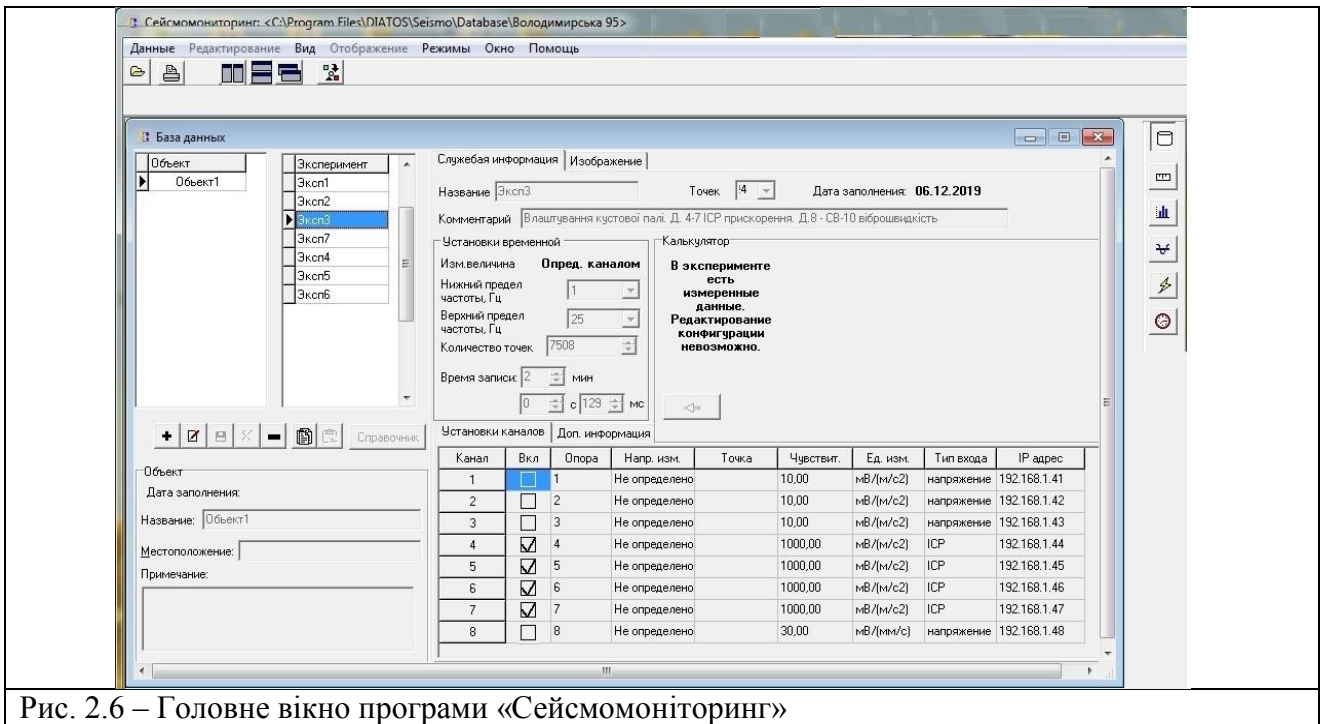
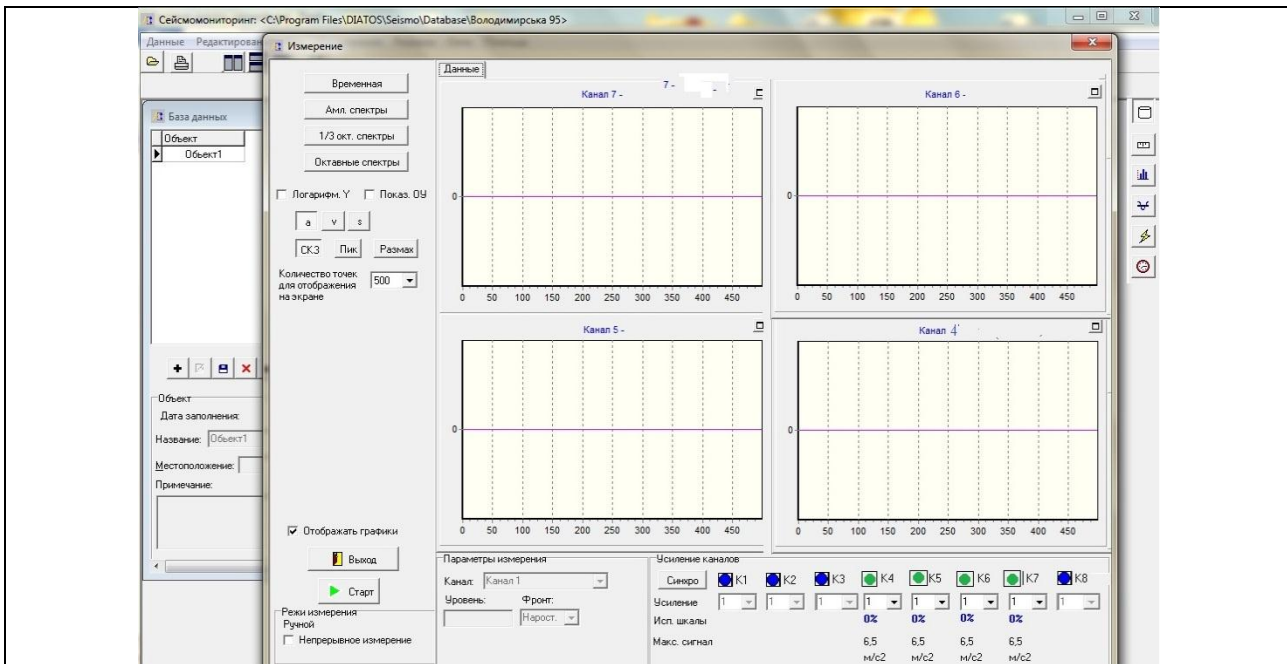


Рис. 2.6 – Головне вікно програми «Сейсмомоніторинг»

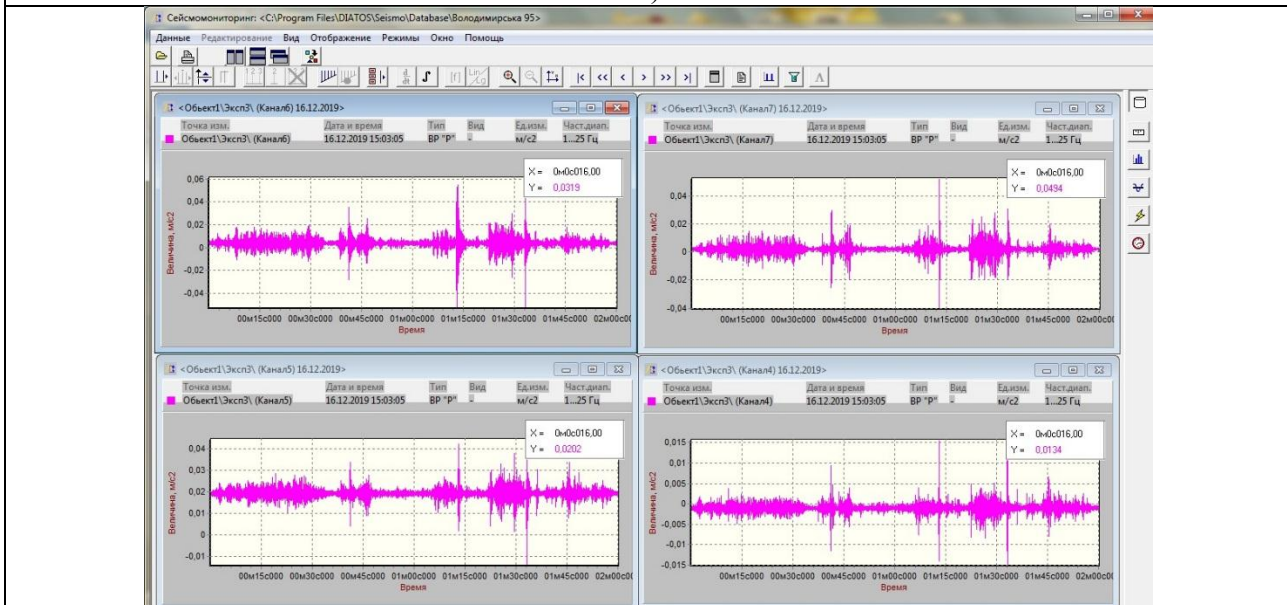
Обов'язковими для заповнення є пункти обмеження нижньої та верхньої границі частотного діапазону. Час запису (хв, с та мс) задається шляхом натискання на стрілку прокрутки у відповідних позиціях. Для задач віброметричного обстеження об'єктів в польових умовах цей час складає 2-3 хв. Відповідно до заданого проміжку часу автоматично встановлюється число точок (кількість значень параметру) при реєстрації сигналу, яке записується у відповідному вікні. АЦП автоматично визначає час дискретизації (0,016, 0,008 або 0.004 с) в залежності від встановленого частотного діапазону.

На рис. 2.7 показано: вікно для проведення записів коливань об'єкта (а) та візуалізація записів часових сигналів для їх аналізу (б).

Дане вікно (рис. 2.7а) представляє поля задіяних каналів, в яких візуалізуються записи параметрів коливань об'єкта. Кожне поле для запису має підпис у відповідності до номеру задіяного каналу. Кількість точок, що відображається в полі кожного каналу, складає 500. Положення точки відносно нульової лінії відповідає значенню вимірювального параметру. Значення розмітки осі ординат в полі запису кожного вікна з'являється в момент реєстрації сигналу.



а)



б)

Рис. 2.7 – Рабочее окно программы «Сейсмомониторинг» при проведенні запису параметрів коливань об'єкта (а) та вікно з записами сигналів коливань об'єкта для їх аналізу (б)

Робочі канали ідентифікуються кругом зеленого кольору, в іншому випадку – кругом синього кольору. Значення вимірювального параметру визначається за ординатою, яка може мати метричну ( $\text{м/с}^2$  або  $\text{м/с}$ ) або логарифмічну шкалу (дБ) за вибором. Перехід від однієї шкали до іншої здійснюється шляхом встановлення галочки у відповідному полі меню. За замовчуванням розмірність по осі ординат відповідає значенню параметра в метричній шкалі. При проведенні запису сигналів вимірювального параметра в режимі реального часу програма надає можливість їх експрес-аналізу за амплітудним спектром, третинооктавним та октавним

спектрами тільки для ділянки в 500 поточних значень. Запис сигналів в кожному полі задіяних каналів проводиться синхронно в часі. Клавiші управління програмою в даному вікні знаходяться в нижній області вікна. Масштаб представлення сигналу в полі запису для кращої візуалізації здійснюється шляхом збільшення коефіцієнта  $k=1$  на значення 2,...,32.

Графічне представлення записаних сигналів та їх аналіз здійснюються за встановленою датою та часом у вікні (для прикладу не приводиться), що відкривається шляхом подвійного натискання на номер вибраного експерименту головного вікна (див. рис. 2.6). Вид вікна з записами сигналів представлений на рис. 2.7 б. Для побудови графіків використовується шкала розмірності метрична та логарифмічна. Меню даного вікна пропонує наступні види аналізу часового сигналу, записаного протягом визначеного часу: *графік часового сигналу, графік амплітудного спектру сигналу, графік третинооктавного спектру сигналу, графік октавного спектру сигналу, графіки функції кореляції сигналів та когерентності*. Аналіз сигналів названих видів здійснюється в новому вікні, що відкривається після вказівки на його вид. Їх відкриття аналогічне відкриттю графічному представленню часового сигналу (див. вище).

В верхній області вікна розміщене меню для проведення аналізу. Середню область вікна займають поля з графіками сигналів. Активування вибраного поля з записом сигналу для виконання окремих функцій здійснюється за допомогою курсора. Вибрану область представленого графіка за допомогою курсора можна масштабувати, визначити значення координат на графіку в будь-якій точці і показати їх значення. В даному вікні можна провести аналіз заданої ділянки графіка часового сигналу. Графічне зображення графіків заданого параметру представляється в формі 2D. В окремих випадках графіки можна представити в формі 3D.

Графіки амплітудного спектра, наприклад віброприскорення, можна інтегрувати або диференціювати, одержавши при цьому новий параметр, що характеризує об'єкт.

## 2.4. Пакет ЛПРА та реалізація прямого динамічного розрахунку на дію реальних акселерограм

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

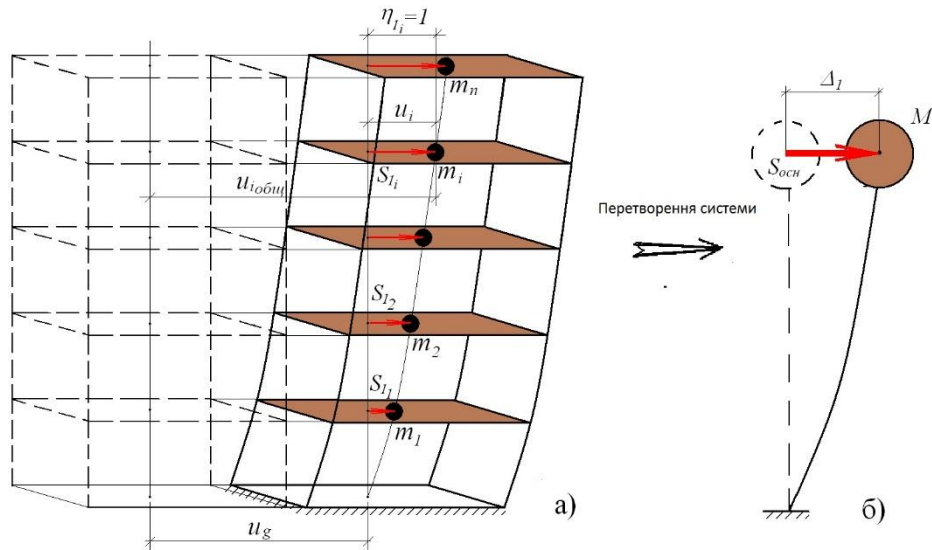


Рис. 2.8 –Схема багатоповірхової будівлі, представлена як багатомасова система, (а) та її спрощений аналог – одномасова система (б) підданої сейсмічному впливу, у відносних координатах має вигляд:

$$Mu(t) + Cu(t) + Ku(t) = -M\{1\}u_g(t), \quad (2.1)$$

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;  $-M\{1\}\ddot{u}_g(t) = P(t)$  - 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:

$$M_n \ddot{Y}_n + C_n \dot{Y}_n + K_n Y_n = P_n(t), \quad (2.2)$$

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



$$M_n = \varphi_n^T M \varphi_n; \quad C_n = \varphi_n^T C \varphi_n = 2\xi_n \omega_n M_n; \quad K_n = \varphi_n^T K \varphi_n = \omega_n^2 M_n; \quad (2.3)$$

$\varphi_n, Y_n$  – 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:

$$R < S \quad \text{або} \quad R - S < 0 \quad (2.4)$$

Область допустимого ризику  $m$  визначається з умови:

$$m = R - S. \quad (2.5)$$

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:

$$risk = F(u) = 0.5 \pm 0.5 \cdot \varphi\left(\frac{\bar{R} - \bar{S}}{\delta_m}\right). \quad (2.6)$$

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

МСЕ є найбільш алгоритмічним та гнучким при описі геометрії і граничних умов для широкого кола задач. До вагомих переваг даного методу можна віднести: простоту одержання результатів; можливість згущення сітки скінченних елементів у місцях, де нас найбільше цікавить характер зміни напружено-деформованого стану масиву; можливість реалізації будь-якої послідовності завантаження при довільних характеристиках ґрунту [102].

На сьогоднішній день відомо багато прикладів використання МСЕ для розв'язання різних задач динаміки лінійних, площинних та просторових конструкцій. [102, 133].

Для чисельного розв'язання задачі моделювання сейсмічних впливів у розрахункових моделях досліджуваних об'єктів був використаний ПК «ЛІРА» 9.6. Вибір обумовлюється тим, що МСЕ, реалізований у програмному комплексі «ЛІРА», спрямований на вирішення багатьох прикладних задач.

Програмний комплекс «ЛІРА» (ПК «ЛІРА») — це багатофункціональний програмний комплекс для розрахунку, дослідження та проектування конструкцій різного призначення, знаходиться весь час в розвитку та використовує найсучасніші наукові дослідження і реалізує їх в практиці розрахунку та проектуванні конструкцій, будівель і споруд [102].

ЛІРА-ВІЗОР — графічне середовище, яке має в своєму розпорядженні великий набір можливостей та функцій:

- для формування комп'ютерних моделей об'єктів на основі бібліотеки скінчених елементів, що підлягають обчисленню;
- для докладного візуального аналізу та корекції створених моделей;
- для завдання фізико-механічних властивостей матеріалів, зв'язків,

різноманітних навантажень, характеристик різних динамічних впливів, а також взаємозв'язків між завантаженнями при обчисленні їх найбільш небезпечних поєднань.

Розрахунок сформованих завдань проводить розрахунковий процесор, який на початковому етапі розрахунку проведе діагностику правильності сформованого завдання. Розрізняють два види процесора: лінійний та кроковий. Лінійний процесор використовують для розв'язку задач в лінійній постановці, кроковий для розв'язку нелінійних задач.

Можливості графічного середовища ЛІР-ВІЗОР дозволяють проводити аналіз виконаних розрахунків і їх відображення для оцінки напружено-деформованого стану об'єкта.

ЛІР-ВІЗОР після проведення розрахунків пов'язаний з іншими системами розрахунку для розрахунку окремих параметрів об'єкта (армування елементів, їх стійкість, проводити оцінку напружень за різними теоріями міцності та інш.).

МСЕ є теоретичною основою ПК «ЛІРА». Застосування МСЕ використовує принцип можливих переміщень

$$a(u, v) = (f, v), \quad (2.4)$$

де:  $u$  — шукане точне рішення;  $v$  — будь-яке можливе переміщення;  $a(u, v)$ ,  $(f, v)$  — можливі роботи зовнішніх та внутрішніх сил.

Комплекс ЛІРА дозволяє проводити прямий динамічний розрахунок на дію реальних акселерограмами. Це дозволяє проводити додаткові розрахунки об'єктів в поєднанні розрахунками за першим та другим граничними станами та співставляти одержані результати внутрішніх зусиль в елементах об'єкта з метою підбору перерізу, армування та іпш. Акселерограми задаються в опції «навантаження» і дозволяють одержати динамічні характеристики об'єкта при його коливаннях: перміщення, сейсмічні навантаження в кожному вузлі об'єкта, періоди та частоту по кожній з заданих форм коливань.

Акселерограми записуються безпосередньо в зоні розміщення об'єкта спеціальною віброзаписуючою апаратурою в тестовому форматі для можливості вводу їх в ПК ЛІРА. Найзручніше задавати акселерограму у вигляді файлу з

розширенням \*.txt, задається кількість точок, крок дискретизації, масштабний коефіцієнт для приведення значень акселерограм в долях  $g$

Реалізований у ПК «Ліра» метод вирішення динамічної задачі полягає у поєднанні МСЕ з розкладенням за формою власних коливань.

Формування навантажень в розрахунковій схемі на початковій стадії не має відмінностей в порівнянні з статичним розрахунком. Але ці дані являються основою для збору мас з відповідним коефіцієнтом для динамічного завантаження.

Динамічні впливи задаються у вигляді вузлових навантажень, які діють вздовж осей глобальної або локальної систем координат. Вага мас споруди задається як власна вага конструкцій, обладнання тощо; при цьому допускається використання як місцевих, так і вузлових навантажень.

Граничні умови у розрахунковій схемі можуть бути задані безпосередньо на вузол, а також змодельовані за допомогою зв'язків скінченої жорсткості. Останнє особливо ефективно, якщо у зв'язках, що накладаються, необхідно визначити реакції.

Результати розрахунку динамічних характеристик об'єкта можна бачити в вікні розрахункового процесора. Дані динамічного розрахунку об'єкта надає ЛІР-ВІЗОР в запропонованому меню.

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИВОГО РОГУ

### 3.1. **Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК»**

Натурні вимірювання рівнів вібраційного і шумового впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК» були проведені 19 і 27 травня, 14 і 15 липня 2005 року. Матеріали, що містять інформацію про масові вибухи, підготовлені Центром екологічних досліджень та аудиту ТОВ "Укрбурвибух" (м. Кривий Ріг). Дані матеріали включають в себе: розташування блоків, що підриваються; коротка геологічна характеристика блоків; черговість підривання і час горіння блоків; обсяг використання вибухових речовин і засобів підривання; обсяг підірваної гірничої маси; геологічні розрізи; метеорологічні параметри на момент вибуху.

В якості об'єктів досліджень були обрані:

- при масових вибухах 19.05.05 і 14.07.05 на Ганнівському кар'єрі - чотириповерховий житловий будинок по вул. Бірюзова, 7 (9-й квартал), Тернівський район;
- при масових вибухах 27.05.05 та 15.07.05 на Першотравневому кар'єрі - 3-поверховий будинок середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій, Тернівський район;

Основним критерієм при виборі об'єктів для проведення натурних вимірювань було розташування будівель поблизу меж санітарно-захисної зони кар'єрів. Також бралися до уваги технічний стан будівель і їх поверховість. Схема розташування Ганнівського і Першотравневого кар'єрів ВАТ "Північний ГЗК" із зазначенням об'єктів проведення досліджень вібраційних і акустичних параметрів наведена на рис. 3.1.

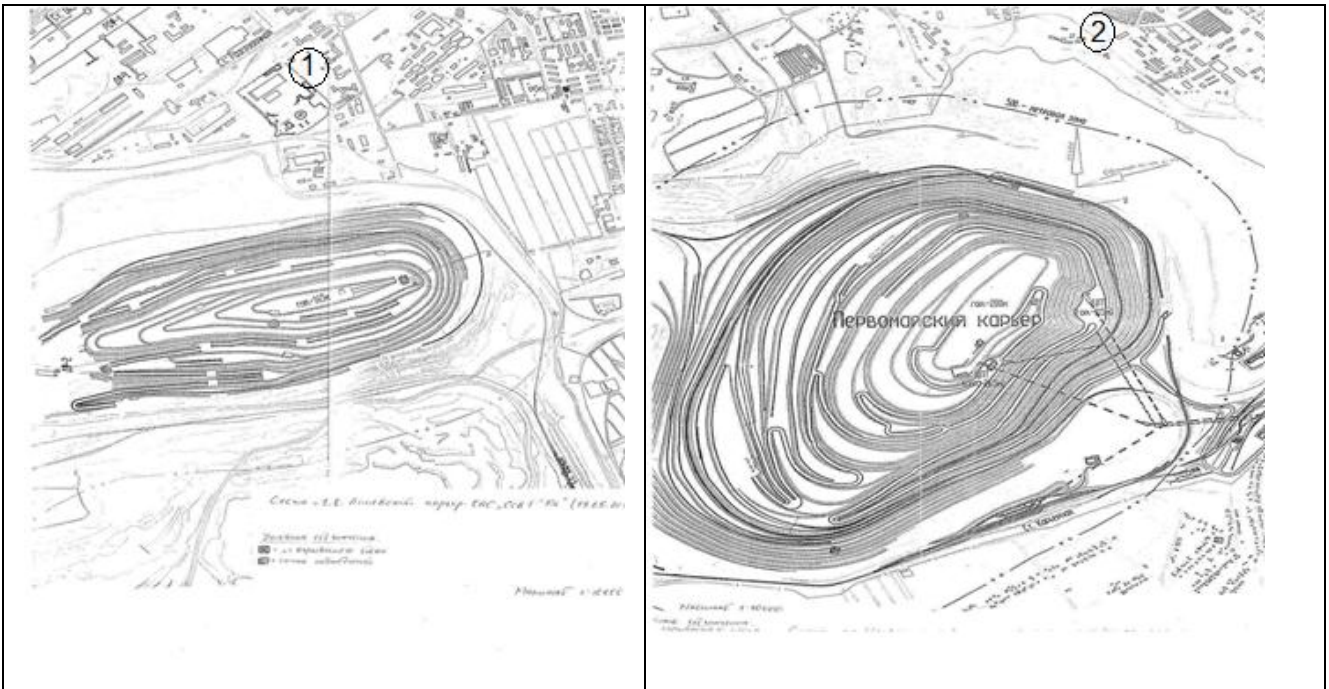


Рис. 3.1 – Ситуаційний план району кар'єрів ВАТ "Північний ГЗК" і розміщення об'єктів дослідження (кар'єр, дати вибухів): 1 - чотириповерховий житловий будинок по вул. Бірюзова, 7 (Ганнівська кар'єр, 19.05.05 та 14.07.05); 2 - триповерхова будівля школи №40 по вул. Сестроріцькій (Першотравневий кар'єр, 27.05.05 та 15.07.05)

### 3.1.1. Житловий будинок по вул. Бірюзова, 7

Ділянка вулиці Бірюзова забудована 4-поверховими житловими будинками. Час побудови - 60-і роки минулого століття. Загальний вигляд будинку № 7 наведено на рис. 3.2.-3.3.

Несучими конструкціями будівлі є поздовжні і поперечні стіни. Стіни будинку зведені з шлакобетонних блоків. Товщина зовнішніх стін дорівнює 500 мм. Переkritтя виконані зі збірних залізобетонних плит. Покрівля плоска із залізобетонних плит з шаром утеплювача і гідроізоляцією. Фундамент будівлі - стрічковий. Вікна в будинку стандартні дерев'яні з склінням в спарених рамах; товщина шибок 3 - 4 мм. При огляді конструкцій будинку виявлено окремі тріщини в переkritтях і внутрішніх стінах (рис. 3.4).



Рис. 3.2. Житловий будинок по вул. Бірюзова, 7, головний фасад.



Рис. 3.3. Житловий будинок по вул. Бірюзова, 7, бічний фасад.

Для встановлення впливу вибухових впливів на розкриття існуючих тріщин необхідно проведення періодичних спостережень з установкою на тріщини маяків. При огляді видимих пошкоджень в будинку не виявлено. Окремі тріщини в огорожах квартир періодично закладаються мешканцями (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Житловий будинок по вул. Бірюзова, 7. Окремі закладені тріщини в плитах перекриття

### **3.1.2. Будівля середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій.**

Триповерхова будівля середньої школи № 40 була побудована в 50-і роки. Конструктивно в плані будівля має Г-подібну форму з несучими поздовжніми цегляними стінами; товщиною - 510 мм. Міжповерхові перекриття і сходові марші

виконані зі збірного залізобетону. Фундаменти будівлі стрічкові. Загальний вигляд будівлі школи показаний на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Загальний вигляд будівлі середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій.

Поздовжні стіни будівлі школи мають велику площу скління. Вікна розмірами 1,9 x 2,9 м виконані з дерев'яних роздільних рам. Відстань між шибками - 170 мм, товщина шибок 3 - 4 мм. При візуальному огляді будівлі виявлені тріщини в зовнішніх несучих стінах шириною до 2-х см (рис. 3.6.1 - 3.6.3). З огляду на те, що пошкоджені конструкції будівлі школи піддаються багаторазовим сейсмічним коливанням при масових вибухах у Першотравневому кар'єрі, необхідна організація наступних заходів: установка маяків на наявні тріщини для контролю їх розкриття; розробка і установка системи вібромоніторингу для визначення максимальних рівнів сейсмовибухових впливів на будівлю і їх вплив на технічний стан конструкцій.





Рис. 3.6.1. Пошкодження будівлі середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій.



Рис. 3.6.2. Пошкодження будівлі середньої школи № 40 по вул. Сестроріцькій.



Рис. 3.6.3. Пошкодження будівлі середньої школи № 40 по вул. Сестрорецькій.

### 3.1.3. Вимірювання рівнів вібрації

#### *Програма і методика вимірювання вібрації*

Вимірювання рівнів вібрації проведені в травні і липні 2005 року лабораторією динамічних випробувань будівельних конструкцій Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій.

Для реєстрації динамічної реакції ґрунту і конструкцій будівель при вібраційному впливі масових вибухів в кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК» була розроблена відповідна методика вібродинамічних досліджень.

#### *Завданнями натурних динамічних обстежень є:*

- вимір коливань ґрунту на границі санітарної зони кар'єру на різних відстанях від місця вибуху при впливі масових вибухів в кар'єрі;
- вимір коливань конструкцій будівель, що знаходяться в безпосередній близькості або в межах санітарної зони кар'єру при впливі масових вибухів в кар'єрі.

Методика інструментальних (віброметричних) обстежень передбачала вимір віброприскорення і віброшвидкості ґрунту і будівельних конструкцій в вертикальному і двох горизонтальних напрямках (по осях X і Y) згідно з ДБН 360-92\*\* [103] і ГОСТ 12.1.012-90 [104].

Реєстрація вібросигналів виконувалася однокомпонентними датчиками ДН-3-М1 і СМ-3 і багатокомпонентними датчиками 4321 фірми "Brüel&Kjær" (Данія) з посиленням сигналів за допомогою вимірювачів вібрації і шуму марки ВШВ-003-М2 і віброшумоміра "Brüel&Kjær" 2237. Запис вібросигналів виконувався в прямому режимі на восьмиканальний магнітофон PC208Ax фірми «SONY» (рис. 3.7).

На весь набір апаратури, яка застосовувалася для вимірювання віброприскорень і записи вібросигналів, є свідоцтва про перевірку, видані Укрметртестстандартом: магнітофон «SONY» PC208Ax (сер. № E3874) - свідоцтво №22-00/055929 від 10.08.04; вимірювачі вібрації і шуму ВШВ-003-М2 (№№ 1311 і 4951) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04; інтегруючий віброшумомір 2237 (№ 2088856) – свідоцтво №22-00/055928 від 10.08.04; однокомпонентні датчики ДН-3-М1 (№№ 3726 і 5203) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;



Рис. 3.7 – Віброметрична апаратура, що використовується для реєстрації та запису вібросигналів

сейсмоприймач СМ-3 (№ 208) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04; багатокомпонентні датчики (акселерометри) «Brüel & Kjaer» 4321 (№2165380) і 4505 (№2086506) - свідоцтва №22-00/05592727 та 22-00/05592728 від 10.08.04. Записи проводилися в денний час. В рамках розробленої методики для всіх об'єктів були реалізовані наступні схеми розміщення датчиків:

Схема 1 - призначена для вимірювання віброприскорень і віброшвидкості ґрунту, датчики встановлені в наступних точках:

т. 1 - на відстані 1-4 м біля будівель;

т.т. 2 і 3 - на відстані ~ 70-100 м ближче і далі від т.1 у напрямку розповсюдження вибухової хвилі.

Схема 2 - призначена для вимірювання віброприскорень і віброшвидкості конструкцій будівель, датчики встановлені в наступних точках:

т. 4 - на фундаменті будівель; т. 5 - на несучих конструкціях будівель:

- для будівлі по вул. Бірюзова, 7 - на стіні в рівні третього поверху;
- для будівлі школи по вул. Сестроріцькій - на перекритті (підлозі) 3-го поверху;

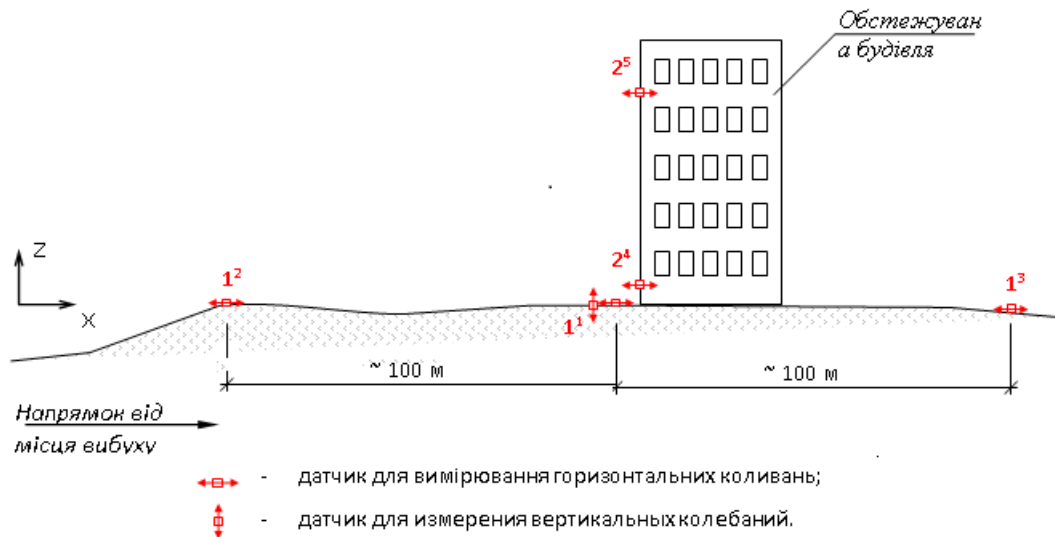


Рис. 3.8 – Розстановка датчиків відповідно до схем 1 і 2

Розстановка датчиків згідно зі схемами 1 і 2 показана на рис. 3.8.

### 3.1.4. Результати динамічних досліджень

Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій при впливі масових вибухів на кар'єрах ВАТ "Північний ГЗК" наведені в таблицях 3.1 - 3.4. Для порівняння в таблицях наведені значення мікросейсмічних коливань ґрунту і конструкцій при впливі фонові вібрації.

Таблиця 3.1

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі масового вибуху на Ганнівському кар'єрі 16.05.05.

| Схема установки датчиків | Місце установки вібрдатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі             | віброприскорення     | X                 | 1,75                  | фонова вібрація            |
|                          | ґрунт в 70 м від будівлі - т.2 | віброшвидкість       | X                 | 39                    | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі              | віброприскорення     | X                 | -                     | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 0,18                  | вибух                      |
|                          | стіна в рівні 3-го поверху     | віброприскорення     | X                 | 1,3                   | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 21,3                  | вибух                      |

**Примітка.** У таблиці значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ ; віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Таблиця 3.2

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі середньої школи по вул. Сестроріцькій при впливі масового вибуху 27.05.05 на Першотравневому кар'єрі.

| Схема установки датчиків        | Місце установки вібродатчиків     | Вимірюваний параметр | 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                      |

**Примітка.** У таблиці значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ , віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Таблиця 3.3

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі масового вибуху на Ганнівському кар'єрі 14.07.05

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків  | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі             | віброприскорення     | X                 | 1,75                  | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 35                    | вибух                      |
|                          | ґрунт в 70 м від будівлі - т.2 | віброшвидкість       | X                 | -                     | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 0,21                  | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі              | віброприскорення     | X                 | -                     | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | -                     | вибух                      |
|                          | стіна в рівні 3-го поверху     | віброприскорення     | X                 | 1,3                   | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 28,7                  | вибух                      |

**Примітка.** У таблиці значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ ; віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Таблиця 3.4

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі середньої школи по вул. Сестроріцькій при впливі масового вибуху 15.07.05 на Першотравневому кар'єрі.

| Схема установки датчиків        | Місце установки вібродатчиків     | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                               | ґрунт біля будівлі                | віброприскорення     | X                 | 4                     | фонова вібрація            |
|                                 |                                   |                      |                   | 25                    | вибух                      |
|                                 | ґрунт в 100 м від будівлі - т.2   | віброприскорення     | X                 | -                     | фонова вібрація            |
|                                 |                                   |                      |                   | 32                    | вибух                      |
| ґрунт в 100 м за будівлею - т.3 | віброприскорення                  | X                    | -                 | фонова вібрація       |                            |
|                                 |                                   |                      | 21                | вибух                 |                            |
| 2                               | Перекриття (підлога) 3-го поверху | віброшвидкість       | X                 | 0,05                  | фонова вібрація            |
|                                 |                                   |                      |                   | 0,21                  | вибух                      |

**Примітка.** У таблиці значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ ; віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Для визначення амплітуд зареєстрованих прискорень конструкцій і ґрунту виконана обробка вібро сигналів і їх спектральний аналіз за спеціалізованою програмою ПОС [105].

Результати наведені на рисунках 3.9 - 3.20. Значення переважних частот коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель наведені в таблиці 3.5.



Рис. 3.9 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень стіни в рівні 3-го поверху будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі фонові вібрації

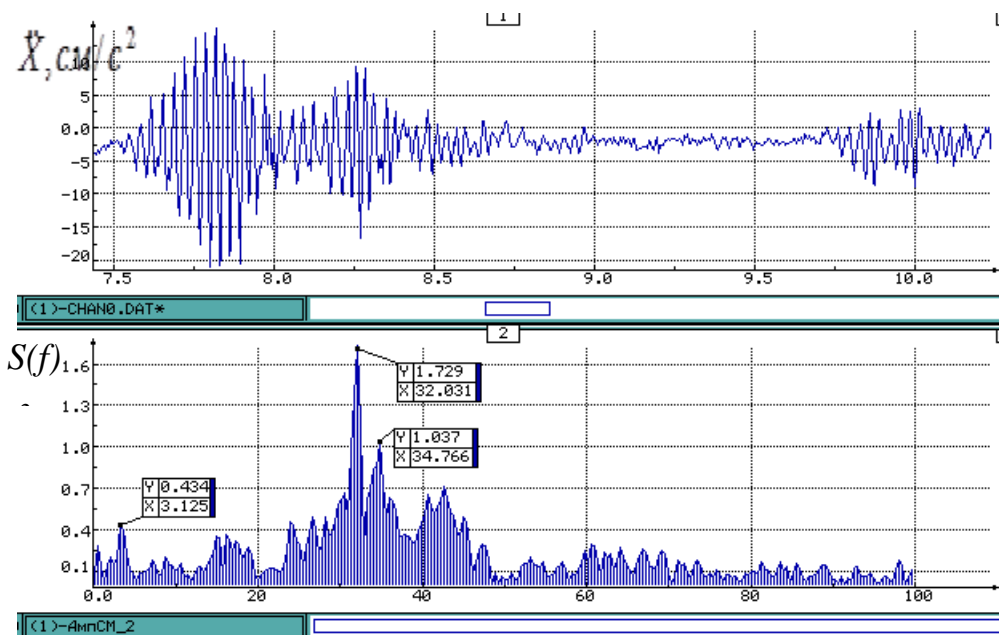


Рис. 3.10 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень стіни в рівні 3-го поверху будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі вибуху 16.05.05

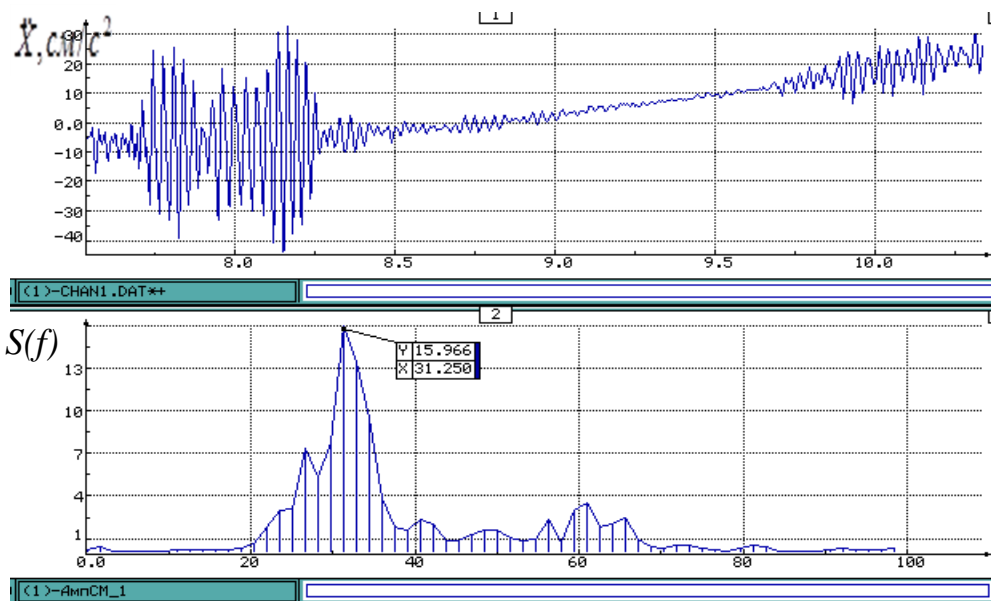


Рис. 3.11 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі вибуху 16.05.05

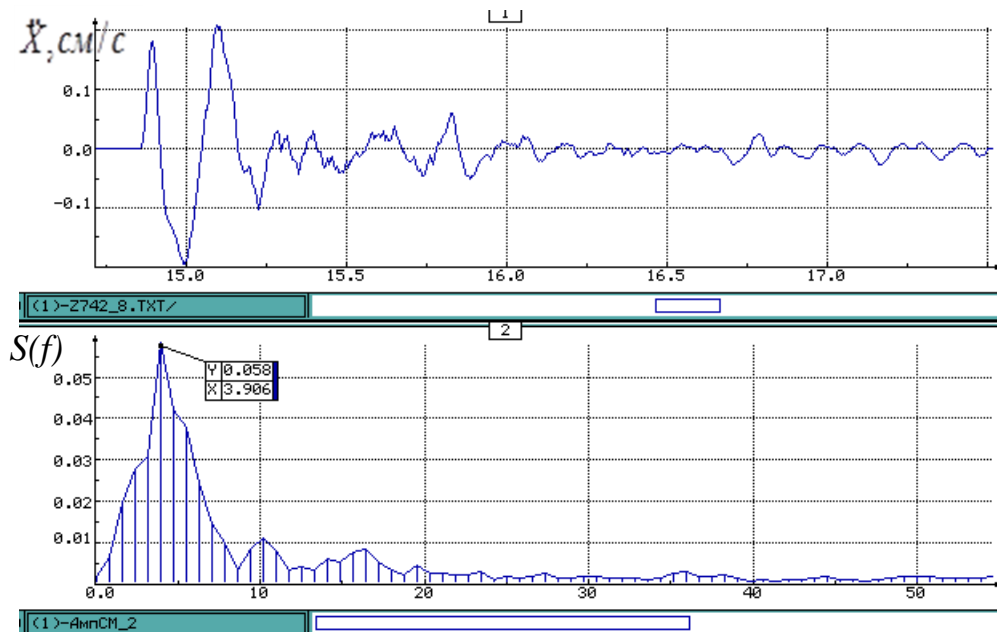


Рис. 3.12 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості ґрунту в 70 м від будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі вибуху 16.05.05



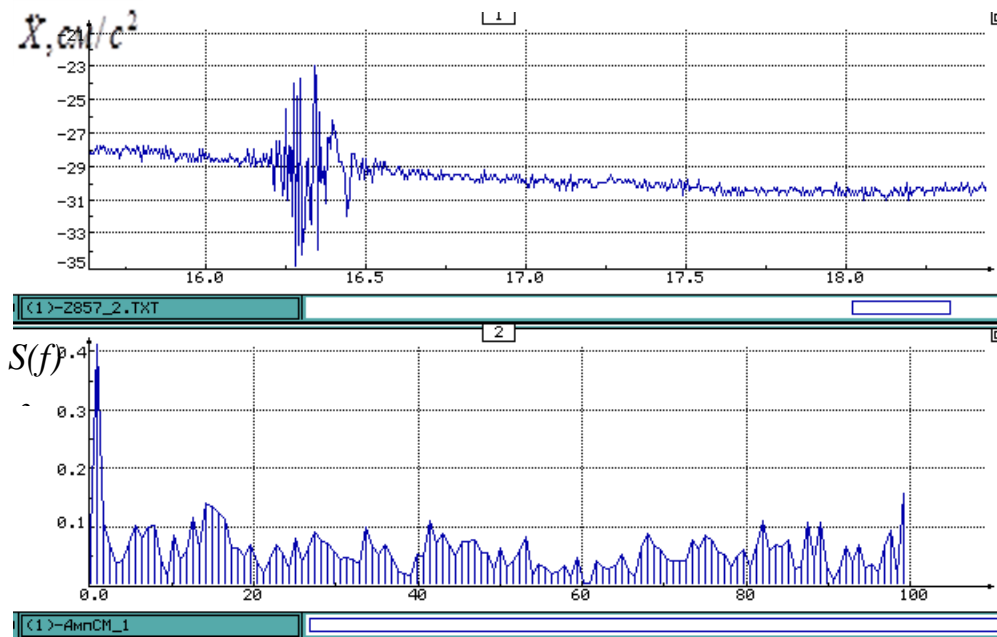


Рис. 3.13 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі фонові вібращі

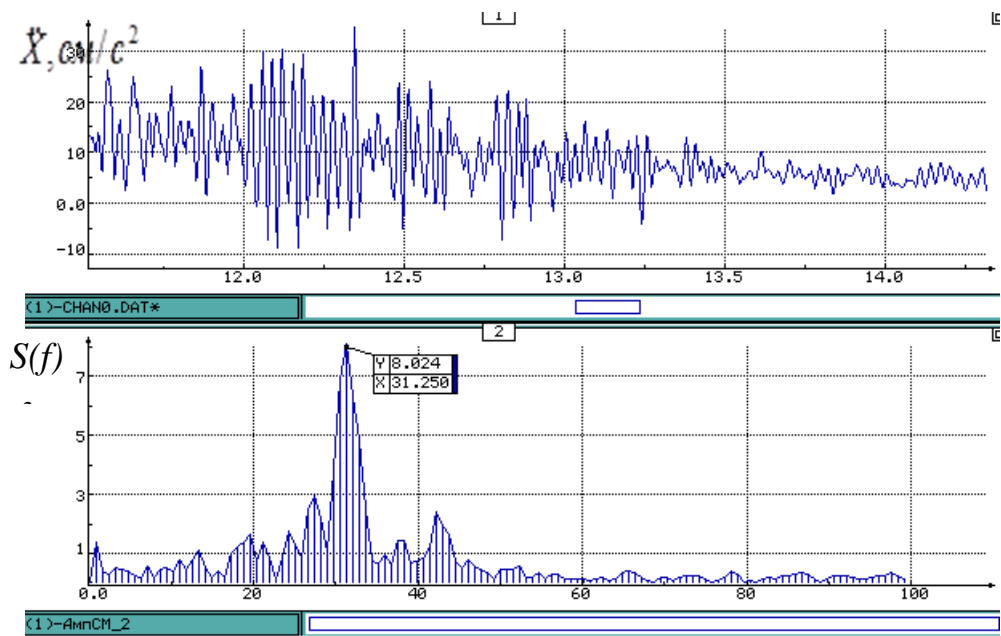


Рис. 3.14 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі вибуху 27.05.05

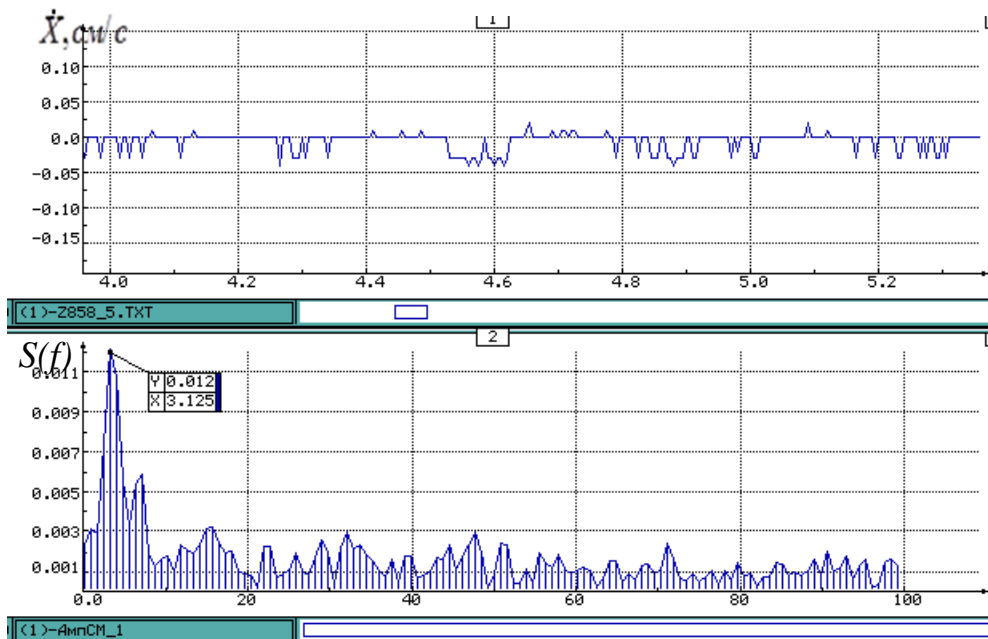


Рис. 3.15 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості перекриття (підлоги) 3-го поверху будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі фонові вібрації

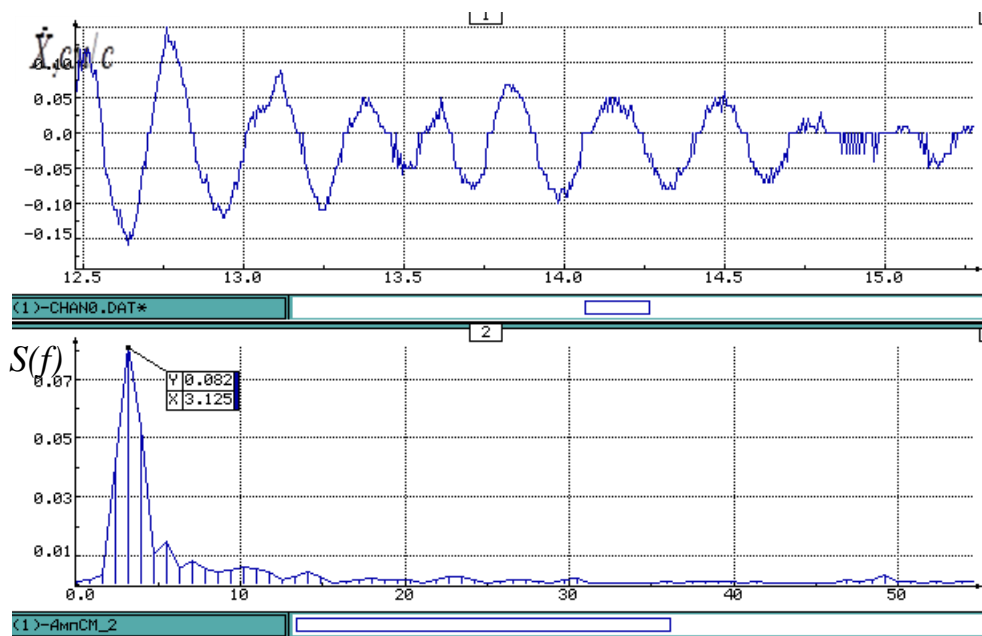


Рис. 3.16 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості перекриття (підлоги) 3-го поверху будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі вибуху 27.05.05

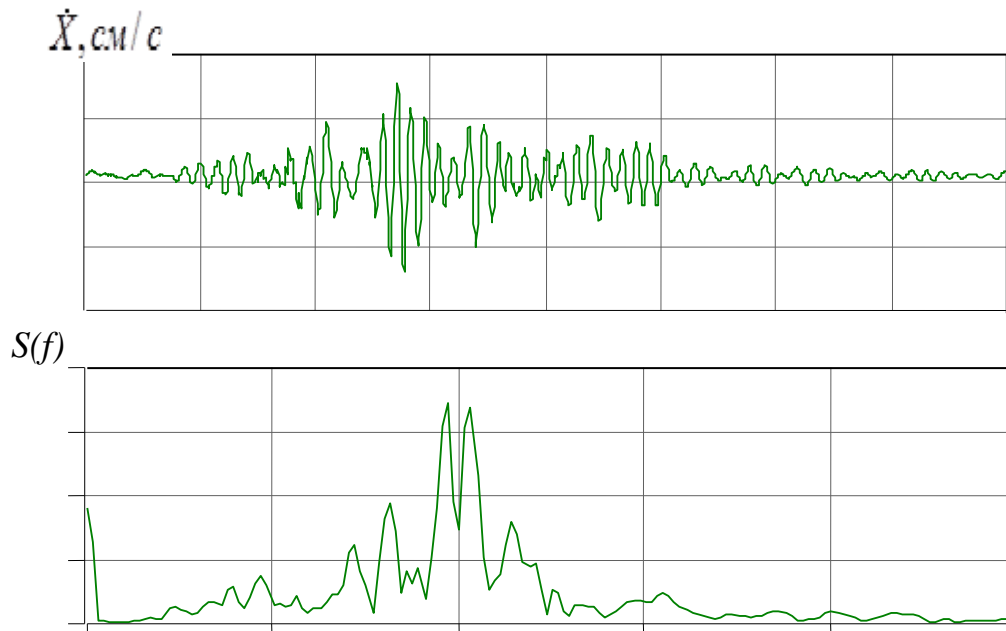


Рис. 3.17 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості стіни в рівні 4-го поверху будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі вибуху 14.07.05

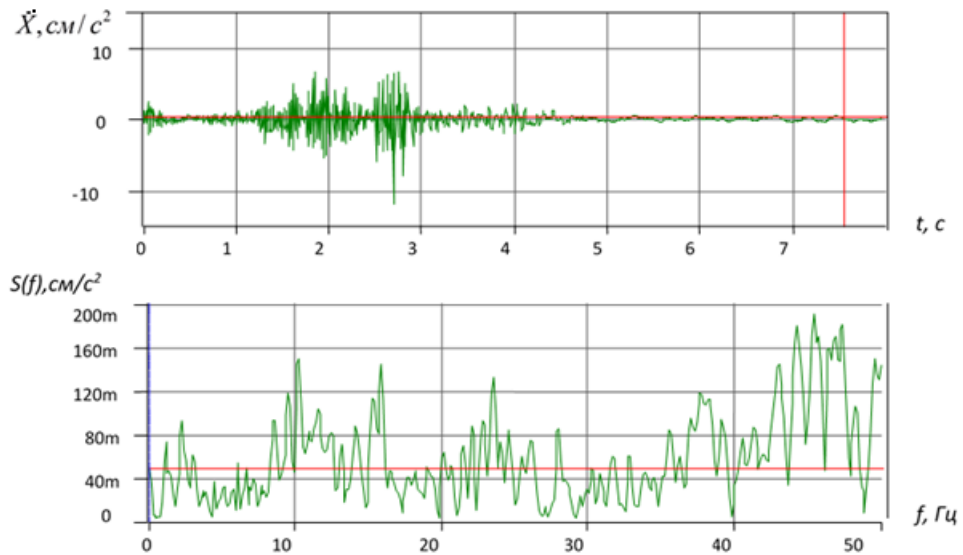


Рис. 3.18 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі по вул. Бірюзова, 7 при впливі вибуху 14.07.05

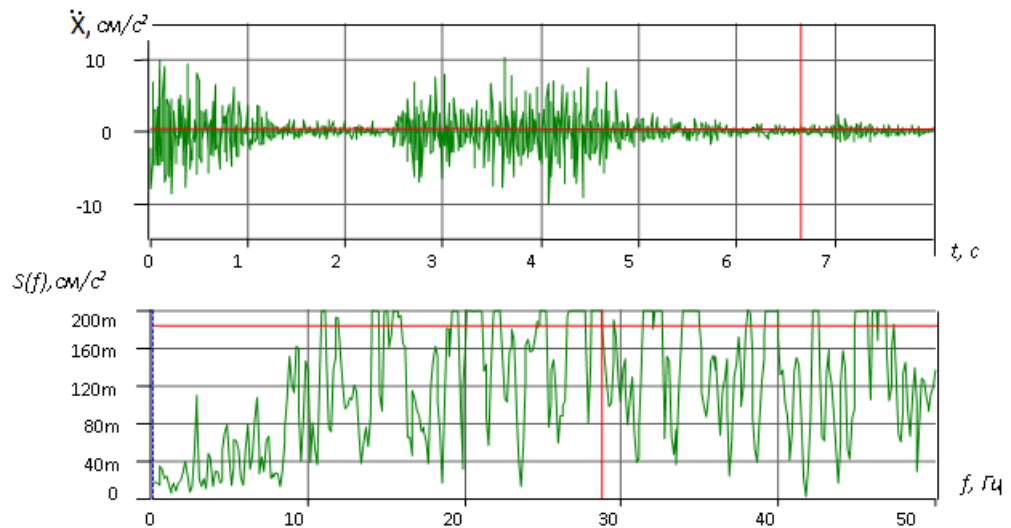


Рис. 3.19 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі вибуху 15.07.05

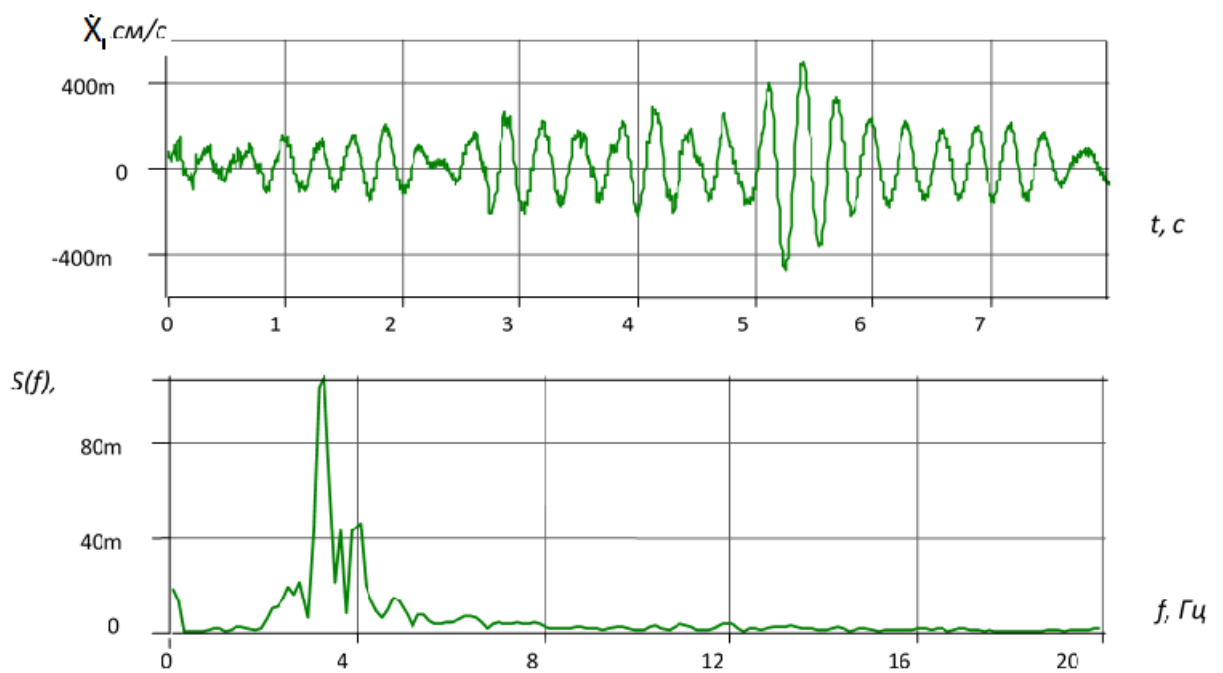


Рис. 3.20 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості перекриття (підлоги) 3-го поверху будівлі школи по вул. Сестроріцька при впливі вибуху 15.07.05

Таблиця 3.5

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК»

|  | Переважні частоти $f$ , Гц           |
|--|--------------------------------------|
| Ґрунт по вул. Бірюзова                         | <b>27-31</b>                         |
| Ґрунт по вул. Сестроріцькій                    | 2; 4; 6,5; 32,3                      |
| Стіна будинку по вул. Бірюзова                 | 2; 6,3; 15,2; 18,4; 24,1; 32,2; 37,7 |
| Перекриття будівлі школи по вул. Сестроріцькій | 3,2; 4,5; 7,2; 8,6; 15,3; 32,6; 45,1 |

### 3.1.5. Висновки за результатами вібродинамічних обстежень

На основі отриманих фактичних рівнів прискорень і віброшвидкостей ґрунту і конструкцій обстежених будівель можна зробити наступні висновки:

1. Зареєстровані при вибухових значеннях віброприскорення ґрунту в основі будівлі досягають таких значень: вул. Бірюзова: 39 см/с<sup>2</sup> 16.05.05 і 35 см/с<sup>2</sup> 14.07.05; вул. Сестроріцька: 23 см/с<sup>2</sup> 27.05.05 і 25 см/с<sup>2</sup> 15.07.05;

2. Зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в основі будівель знаходяться в діапазоні 0,03-0,3 см/с, що не перевищує 3-х балів за шкалою сейсмічної інтенсивності при вибухах [52].

3. Аналіз спектрів прискорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 1-45,1 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. Крім того, за рекомендаціями [60], з метою виключення осідання фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15 см/с<sup>2</sup>.

4. На рисунку 3.21 наведена рекомендація за результатами обробки дослідних даних - залежність прискорення ґрунту  $a$  при впливі вибуху від приведеної відстані  $R_{np}$ . Приведена відстань визначається за формулою:

$$R_{np} = \frac{R}{\sqrt[3]{m}}, \quad (3.1)$$

де  $R$  – відстань від заряду, блоку до місця реєстрації прискорення ґрунту, м;

$m$  – маса вибухової речовини, яка використовується для підривання блоку, кг.

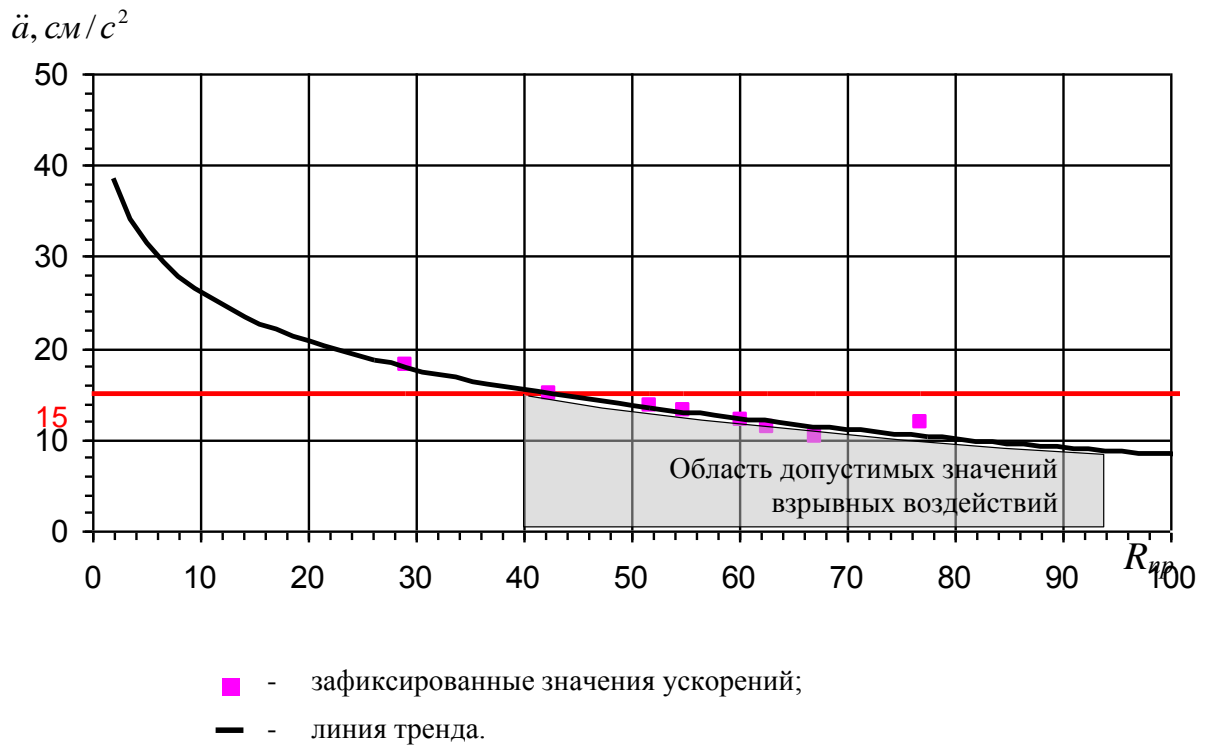


Рисунок 3.21 – График зависимости ускорения грунта  $\ddot{a}$  при воздействии взрыва от приведенного расстояния  $R_{пр}$ .

З рисунка 3.21 випливає, що при проведенні масових вибухів на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК» наведені відстані необхідно приймати:  $R_{пр} \geq 40$ , що забезпечує прискорення ґрунту менше  $15 \text{ см/с}^2$ .

5. Слід зазначити, що для уточнення залежності " $\ddot{a}$ – $R_{пр}$ ", наведеної на рис. 3.21, необхідно продовжити контрольні вимірювання прискорень при різних значеннях  $R_{пр}$ .

### **3.2. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах РУ ГЗК «Криворіжсталь»**

Натурні вимірювання рівнів вібраційного і шумового впливу при масових вибухах на кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь» (після переіменування ГЗК ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг») були проведені 26 травня, 16 і 23 червня, 26 і 28 липня 2005 року [93].

В якості об'єктів досліджень були обрані:

- при масовому вибуху 26.05.05 на кар'єрі №2-біс - будівля Церкви Різдва Пресвятої Богородиці по вул. Обручева, 14, житловий масив Південного ГЗК, Інгулецький район;

- при масовому вибуху 16.06.05 на кар'єрі №3 - ділянка приватної забудови по вул. Мініна в житловому мікрорайоні ім. Валявка;

- при масовому вибуху 23.06.05 на кар'єрі №2-біс - одноповерхова будівля приватної забудови по вул. Чайковського, 46 в житловому мікрорайоні "Шевченко";

- при масовому вибуху 26.06.05 на кар'єрі №2-біс - п'ятиповерховий житловий будинок по вул. Ярославська, 1 в новому мікрорайоні селища Південного ГЗК;

- при масовому вибуху 28.06.05 на кар'єрі №3 - дев'ятиповерховий житловий будинок №57 в мікрорайоні "Всебратське-2".

Основним критерієм при виборі об'єктів дослідження було розташування будівель в межах або в безпосередній близькості до кордонів санітарної зони кар'єрів. Крім того, бралися до уваги поверховість будівель, їх технічний стан. Ситуаційна карта-схема розташування кар'єрів РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь" з розміщенням об'єктів дослідження приведена на рисунку 3.22.

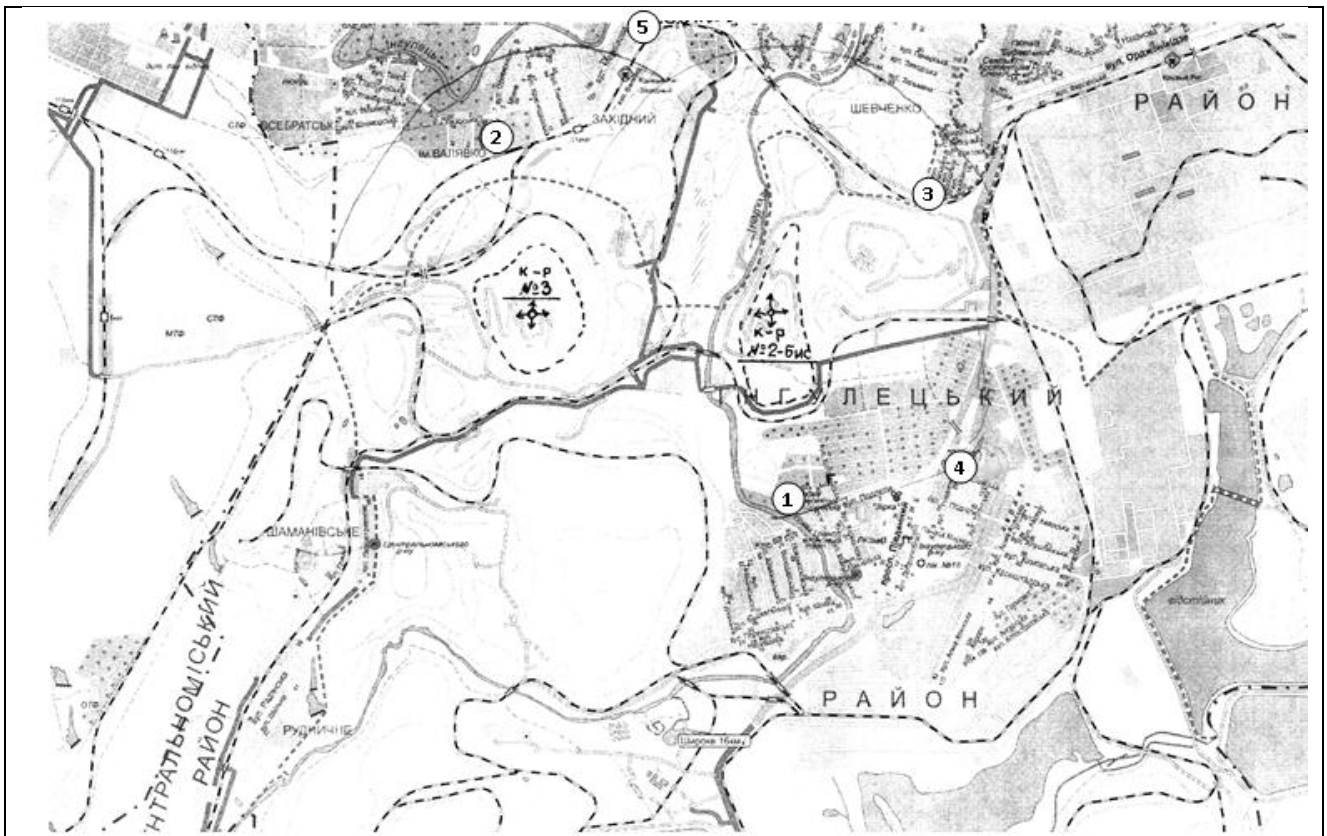


Рис. 3.22 – Ситуаційний план району кар'єрів РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь" і розміщення об'єктів дослідження (дата): 1 - будівля Церкви по вул. Обручева, 14 (26.05.05); 2 - ділянка по вул. Мініна (16.06.05); 3 - будівля по вул. Чайковського, 46 (24.06.05); 4 - будівля по вул. Ярославській, 57 (26.07.05); 5 - будівля за адресою сел. Всебратське-2, 57 (28.07.05)

### 3.2.1. Будівля Церкви по вул. Обручева, 14

Будівля Церкви Різдва Пресвятої Богородиці збудована в кінці 19-го століття і має історико-культурологічну цінність (рис. 3.23). Об'ємно-планувальне рішення будівлі характерне для культових православних храмів: центральна купольна частина з дзвіницею і два бокові вівтарі. Загальний вигляд будинку наведений на рисунку 3.23. Будівля цегляна з товщиною стін основної частини будівлі на нижньому рівні приблизно 800 мм і товщиною стін приблизно 400 мм в бічних прибудовах. Скління вікон виконано однокамерними склопакетами за схемою 4-16-4. При проведенні візуального обстеження будівлі були виявлені вертикальні і похилі тріщини в стінах з внутрішнього боку (рисунки 3.24-3.27).



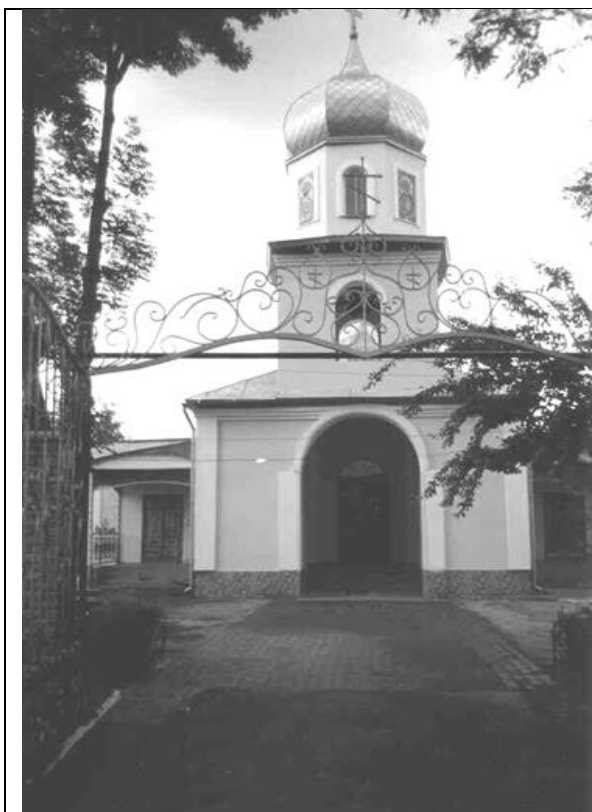


Рис. 3.23 – Загальний вигляд Церкви Різдва Пресвятої Богородиці по вул. Обручева, 14



Рис. 3.24 – Похилі тріщини в стіні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14



Рис. 3.25 – Вертикальні тріщини в стіні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14



Рис. 3.26 – Похилі тріщини в стіні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14

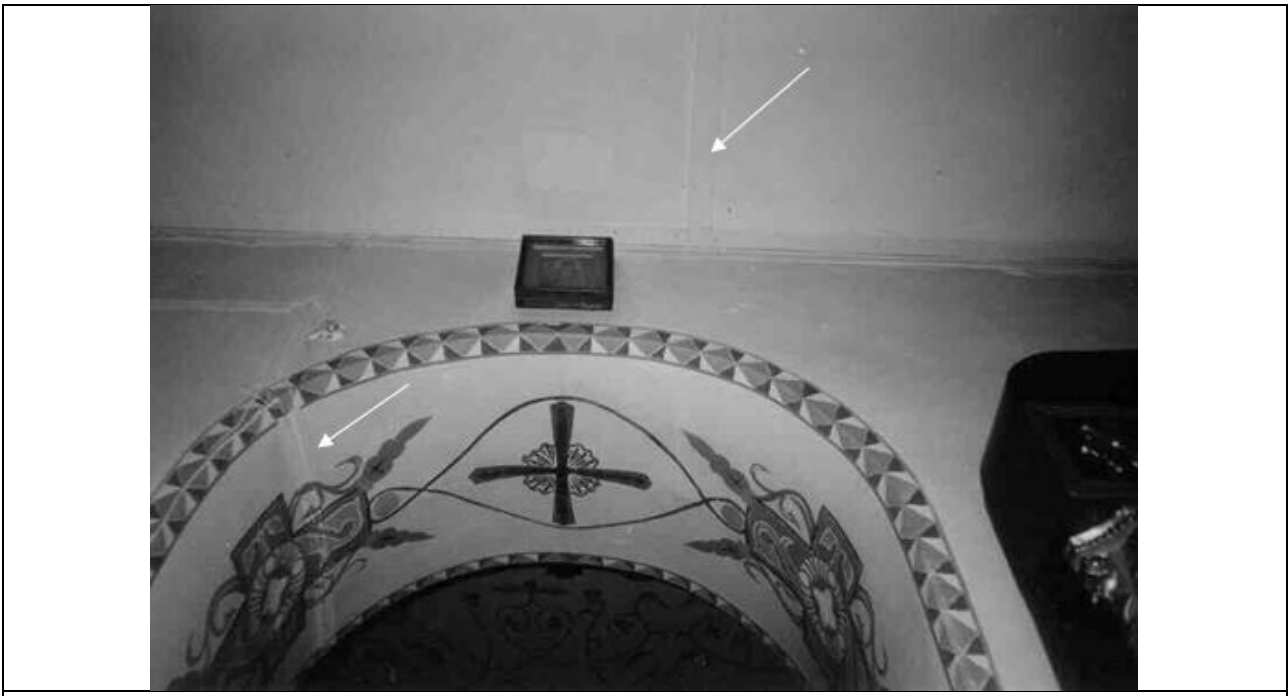


Рис. 3.27 – Вертикальні тріщини в стіні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14

### 3.2.2. Ділянка приватної забудови по вул. Мініна

Вулиця Мініна мікрорайону ім. Валявка забудована одноповерховими приватними будинками, виконаними переважно з цегли або пиляного вапняку. Фундаменти будинків - стрічкові, мілкого закладення, перекриття дерев'яні, дахи - скатні, по дерев'яних кроквах.

Ділянка, на якій проводилися дослідження, розташована в безпосередній близькості від залізниці, по якій здійснюється інтенсивний рух вантажних потягів.

В результаті огляду несучих стін житлових будинків будь-яких значних дефектів і пошкоджень не виявлено.

### 3.2.3. Будівля по вул. Чайковського, 46 в мікрорайоні "Шевченко"

Територія мікрорайону "Шевченко" забудована насамперед одноповерховими цегляними будинками.

Натурні вимірювання були проведені на території житлового будинку по вулиці Чайковського, 46 (рис. 3.28). Будинок цегляний з товщиною зовнішніх стін в 2,5 цегли був побудований в 1950 році. Перекриття - дерев'яне, дах - скатний по дерев'яних кроквяних конструкціях, покритий листами шиферу. Вікна в будинку дерев'яні з роздільним склінням, товщина скла 3 - 4 мм. Видимих пошкоджень у будинку виявлено не було.



Рис. 3.28 – Проведення віброакустичних вимірювань в сел. Шевченко по вул. Чайковського, 46

### **3.2.4. Житловий будинок по вул. Ярославська, 1**

Будинок панельний 5-поверховий було побудовано в 1995-1996 рр. Будівля - прямокутна в плані, орієнтована заднім фасадом на кар'єр №2-біс. Стіни і міжповерхові перекриття виконані з залізобетонних конструкцій. Вікна будинку дерев'яні зі склінням в роздільних рамах; товщина скла 3-4 мм; відстань між шибками ~ 90 мм. Візуальні обстеження будинку дозволили виявити ряд тріщин на стінах як всередині квартир, так і на сходових маршах (рис. 3.29, 3.30). Зазвичай тріщини розташовані уздовж стиків панелей. З огляду на незначний період експлуатації будівлі, можна припустити, що походження тріщин зумовлено як просадками будівлі, так і впливом вибухових робіт на кар'єрі.



Рис. 3.29 – Тріщини в стиках несучих конструкцій будівлі по вул. Ярославській, 1

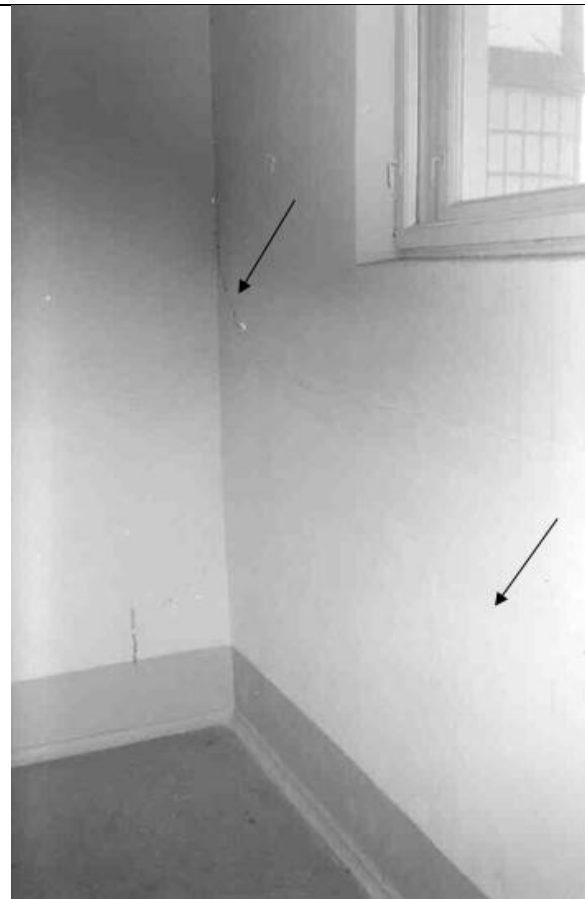


Рис. 3.30 – Тріщини в стиках несучих конструкцій будівлі по вул. Ярославській, 1

### 3.2.5. Житловий будинок №57 в мікрорайоні "Всебратьське-2"

Житловий 9-поверховий будинок був побудований в 1992-1993 рр. (рис. 3.31). Будинок панельний, прямокутний в плані. Конструктивна схема будівлі - з поздовжніми і поперечними несучими стінами. Міжповерхові перекриття і сходові марші виконані зі збірного залізобетону. Вікна в будинку дерев'яні, з склінням в спарених рамах; товщина скла 3-4 мм; відстань між шибками ~ 60 мм. В результаті візуального обстеження будинку були виявлені незначні тріщини як всередині будівлі, так і зовні. Зазвичай тріщини розташовані по лінії стиків огорожувальних конструкцій (рис. 3.32 - 3.34). Визначення походження тріщин вимагає додаткових обстежень будівлі.

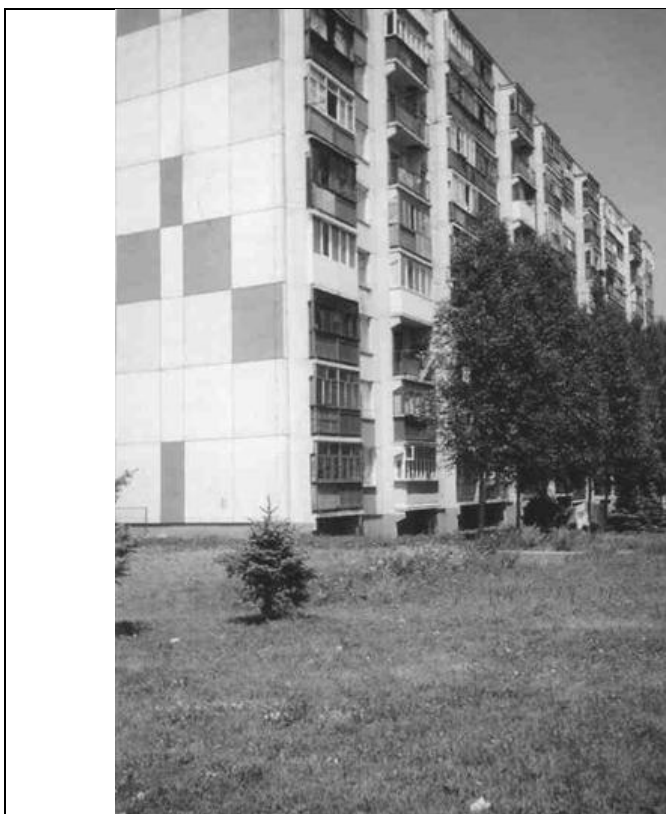


Рис. 3.31 – Загальний вигляд дев'ятиповерхового житлового будинку №57 в мікрорайоні "Всебратьське-2"



Рис. 3.32 – Характерні пошкодження несучих конструкцій будівлі №57 в мікрорайоні "Всебратьське-2"

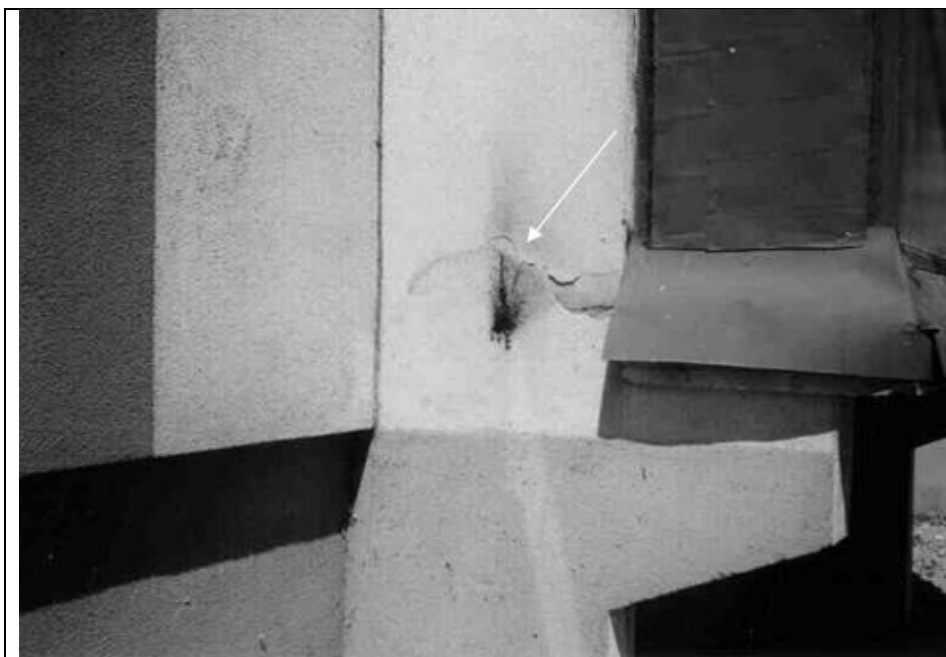


Рис. 3.33 – Характерні пошкодження несучих конструкцій будівлі №57 в мікрорайоні "Всебратьське-2"

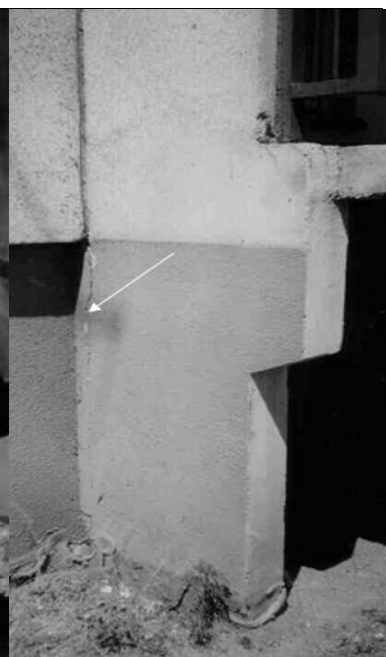


Рис. 3.34 – Характерні пошкодження несучих конструкцій будівлі №57 в мікрорайоні "Всебратьське-2"

### 3.2.6. Вимірювання рівнів вібрації

#### *Програма і методика вимірювання вібрації*

Вимірювання рівнів вібрації проведені в травні-липні 2005 року лабораторією динамічних випробувань будівельних конструкцій Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій. Для реєстрації динамічної реакції ґрунту і конструкцій будівель при вібраційному впливі масових вибухів в кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь», була розроблена відповідна методика вібродинамічних досліджень.

Завданнями натурних динамічних обстежень є:

–вимірювання коливань ґрунту на межі санітарної зони кар'єру на різних відстанях від місця вибуху при впливі масових вибухів в кар'єрі;

–вимірювання коливань конструкцій будівель, що знаходяться в безпосередній близькості або в межах санітарної зони кар'єру при впливі масових вибухів в кар'єрі.

Методика інструментальних (віброметричних) обстежень передбачала вимірювання віброприскорення і віброшвидкості ґрунту і будівельних конструкцій в вертикальному і двох горизонтальних напрямках (по осях X і Y) згідно з ДБН 360-92\*\* [103] і ГОСТ 12.1.012-90 [104].

Реєстрація вібросигналів виконувалася однокомпонентними датчиками ДН-3-М1 і СМ-3 і багатокомпонентними датчиками 4321 фірми "Brüel & Kjaer" (Данія) з посиленням сигналів за допомогою вимірювачів вібрації і шуму марки ВШВ-003-М2 і віброшумоміра "Brüel & Kjaer" 2237. Запис вібросигналів виконувався в прямому режимі на восьмиканальний магнітофон РС208Ах фірми «SONY» (рис. 3.35).

На весь набір апаратури, яка застосовувалася для вимірювання віброприскорень і записи вібросигналів, є свідоцтва про перевірку, видані УкрЦСМ:

- магнітофон «SONY» РС208Ах (сер. № Е3874) - свідоцтво №22-00/055929 від 10.08.04;
- вимірювачі вібрації і шуму ВШВ-003-М2 (№№ 1311 і 4951) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;
- інтегруючий віброшумомір 2237 (№ 2088856) - свідоцтво №22-00/055928 від 10.08.04;
- однокомпонентні датчики ДН-3-М1 (№№ 3726 і 5203) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;

- сейсмоприймач СМ-3 (№ 208) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;
- багатокомпонентні датчики (акселерометри) «Brüel & Kjær» 4321 (№2165380) і 4505 (№2086506) - свідоцтва №22-00/05592727 та 22-00/05592728 від 10.08.04



Рис. 3.35 – Віброметрична апаратура, що використовується для реєстрації та запису вібросигналів

Записи проводилися в денний час. В рамках розробленої методики для всіх об'єктів були реалізовані наступні схеми розміщення датчиків:

Схема 1 - призначена для вимірювання віброприскорень і віброшвидкостей ґрунту, датчики встановлені в наступних точках:

т. 1 - на відстані 1-4 м від будівель;

т.т. 2 і 3 - на відстані ~ 70-100 м ближче і далі від т.1 у напрямку розповсюдження вибухової хвилі.

Схема 2 - призначена для вимірювання віброприскорень і віброшвидкостей конструкцій будівель, датчики встановлені в наступних точках:

т. 4 - на фундаменті будівель; т. 5 - на несучих конструкціях будівель:

- для будівлі Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14 - на стіні дзвіниці в верхньому рівні по висоті;

- для будівлі по вул. Чайковського, 46 - на стіні в рівні 1-го поверху;

- для будівлі по вул. Ярославській, 1 - на перекритті (підлозі 2-го поверху);

- для будівлі за адресою м-н Всебратьське, 57.

Розстановка датчиків згідно зі схемами 1 і 2 показана на рис. 3.8.

### 3.2.7. Результати динамічних досліджень

Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій при впливі масових вибухів на кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь» наведені в таблицях 3.6 - 3.10. Для порівняння в таблицях наведені значення мікросейсмічних коливань ґрунту і конструкцій при впливі фонові вібрації, а також при впливі навантажених потягів (об'єкти по вул. Мініна і вул. Чайковського).

Таблиця 3.6

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

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі              | віброприскорення     | Х                 | 1,5                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 17,5                  | вибух                      |
|                          | ґрунт в 100 м від будівлі - т.2 | віброприскорення     | Х                 | 1,7                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 19                    | вибух                      |
|                          | ґрунт в 100 м за будівлею - т.3 | віброприскорення     | Х                 | 3,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 15                    | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі               | віброприскорення     | Х                 | 1,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 7,5                   | вибух                      |
|                          | стіна дзвіниці                  | віброшвидкість       | Х                 | 0,03                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,08                  | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в см/с<sup>2</sup>; віброшвидкості - в см/с.

Таблиця 3.7

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул.Мініна, 46 при впливі масового вибуху 16.06.05 на кар'єрі №3

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт в т. 1                  | віброприскорення     | Х                 | 1,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                               |                      |                   | 2,8                   | залізничний склад          |
|                          |                               |                      |                   | 17                    | вибух                      |
|                          | ґрунт в т. 2                  | віброприскорення     | Х                 | 0,8                   | фонова вібрація            |
|                          |                               |                      |                   | 21                    | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в см/с<sup>2</sup>



Таблиця 3.8

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Чайковського, 46 при впливі масового вибуху 23.06.05 на кар'єрі №2-біс

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі              | віброприскорення     | X                 | 1,6                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 2,6                   | залізничний склад          |
|                          |                                 |                      |                   | 7,7                   | вибух                      |
|                          | ґрунт біля будівлі              | віброшвидкість       | X                 | 0,03                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,08                  | вибух                      |
|                          | ґрунт в 100 м від будівлі - т.2 | віброприскорення     | X                 | 3,2                   | залізничний склад          |
| 5,3                      |                                 |                      |                   | вибух                 |                            |
| 2                        | фундамент будівлі               | віброшвидкість       | X                 | 0,04                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,05                  | залізничний склад          |
|                          |                                 |                      |                   | 0,07                  | вибух                      |

Таблиця 3.9

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Ярославській, 1 при впливі масового вибуху 26.07.05 на кар'єрі №2-біс

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі              | віброприскорення     | X                 | 1,4                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 57,0                  | вибух                      |
|                          | ґрунт в 30 м від будівлі - т.2  | віброприскорення     | X                 | 1,6                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 59,0                  | вибух                      |
|                          | ґрунт біля будівлі              | віброшвидкість       | X                 | 0,1                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,6                   | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі               | віброприскорення     | X                 | 1,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 28,2                  | вибух                      |
|                          | Перекриття (половина 5 поверху) | віброшвидкість       | X                 | 0,14                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 1,1                   | вибух                      |

Таблиця 3.10

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі №57 в м-ні "Всебратське-2" при впливі масового вибуху 28.07.05 на кар'єрі №3

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі              | віброприскорення     | X                 | 1,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 2,4                   | вибух                      |
|                          | ґрунт в 30 м від будівлі - т.2  | віброприскорення     | X                 | 1,3                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 2,8                   | вибух                      |
|                          | ґрунт біля будівлі              | віброшвидкість       | X                 | 0,12                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,24                  | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі               | віброприскорення     | X                 | 0,8                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 1,8                   | вибух                      |
|                          | Перекриття (половина 9 поверху) | віброшвидкість       | X                 | 0,31                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,63                  | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в см/с<sup>2</sup>; віброшвидкості - в см/с.

Для визначення амплітуд зареєстрованих прискорень конструкцій і ґрунту виконана обробка вібросигналів і їх спектральний аналіз за спеціалізованою програмою ПОС [105]. Результати наведені на рисунках 3.36 - 3.47.

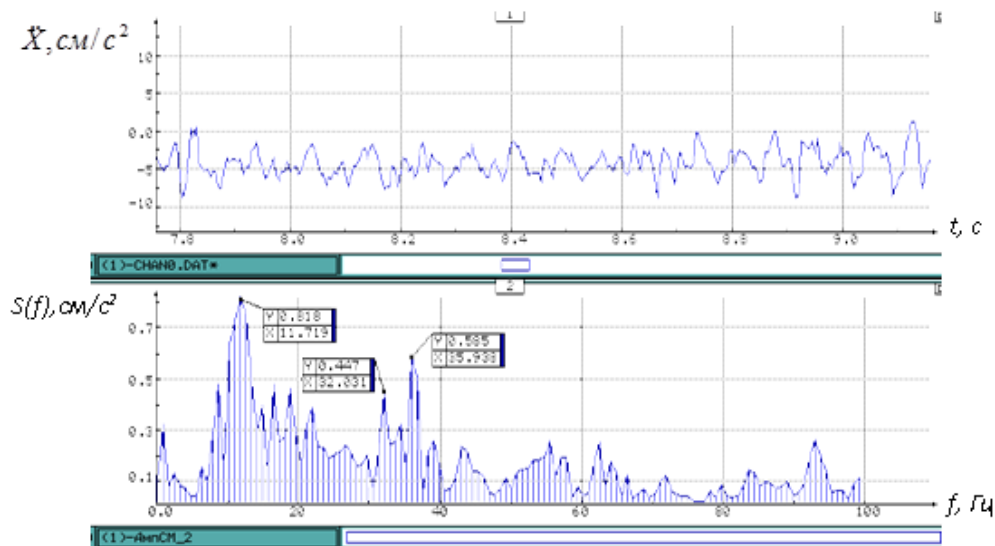


Рис. 3.36 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень фундаменту будівлі Церкви по вул. Обручева, 14 при впливі фонові вібрації

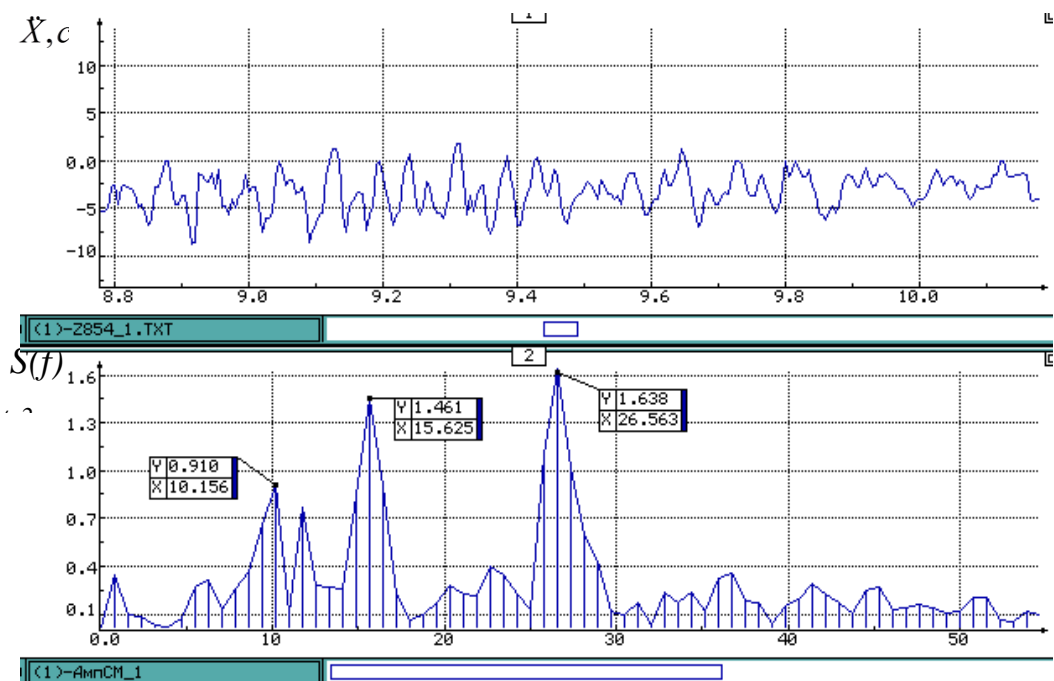


Рис. 3.37 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень фундаменту будівлі Церкви по вул. Обручева, 14 при впливі вибуху

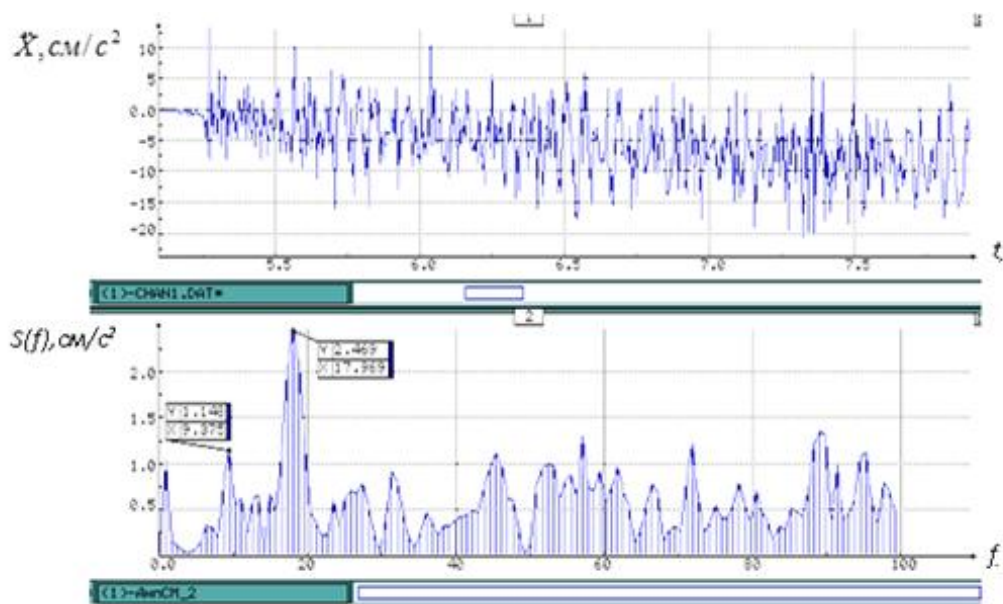


Рис. 3.38 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі Церкви по вул. Обручева, 14 при впливі вибуху

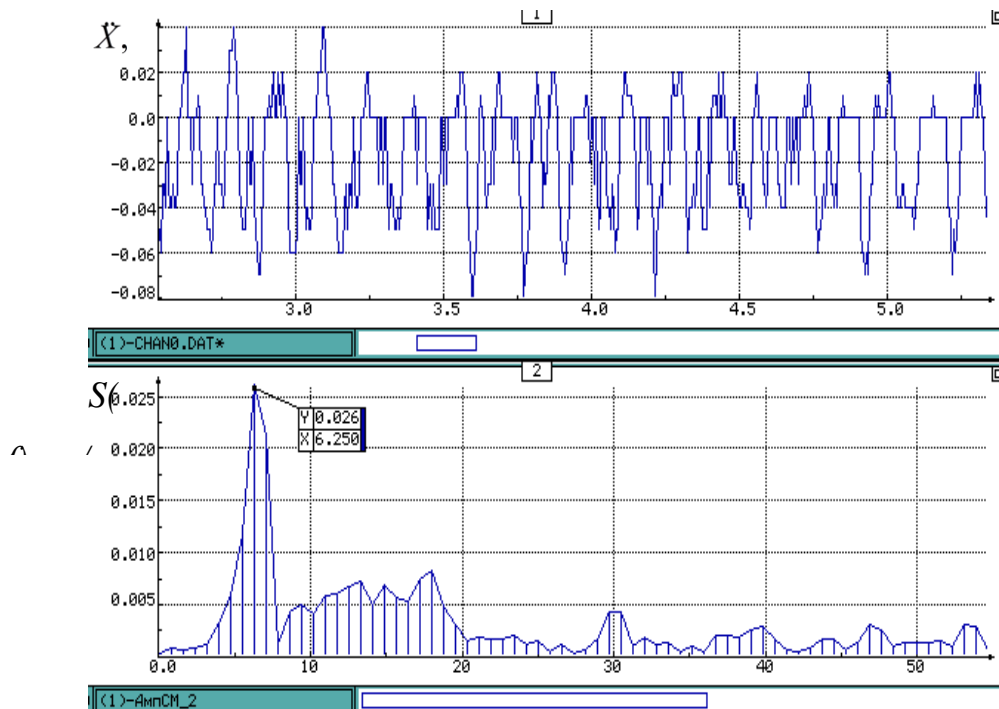


Рис. 3.39 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості дзвіниці Церкви по вул. Обручева, 14 при впливі вибуху

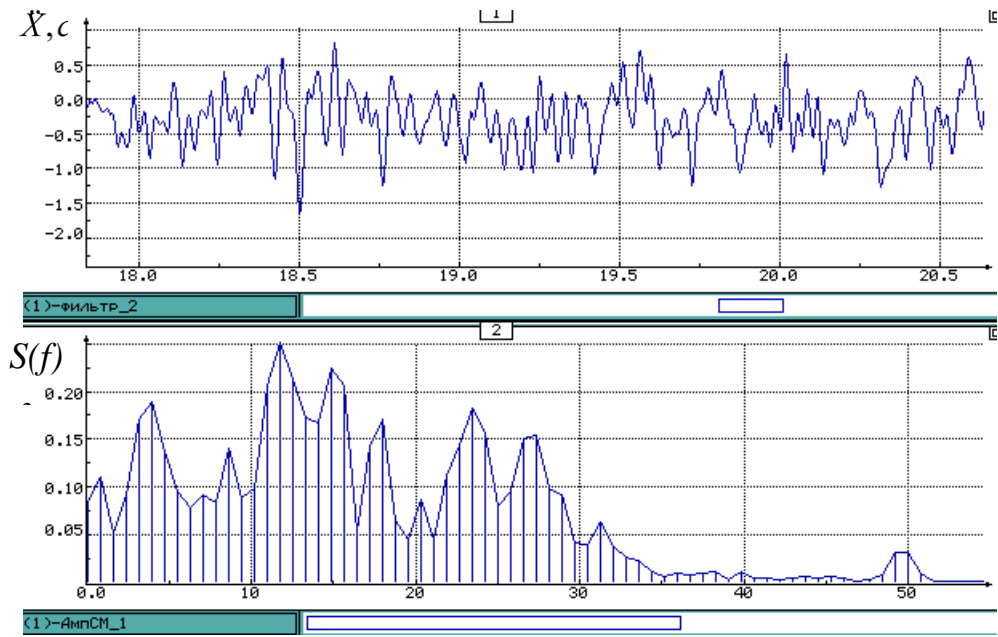


Рис. 3.40 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту по вул. Чайковського, 46 при впливі фонові вібращі

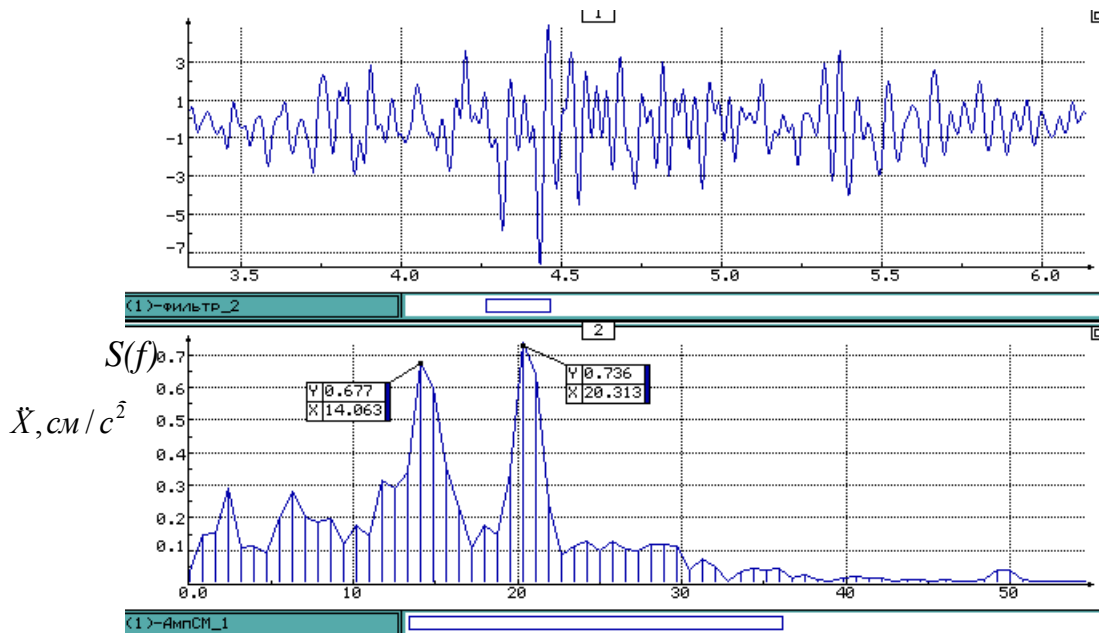


Рис. 3.41 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту по вул. Чайковського, 46 при впливі вибуху

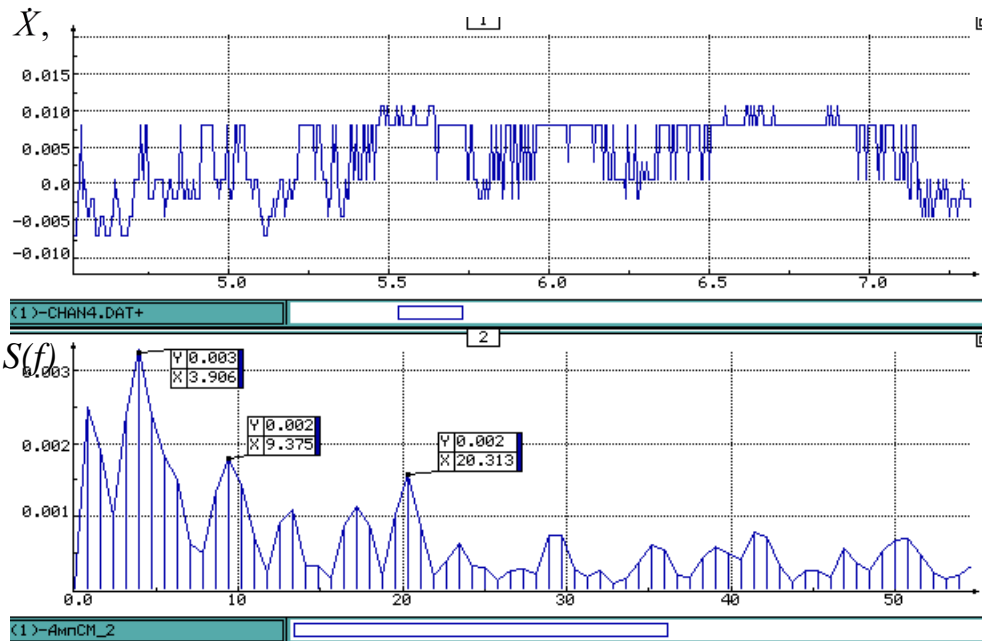


Рис. 3.42 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості фундаменту будівлі по вул. Чайковського, 46 при впливі фонові вібрації

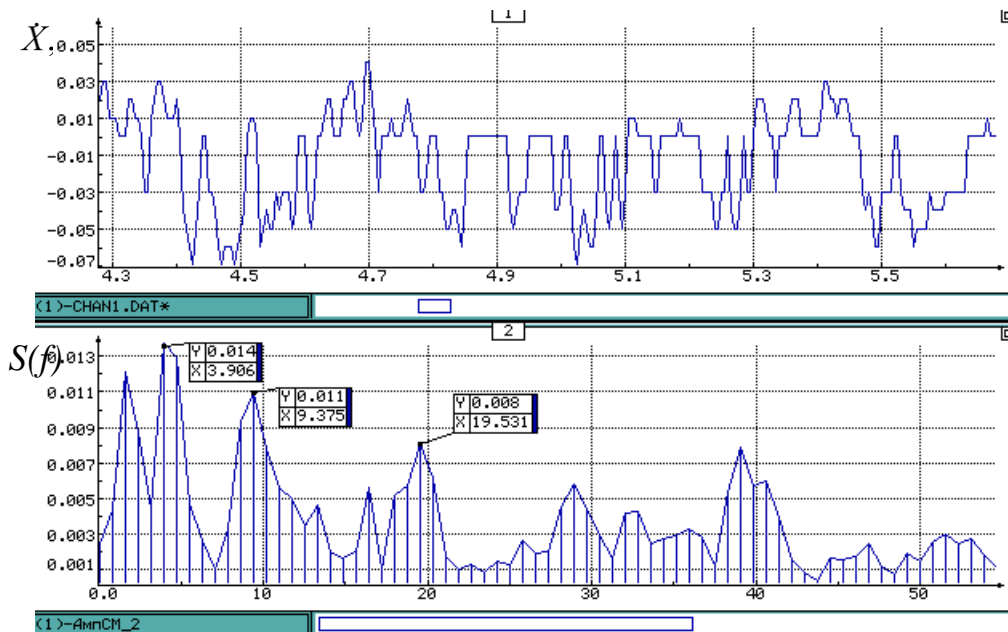


Рис. 3.43 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості фундаменту будівлі по вул. Чайковського, 46 при впливі вибуху

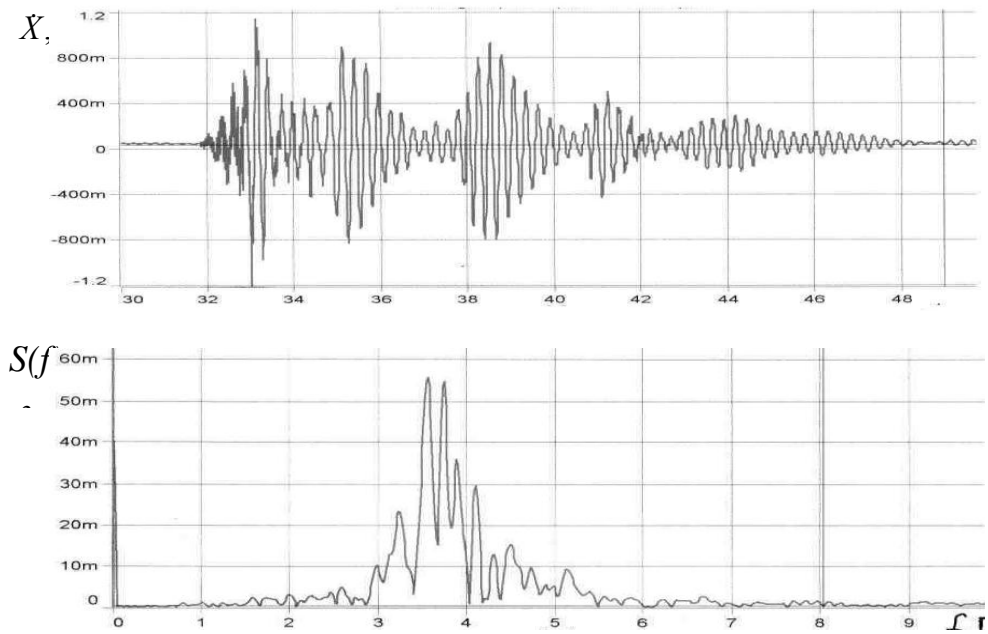


Рис. 3.44 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних швидкостей 5-го поверху будівлі по вул. Ярославській, 1 при впливі вибухів

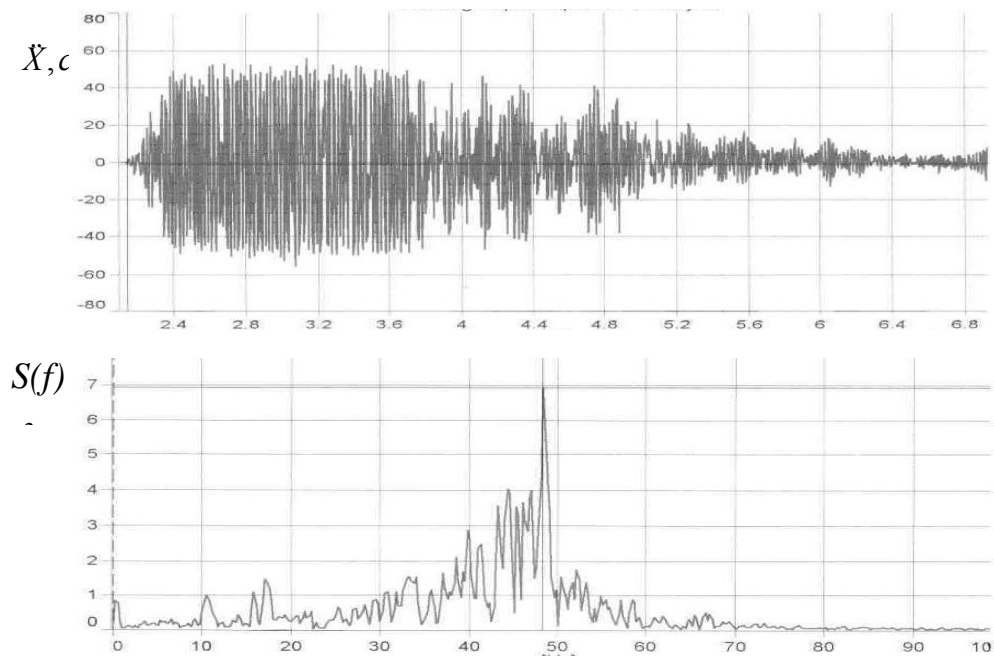


Рис. 3.45 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних прискорень ґрунту в основі будівлі по вул. Ярославській, 1 при впливі вибухів

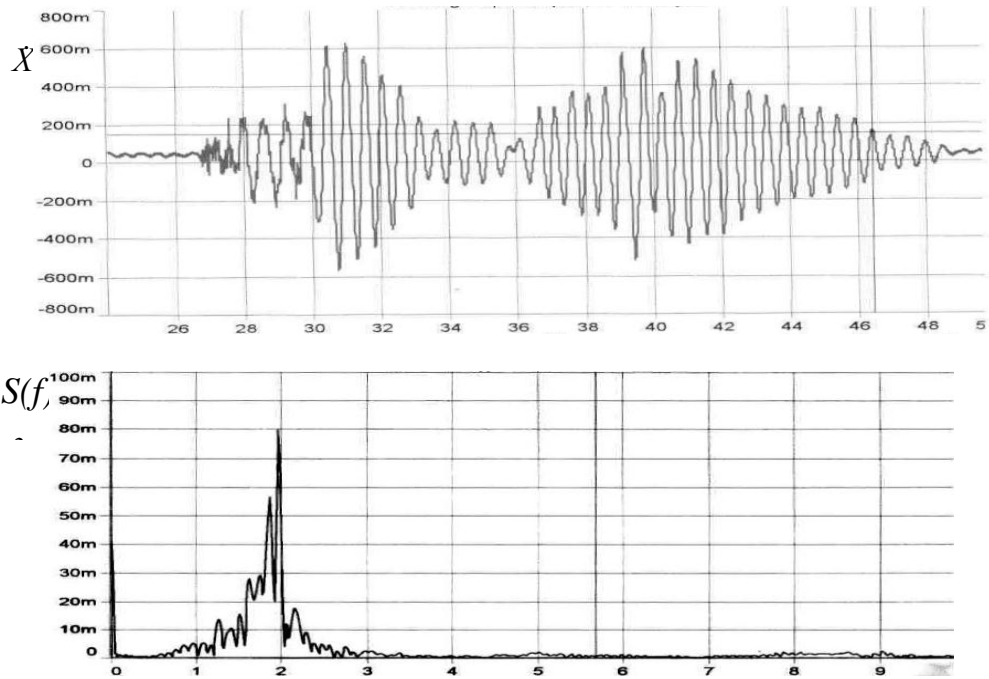


Рис. 3.46 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних швидкостей 9-го поверху будинку №57 в м-ні "Всебратьське-2" при впливі вибухів

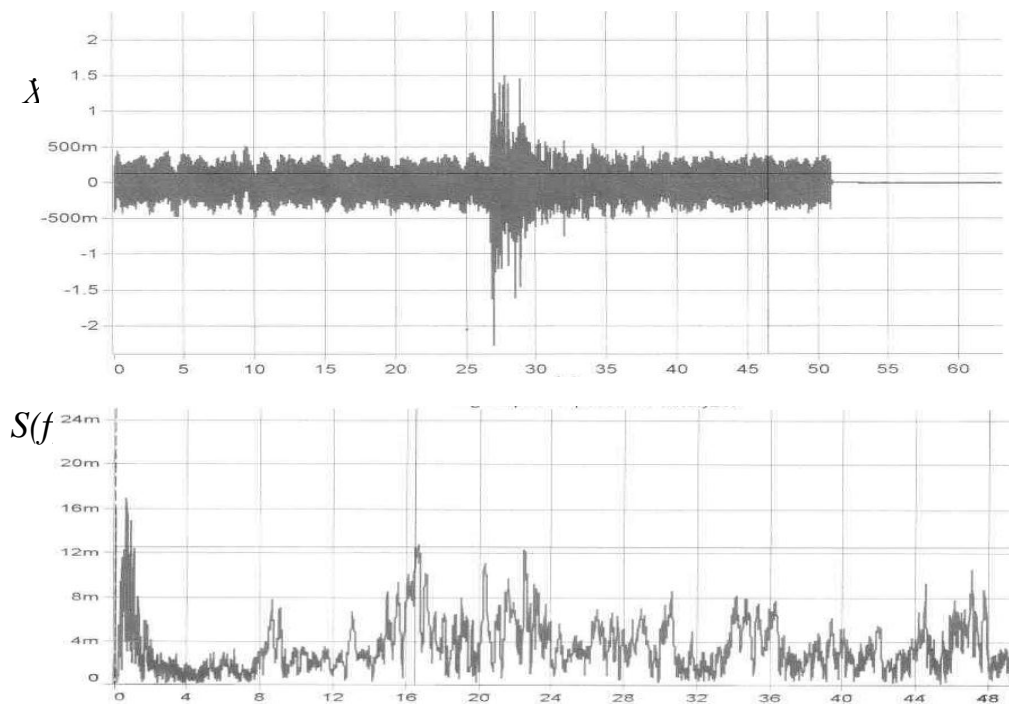


Рис. 3.47 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних прискорень ґрунту біля будинку №57 в м-ні "Всебратьське-2" при впливі вибухів

Значення переважних частот коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь»

|  | Переважні частоти $f$ , Гц |
|--|----------------------------|
| Ґрунт по вул. Обручева                 | 9,4; 18                    |
| Ґрунт по вул. Чайковського             | 7; 14; 17,2; 20,3; 25      |
| Ґрунт по вул. Ярославській             | 11; 18; 44; 48             |
| Ґрунт у м-ні "Всебратьське-2"          | 1; 9; 13; 17; 21; 23       |
| Фундамент Церкви по вул. Обручева      | 11,7; 32,03; 35            |
| Фундамент будівлі по вул. Чайковського | 3,9; 9,4; 19,5; 20,3       |
| Дзвіниця Церкви по вул. Обручева       | 6,25                       |
| Ґрунт по вул. Мініна                   | 12; 21; 44                 |

### 3.2.8 Висновки за результатами вібродинамічних обстежень

На основі отриманих фактичних рівнів прискорень і віброшвидкості ґрунту і конструкцій обстежених будівель можна зробити наступні висновки:

1. Зареєстровані при вибухових значеннях віброприскорення ґрунту в основі будівлі досягають таких значень: вул. Обручева, 14: 17,5 см/с<sup>2</sup>; вул. Мініна: 21 см/с<sup>2</sup>; вул. Чайковського, 46: 7,7 см/с<sup>2</sup>; вул. Ярославська, 1: 57 см/с<sup>2</sup>; м-н. "Всебратьське-2", 57: 2,4 см/с<sup>2</sup>.

2. Зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в основі будівель знаходяться в діапазоні 0,03-0,8 см/с, що відповідає 1-3 балам за шкалою сейсмічної інтенсивності при вибухах [52].

3. Аналіз спектрів прискорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 1-48 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. Крім того, за рекомендаціями [60], з метою виключення осідання фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15 см/с<sup>2</sup>.

4. На рисунку 3.48 наведена рекомендація за результатами обробки дослідних даних - залежність прискорення ґрунту при впливі вибуху від приведеної



відстані  $R_{пр}$ . З рисунка 3.48 випливає, що при проведенні масових вибухів на кар'єрах №2-біс і №3 РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь" приведені відстані необхідно приймати:  $R_{пр} \geq 52$ , що забезпечує прискорення ґрунту менше  $15 \text{ см/с}^2$ .

5. Зазначимо, що для уточнення залежності " $\ddot{a}-R_{пр}$ ", приведеної на рис. 3.48, необхідно продовжити контрольні вимірювання прискорень при різних значеннях  $R_{пр}$ .

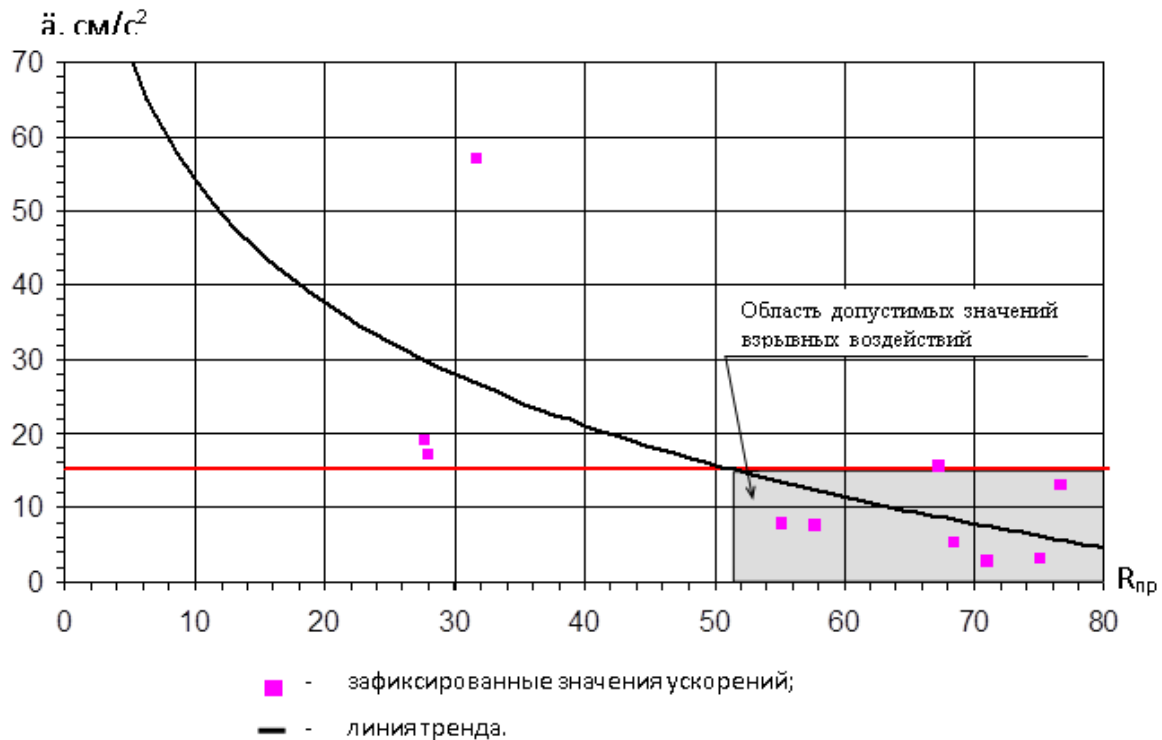


Рисунок 3.48 – Графік залежності ускорення ґрунта  $\ddot{a}$  при впливі вибуха від приведенного расстояния  $R_{пр}$ .

### 3.3. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «ЦГЗК»

Натурні вимірювання рівнів вібраційного і шумового впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат" (ЦГЗК) були проведені 20 травня, 17 і 24 червня 2005 року [106]. Матеріали, що містять інформацію про масові вибухи, підготовані Центром екологічних досліджень та аудиту ТОВ "Укрбурвибух" (м. Кривий Ріг). Дані матеріали включають в себе:

- розташування блоків, що підриваються;
- коротка геологічна характеристика блоків;
- черговість підривання і час горіння блоків;
- обсяг використання вибухових речовин і засобів підривання;

- обсяг підірваної гірничої маси;
- геологічні розрізи;
- метеорологічні параметри на момент вибуху.

В якості об'єктів досліджень були обрані (рис. 3.49):

- при масовому вибуху 20.05.05 на Глєєватському кар'єрі №1 ЦГЗК - п'ятиповерховий житловий будинок по вул. Кремлівській, 13;
- при масовому вибуху 17.06.05 на Глєєватському кар'єрі №1 ЦГЗК - двоповерхова будівля школи по вул. Планетарній, 47 в сел. Верабово Жовтневого району;
- при масовому вибуху 24.06.05 на Глєєватському кар'єрі №1 ЦГЗК - будівля Свято-Володимирського кафедрального собору по вул. Клубній.

Основним критерієм при виборі об'єктів дослідження було розташування будівель в межах або в безпосередній близькості до меж санітарної зони кар'єрів. Крім того, бралися до уваги поверховість будівель, їх технічний стан.

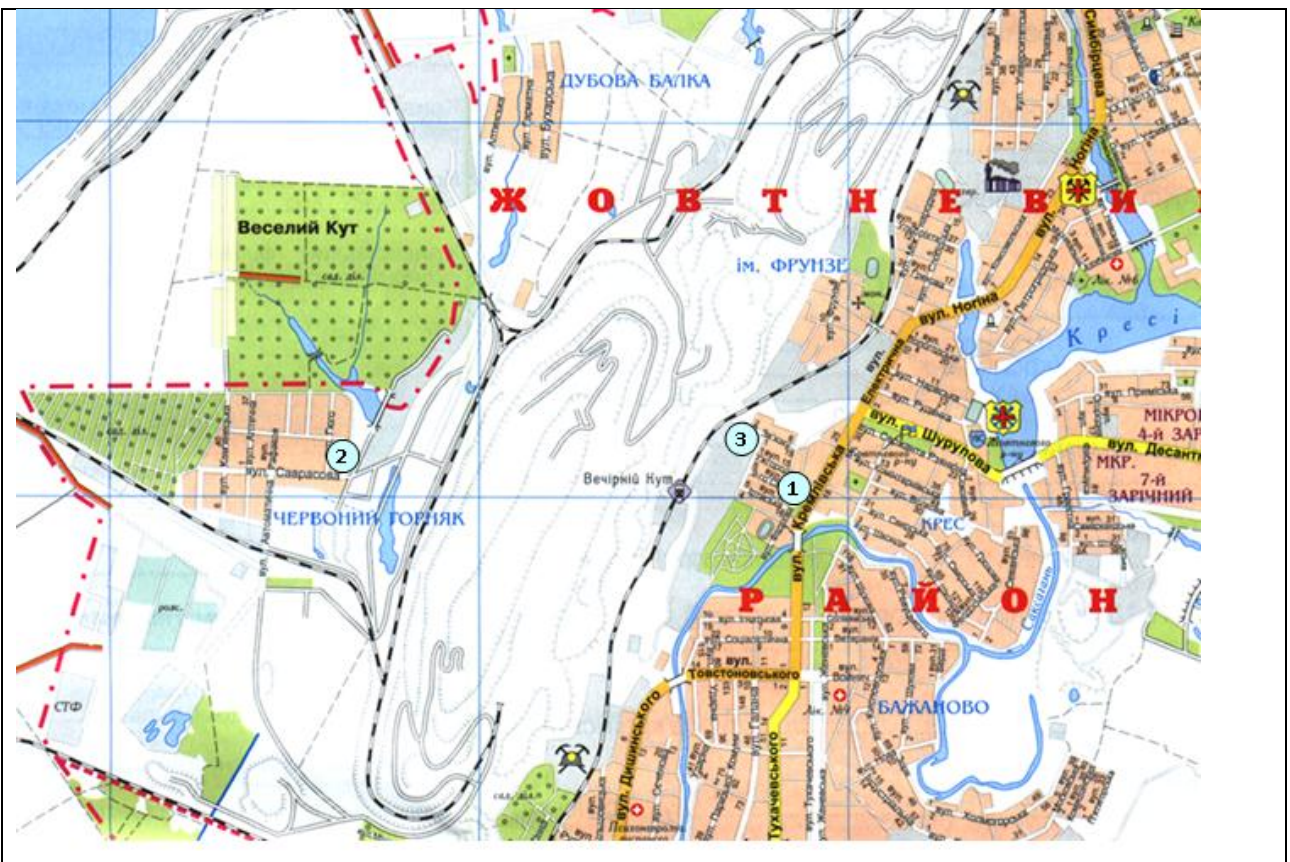


Рис. 3.49 – Ситуаційний план району Глєєватського кар'єру ВАТ "ЦГЗК" та розміщення об'єктів дослідження (дата): 1 - житловий будинок по вул. Кремлівській, 13 (20.05.05); 2 - будівля школи по вул. Планетарній, 47 в сел. Верабово (17.06.05); 3 - будівля Свято-Володимирського кафедрального собору по вул. Клубній (24.06.05)

### 3.3.1. Будівля по вул. Кремлівській, 13

Житловий будинок по вул. Кремлівській, 13 побудовано в 1958-1959 рр. Будівля п'ятиповерхова, прямокутна в плані. Конструктивна схема будівлі - з поздовжніми і поперечними несучими стінами, виконаними з цегли на вапняно-цементному розчині. Зовнішні стіни товщиною 51 см, внутрішні - товщиною 38 см. Міжповерхові перекриття і сходові марші - збірні залізобетонні. Вікна дерев'яні зі спареними рамами; скління подвійне зі склом товщиною 3-4 мм. В результаті візуального обстеження виявлено значні тріщини в зовнішніх несучих стінах головного і дворового фасаду (рис. 3.50 і 3.51). Вертикальні тріщини поширюються по всій висоті стін, ширина розкриття тріщин досягає у верхній частині 3 см.



Рис. 3.50 – Вертикальні тріщини в стіні житлового будинку по вул. Кремлівській, 13

Рис. 3.51 – Похилі тріщини в підвіконній частині стіни житлового будинку по вул. Кремлівській, 13

У підвіконній частині є похилі тріщини з шириною розкриття до 1.5 см. Аналогічні тріщини зафіксовані по всій довжині головного фасаду. Згідно з діючими нормативними документами [108, 109] стан стіни будівлі в основному відповідає III

категорії - не придатно до нормальної експлуатації.

В аналогічних будівлях, розташованих по непарній стороні вул. Кремлівської, спостерігаються пошкодження такого ж характеру.

### **3.3.2. Будівля по вул. Планетарній, 47**

Будівля школи по вул. Планетарній, 47 в селищі Верабово Жовтневого району побудована в 50-х роках минулого століття.

Будівля двоповерхова, Г-подібна в плані, без підвалу. Будівля є єдиною двоповерховою будівлею в селищі. Решта забудови - одноповерхові приватні будинки.

Фундаменти будівлі стрічкові, з бутового каменю. Стіни виконані з пиляного вапняку, оштукатурені з обох сторін. Міжповерхове перекриття - дерев'яне, стелі оштукатурені по дранці. Дах двоскатний, по дерев'яних кроквах. Вікна в будівлі школи дерев'яні з роздільними рамами; скління подвійне, товщина скла 4 мм, відстань між шибками – 120 мм.

На момент проведення досліджень більшість приміщень школи пустують в зв'язку з відсутністю необхідності здійснювати навчальний процес в сел. Верабово. Кілька приміщень другого поверху зайняті місцевим відділенням зв'язку.

Приміщення будівлі знаходяться в задовільному стані, є невеликі за площею відшарування штукатурки і горизонтальні тріщини на стінах і стелі (рис. 3.52).



Рис. 3.52 – Горизонтальні тріщини в місці сполучення стіни і стелі в приміщенні школи по вул. Планетарній, 47 в селищі Верабово

Огляд несучих стін виявив ряд пошкоджень і дефектів, а саме:

- є незначні відколи каменів вапняку (рис. 3.53);
- в підвіконній частини є похилі тріщини, що йдуть як по вертикальних і горизонтальних швах, так і по тілу каменів (рис. 3.53 і 3.54). Ширина розкриття тріщин досягає 7-8 мм;
- в стінах сходової клітки спостерігаються вертикальні тріщини, що розташовані з різним кроком і мають ширину розкриття до 2 мм



Мал. 3.53 - Похилі тріщини в стіні будівлі школи по вул. Планетарній, 47 в селищі Верабово



Рис. 3.54 – Похилі тріщини в стіні будівлі школи по вул. Планетарній, 47 в селищі Верабово

### 3.3.3. Будівля по вул. Клубній

Будинок побудований в 50-х роках минулого століття (рис. 3.55). До середини 90-х років експлуатувався як Будинок культури. У 1998 році передано Українській Православній Церкві для облаштування Свято-Володимирського кафедрального собору. Будь-яких конструктивних заходів у зв'язку з використанням будівлі в якості культової споруди не проводилося.

Будівля прямокутна в плані, двоповерхова, крім одноповерхової частини залу для глядачів. Стіни цегляні, оштукатурені з двох сторін. Міжповерхові перекриття - дерев'яні. Стелі - штукатурка по дранці. Дах - по дерев'яних кроквяних конструкціях, двоскатний. Вікна в будівлі собору дерев'яні з роздільними рамами; скління подвійне, товщина скла – 3 мм, відстань між шибками – 150мм. Головний фасад прикрашений шістьма колонами круглого перетину, розташованими на окремих фундаментах, і балконами, мають виходи з другого поверху.



Мал. 3.55 - Загальний вигляд будівлі Свято-Володимирського кафедрального собору по вул. Клубній

З боку заднього фасаду є одноповерхова прибудова з підвалом, що з'єднує будинок собору з одноповерховим цегляним будинком більш ранньої побудови. Будівля є збереженою частиною православного храму, що раніше знаходився на місці клубу і, можливо, має історико-культурологічну цінність.

В результаті огляду несучих стін, будь-яких значних дефектів і пошкоджень цегляної кладки не виявлено. Перекриття над балконною частиною головного фасаду знаходиться в поганому стані, спостерігаються обвалення окремих частин штукатурки.

### **3.3.4. Вимірюван рівнів вібрації**

#### *Програма і методика вимірювання вібрації*

Вимірювання рівнів вібрації проведені в травні-червні 2005 року лабораторією динамічних випробувань будівельних конструкцій Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій.

Для реєстрації динамічної реакції ґрунту і конструкцій будівель при вібраційному впливі масових вибухів в кар'єрах ЦГЗК, була розроблена відповідна методика вібродинамічних досліджень.

Завданнями натурних динамічних обстежень є:

- вимірювання коливань ґрунту на межі санітарної зони кар'єру на різних відстанях від місця вибуху при впливі масових вибухів в кар'єрі;

- вимірювання коливань конструкцій будівель, що знаходяться в безпосередній близькості або в межах санітарної зони кар'єру при впливі масових вибухів в кар'єрі.

Методика інструментальних (віброметричних) обстежень передбачала вимірювання віброприскорення і віброшвидкості ґрунту і будівельних конструкцій в вертикальному і двох горизонтальних напрямках (по осях X і Y) згідно з ДБН 360-92 \*\* [103] і ГОСТ 12.1.012-90 [104].

Реєстрація вібросигналів виконувалася однокомпонентними датчиками ДН-3-М1 і СМ-3 і багатокомпонентними датчиками 4321 фірми "Brüel & Kjaer" (Данія) з посиленням сигналів за допомогою вимірювачів вібрації і шуму марки ВШВ-003-М2 і віброшумоміра "Brüel & Kjaer" 2237. Запис вібросигналів виконувався в прямому режимі на восьмиканальний магнітофон РС208Ах фірми «SONY» (рис. 3.35).

На весь набір апаратури, яка застосовувалася для вимірювання віброприскорень і запису вібросигналів, є свідоцтва про перевірку, видані УкрЦСМ:

- магнітофон «SONY» РС208Ах (сер. № Е3874) - свідоцтво №22-00/055929 від 10.08.04;
- вимірювачі вібрації і шуму ВШВ-003-М2 (№№ 1311 і 4951) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;
- інтегруючий віброшумомір 2237 (№ 2088856) - свідоцтво №22-00/055928 від 10.08.04;
- однокомпонентні датчики ДН-3-М1 (№№ 3726 і 5203) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;
- сейсмоприймач СМ-3 (№ 208) - свідоцтво №22-00/055959 від 18.08.04;
- багатокомпонентні датчики (акселерометри) «Brüel & Kjaer» 4321 (№2165380) і 4505 (№2086506) - свідоцтва №22-00/05592727 та 22-00/05592728 від 10.08.04.

Записи проводилися в денний час.

В рамках розробленої методики для всіх об'єктів були реалізовані наступні схеми розміщення датчиків:

Схема 1 - призначена для вимірювання віброприскорення і віброшвидкості



грунту, датчики встановлені в наступних точках:

т. 1 - на відстані 1-4 м від будівель;

т.т. 2 і 3 - на відстані ~ 70-100 м ближче і далі від т.1 у напрямку розповсюдження вибухової хвилі.

Схема 2 - призначена для вимірювання віброприскорення і віброшвидкості конструкцій будівель, датчики встановлені в наступних точках:

т. 4 - на фундаменті будівель; т. 5 - на несучих конструкціях будівель:

- для житлового будинку по вул. Кремлівській, 13 - на стіні в рівні 4-го поверху;

- для будівлі школи по вул. Планетарній, 47 - на стіні в рівні 2-го поверху;

- для будівлі Свято-Володимирського кафедрального собору по вул. Клубній - на перекритті (підлозі 2-го поверху).

Розстановка датчиків згідно зі схемами 1 і 2 показана на рис. 3.8.

### 3.3.5. Результати динамічних досліджень

Фактичні дані зареєстрованих параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій при впливі масових вибухів на кар'єрах ВАТ "ЦГЗК" наведені в таблицях 3.12 - 3.14. Для порівняння в таблицях наведені значення мікросейсмічних коливань ґрунту і конструкцій при впливі фонові вібрації.

Таблиця 3.12

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій будівлі по вул. Кремлівській, 13 при впливі масового вибуху 20.05.05 на Глєсватському кар'єрі ЦГЗК

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | 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 поверху | віброприскорення     | X                 | 0,8                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 6,4                   | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в см/с<sup>2</sup>; віброшвидкості - в см/с.

Таблиця 3.13

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій школи по вул. Планетарній, 47 при впливі масового вибуху 16.06.05 на Глєєватському кар'єрі ЦГЗК

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків   | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі              | віброприскорення     | X                 | 3,1                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 12,9                  | вибух                      |
|                          | ґрунт в 100 м від будівлі – т.2 | віброприскорення     | X                 | 3,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 9,8                   | вибух                      |
|                          | ґрунт в 100 м від будівлі – т.3 | віброприскорення     | X                 | 3,8                   | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 18,1                  | вибух                      |
| 2                        | стіна будівлі в рівні 2 поверху | віброшвидкість       | X                 | 0,03                  | фонова вібрація            |
|                          |                                 |                      |                   | 0,43                  | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ ; віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Таблиця 3.14

Результати вимірювання параметрів вібрації ґрунту і будівельних конструкцій собору по вул. Клубній при впливі масового вибуху 17.06.05 на Глєєватському кар'єрі ЦГЗК

| Схема установки датчиків | Місце установки вібродатчиків  | Вимірюваний параметр | Напрямок коливань | Максимальна амплітуда | Джерело динамічного впливу |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1                        | ґрунт біля будівлі             | віброприскорення     | X                 | 3,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 14                    | вибух                      |
|                          | ґрунт в 30 м від будівлі – т.2 | віброприскорення     | X                 | 3,2                   | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 15                    | вибух                      |
|                          | ґрунт біля будівлі             | віброшвидкість       | Z                 | 0,06                  | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 0,2                   | вибух                      |
| 2                        | фундамент будівлі              | віброприскорення     | X                 | 0,42                  | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 1,3                   | вибух                      |
|                          | Перекриття (підлога 2 поверху) | віброшвидкість       | X                 | 0,05                  | фонова вібрація            |
|                          |                                |                      |                   | 0,16                  | вибух                      |

**Примітка.** У всіх таблицях значення віброприскорень наведені в  $\text{см}/\text{с}^2$ ; віброшвидкості - в  $\text{см}/\text{с}$ .

Для визначення амплітуд зареєстрованих прискорень конструкцій і ґрунту виконана обробка вібросигналів і їх спектральний аналіз за спеціалізованою програмою ПОС [105]. Результати наведені на рисунках 3.56 - 3.63

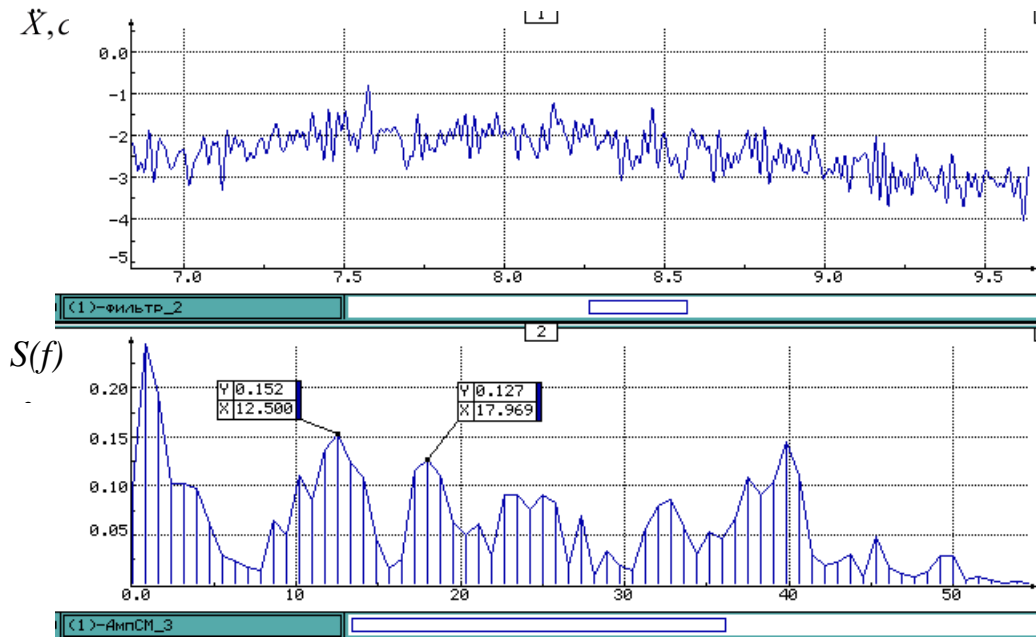


Рис. 3.56 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень стіни будівлі по вул. Кремлівській при впливі фонові вібрації

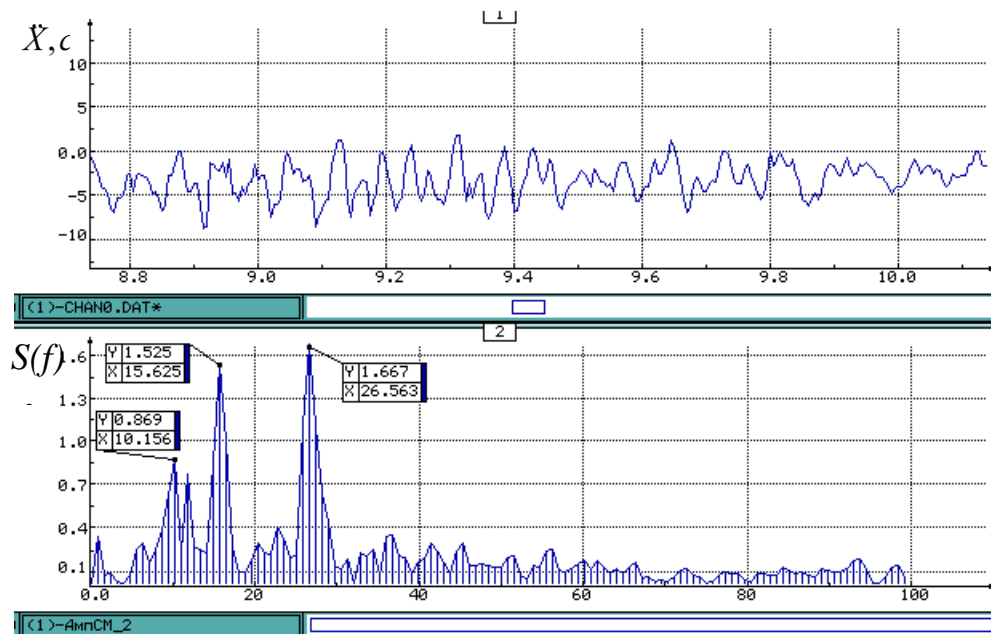


Рис. 3.57 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень стіни будівлі по вул. Кремлівській при впливі вибуху

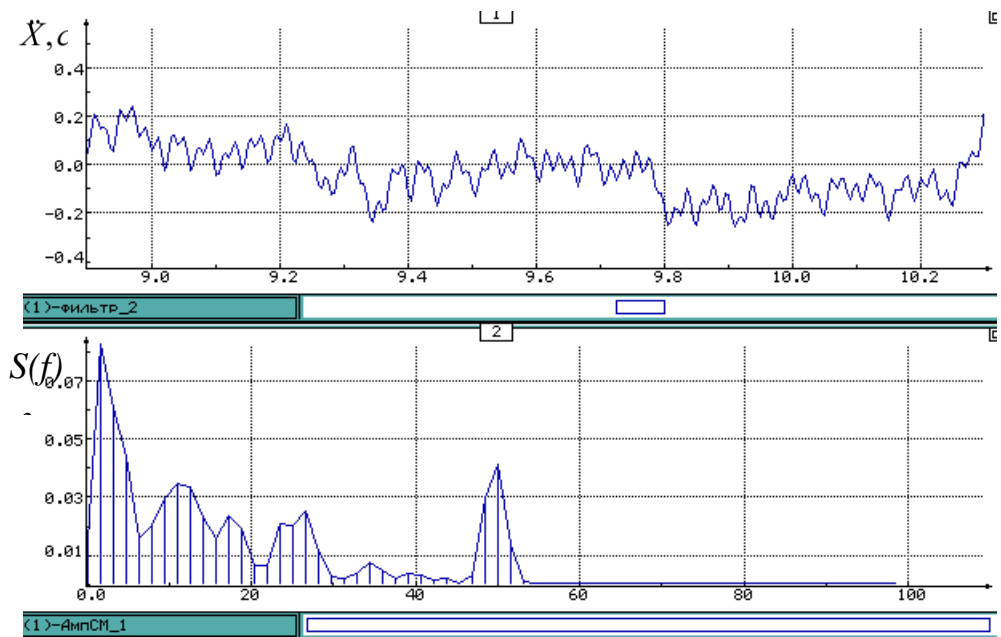


Рис. 3.58 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі собору по вул. Клубній при впливі фонові вібрації

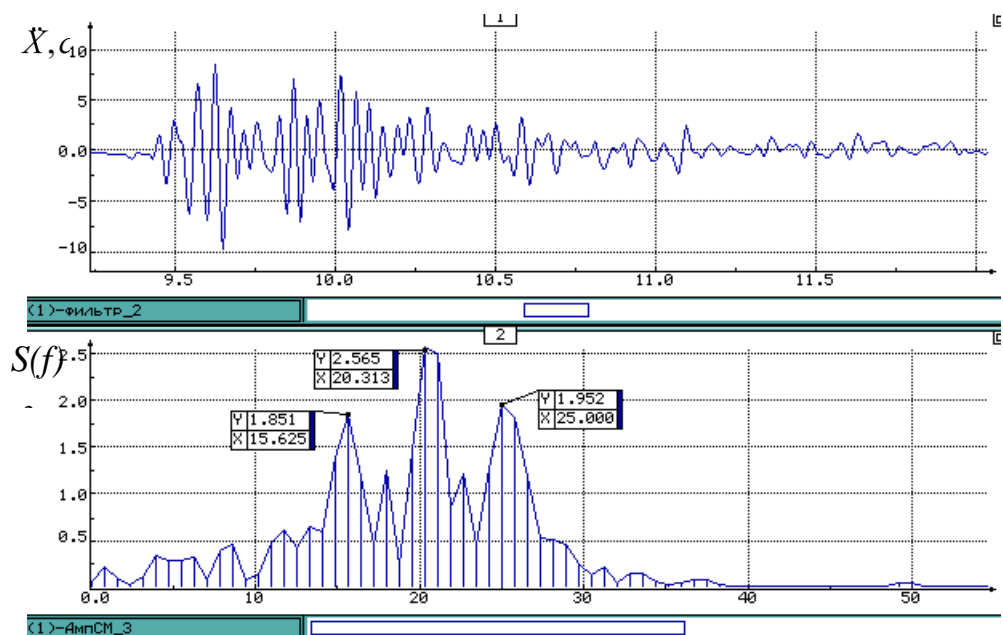


Рис. 3.59 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень ґрунту біля будівлі собору по вул. Клубній при впливі вибуху

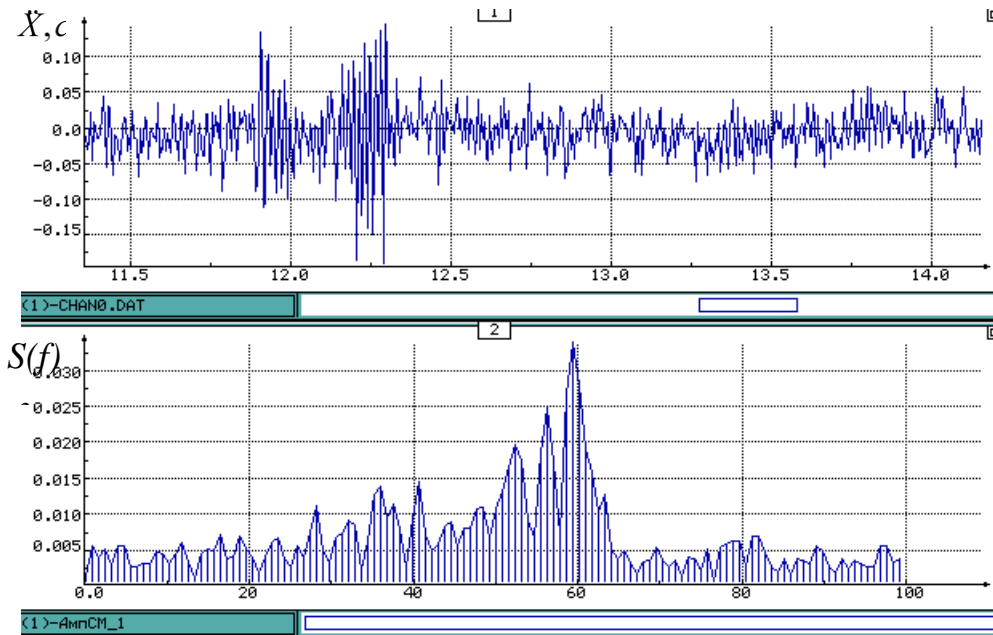


Рис. 3.60 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень фундаменту собору по вул. Клубній при впливі фонові вібрації

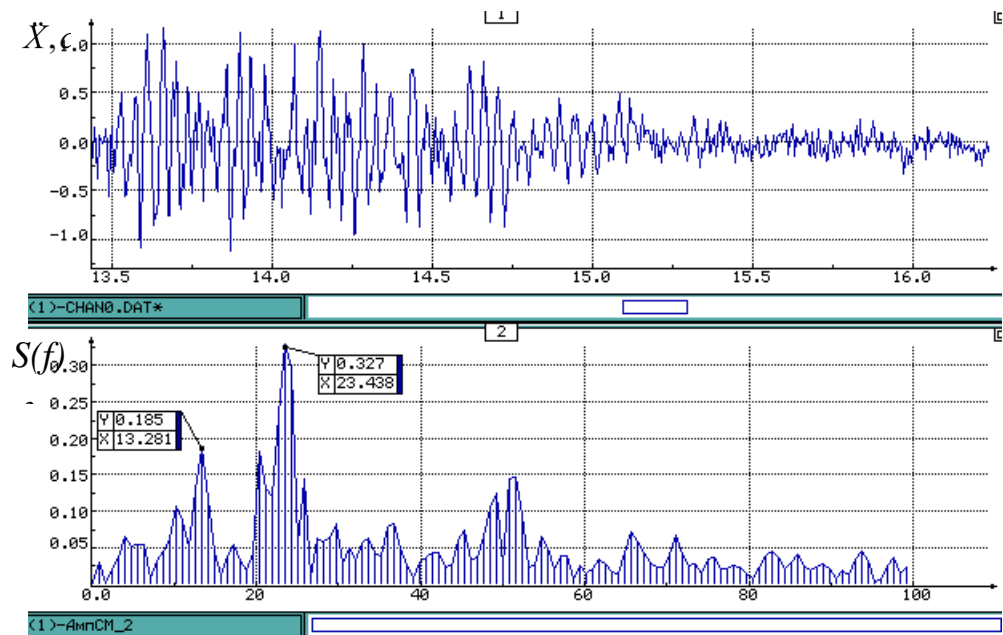


Рис. 3.61 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальних (уздовж осі X) віброприскорень фундаменту собору по вул. Клубній при впливі вибуху

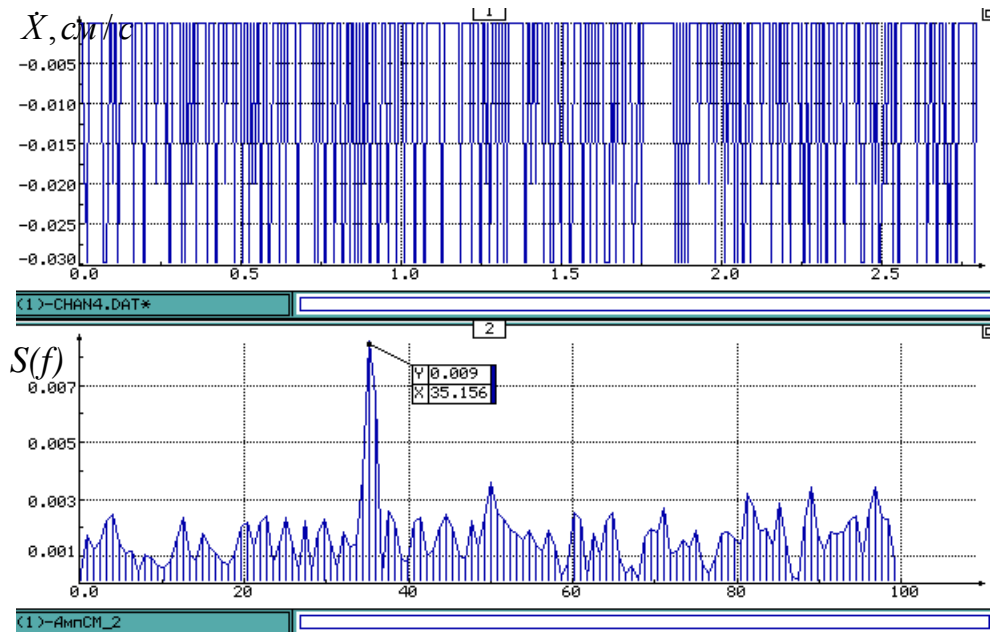


Рис. 3.62 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній при впливі фонові вібрації

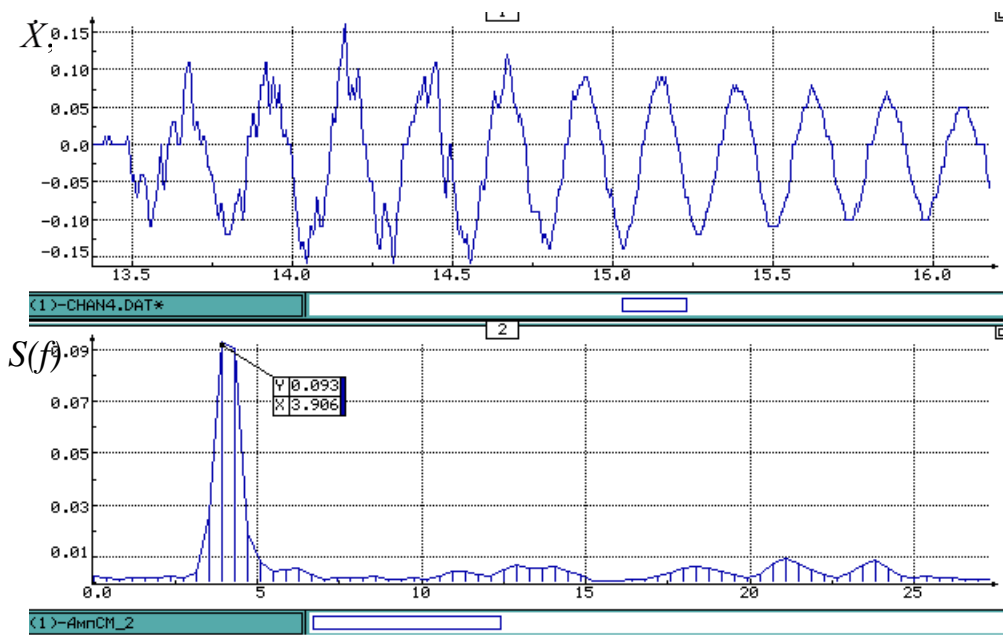


Рис. 3.63 - Вібрація і амплітудний спектр горизонтальної (уздовж осі X) віброшвидкості перекриття собору по вул. Клубній при впливі вибуху

Значення переважних частот коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на Глесватському кар'єрі ЦГЗК

|                                    | Переважні частоти $f$ , Гц |
|------------------------------------|----------------------------|
| Ґрунт по вул. Кремлівській         | 14                         |
| Ґрунт по вул. Планетарній          | 6,25; 10,1; 27,3; 28,1     |
| Ґрунт по вул. Клубній              | 15,6; 20,3; 25             |
| Стіна будинку по вул. Кремлівській | 10,2; 15,6; 25,6           |
| Стіна школи сел. Верабово          | 4,6; 6,2                   |
| Фундамент собору                   | 13,3; 23,4                 |
| Перекриття собору                  | 3,9; 4,3                   |

### 3.3.6. Висновки за результатами вібродинамічних обстежень

На основі отриманих фактичних рівнів прискорень і віброшвидкості ґрунту і конструкцій обстежених будівель можна зробити наступні висновки:

1. Зареєстровані при вибухових значеннях віброприскорення ґрунту в основі будівлі досягають таких значень: вул. Кремлівська, 13: 18 см/с<sup>2</sup>; вул. Планетарна, 47: 13 см/с<sup>2</sup>; вул. Клубна: 14 см/с<sup>2</sup>.

2. Зареєстровані при вибухах значення віброшвидкості ґрунту в основі будівель знаходяться в діапазоні 0,1-0,47 см/с, що становить 1-3 бали за шкалою сейсмічної інтенсивності при вибухах [52].

3. Аналіз спектрів прискорень ґрунту при вибухах дозволив встановити, що домінуючі частоти знаходяться в діапазоні 10-28 Гц. Це підтверджує можливість коливань конструкцій будівель (перекриття, стіни) в режимі, близькому до резонансного. Крім того, за рекомендаціями [60], з метою виключення осідання фундаментів будівель при вибухах, прискорення ґрунту потрібно обмежувати значенням 15 см/с<sup>2</sup>.

4. На рисунку 3.64 наведена рекомендація за результатами обробки дослідних даних - залежність прискорення ґрунту  $\ddot{a}$  при впливі вибуху від приведеної відстані  $R_{np}$ . Приведена відстань визначається за формулою:

$$R_{np} = \frac{R}{\sqrt[3]{m}}, \quad (4.1)$$

де  $R$  – відстань від заряду, блоку до місця реєстрації прискорення ґрунту, м;  
 $m$  – маса вибухової речовини, яка використовується для підривання блоку, кг.

З рисунка 3.64 випливає, що при проведенні масових вибухів на Глеєватському кар'єрі ЦГЗК наведені відстані необхідно приймати:  $R_{пр} \geq 42$ , що забезпечує прискорення ґрунту менше  $15 \text{ см/с}^2$ .

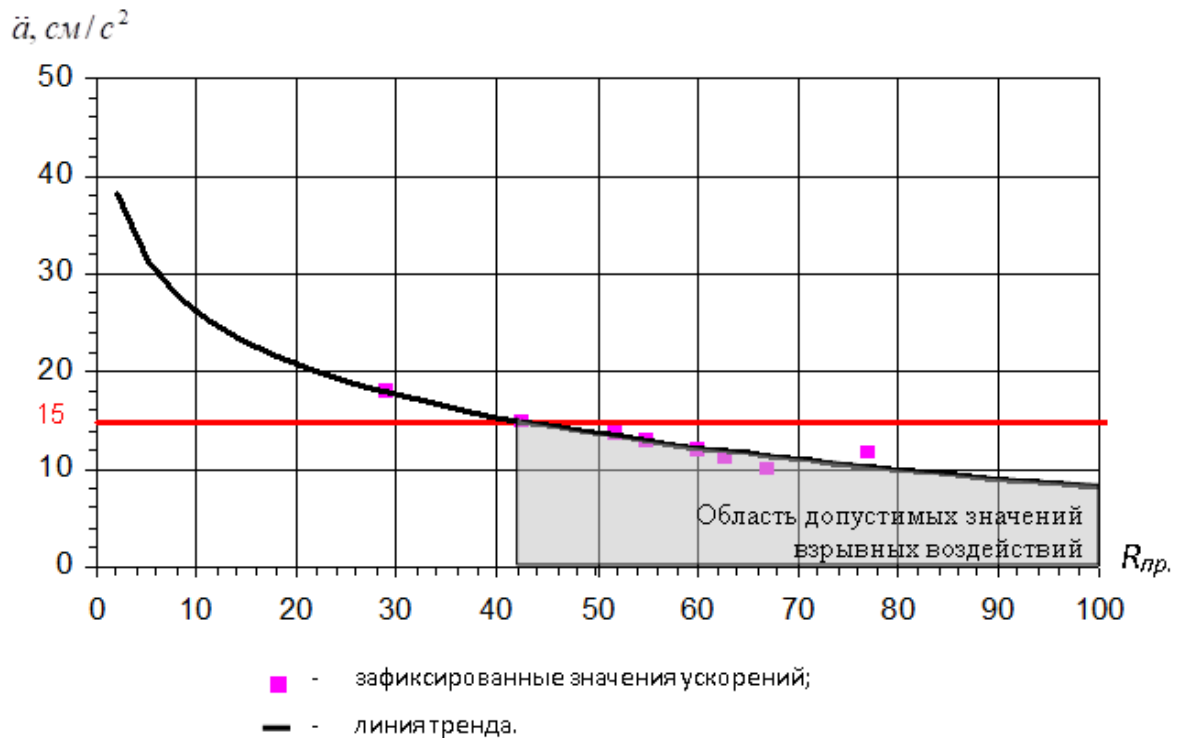


Рисунок 3.64 – График зависимости ускорения ґрунта  $\ddot{a}$  при воздействии взрыва от приведенного расстояния  $R_{пр}$ .

### 3.4. Висновки за розділом 3.

Значення переважних частот коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель наведені в таблицях 3.16-3.18.

Таблиця 3.16

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК»

|   | Переважні частоти $f$ , Гц           |
|---|--------------------------------------|
| Ґрунт по вул. Бірюзова                        | 27-31                                |
| Ґрунт по вул. Сестроріцька                    | 2; 4; 6,5; 32,3                      |
| Стіна будинку по вул. Бірюзова                | 2; 6,3; 15,2; 18,4; 24,1; 32,2; 37,7 |
| Переkritтя будівлі школи по вул. Сестроріцька | 3,2; 4,5; 7,2; 8,6; 15,3; 32,6; 45,1 |



Таблиця 3.17

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на Глесватському кар'єрі ЦГЗК

|                                    | Переважні частоти $f$ , Гц |
|------------------------------------|----------------------------|
| Ґрунт по вул. Кремлівській         | <b>14</b>                  |
| Ґрунт по вул. Планетарній          | 6,25; 10,1; 27,3; 28,1     |
| Ґрунт по вул. Клубній              | 15,6; 20,3; 25             |
| Стіна будинку по вул. Кремлівській | 10,2; 15,6; 25,6           |
| Стіна школи сел. Верабово          | 4,6; 6,2                   |
| Фундамент собору                   | 13,3; 23,4                 |
| Перекриття собору                  | 3,9; 4,3                   |

Таблиця 3.18

Переважні частоти вимушених горизонтальних коливань ґрунту і будівельних конструкцій будівель при впливі масових вибухів на кар'єрах РУ ГЗК ВАТ «Криворіжсталь»

|  | Переважні частоти $f$ , Гц |
|--|----------------------------|
| Ґрунт по вул. Обручева                 | <b>9,4; 18</b>             |
| Ґрунт по вул. Чайковського             | 7; 14; 17,2; 20,3; 25      |
| Ґрунт по вул. Ярославській             | 11; 18; 44; 48             |
| Ґрунт м-н. "Всебратське-2"             | 1; 9; 13; 17; 21; 23       |
| Фундамент Церкви по вул. Обручева      | 11,7; 32,03; 35            |
| Фундамент будівлі по вул. Чайковського | 3,9; 9,4; 19,5; 20,3       |
| Дзвіниця Церкви по вул. Обручева       | 6,25                       |
| Ґрунт по вул. Мініна                   | 12; 21; 44                 |

На основі отриманих фактичних рівнів віброшвидкостей і прискорень ґрунту і конструкцій обстежених будівель можна зробити наступні висновки:

1. Зареєстровані в 2005 р. при вибухах в кар'єрах Кривого Рогу значення віброшвидкості ґрунту в основі більше 10-ти об'єктів знаходяться в діапазоні 0,03-0,8 см/с, що відповідає інтенсивності 1-3 бали за шкалою сейсмічної інтенсивності при вибухах.

2. Відповідно до рекомендацій РСН 349-88 [4] в залежності від технічного стану малоповерхових (до 5 поверхів) будинків і споруд, допустима швидкість коливань ґрунту приймається рівною:

а. будівлі, що мають деформації:  $[V] = 0,8-1,5$  см/с (4 бали);

б. старі будинки, що мають деформації, які перевищують гранично допустимі (опади, крен, ширину розкриття тріщин):  $[V] = 0,4-0,8$  см/с (3 бали).

Таким чином, зареєстровані швидкості коливань ґрунту не перевищують допустимі відповідно до вимог РСН 349-88 [4].

3. Сейсмовибухові впливи на конструкції будівель і споруд відповідно до шкал, прийнятих в європейських країнах, оцінюються за значеннями прискорень ґрунту і нижнього поверху будівлі (фундаменту).

4. З метою виключення осідання фундаментів будівель при сейсмовибухових впливах, прискорення ґрунту біля будівель необхідно обмежувати значенням  $15 \text{ см/с}^2$  [5]. Для виконання даної вимоги рекомендується приймати масу вибухової речовини і безпечні відстані:

- a. на кар'єрах ВАТ "Північний ГЗК":  $m \leq 70000 \text{ кг}$ , відстань  $R \geq 1700 \text{ м}$ ;
- b. на кар'єрах №2-біс і №3 РУ ГЗК ВАТ "Криворіжсталь":  $m \leq 75000 \text{ кг}$ , відстань  $R \geq 2000 \text{ м}$ ;
- c. на Глеєватському кар'єрі ЦГЗК:  $m \leq 30000 \text{ кг}$ , відстань  $R \geq 1500 \text{ м}$ .

5. У відповідності до стандартів європейських країн, наприклад стандарту Польщі SWD-II [6], допустимі прискорення нижнього поверху будівель, що мають пошкодження (тріщини), необхідно приймати в діапазоні  $10\text{-}20 \text{ см/с}^2$  при частотах вибухових впливів від 10 Гц до 30 Гц.

6. Значення прискорень фундаментів і стін обстежених будівель склали:

- від  $25 \text{ см/с}^2$  до  $39 \text{ см/с}^2$  (вул. Сестроріцька і Бірюзова) при вибухах на кар'єрах ВАТ «Північний ГЗК»;
- від  $6 \text{ см/с}^2$  до  $39 \text{ см/с}^2$  під час вибухів на Глеєватському кар'єрі ЦГЗК;
- від  $1,8 \text{ см/с}^2$  до  $28,2 \text{ см/с}^2$  (вул. Ярославська, 1) під час вибухів на кар'єрах РУ ГЗК «Криворіжсталь».

Тобто необхідно приймати маси вибухової речовини і безпечні відстані, наведені вище в висновку 2.

7. Для встановлення впливу вибухових впливів на розкриття існуючих тріщин в будівлях «підвищеної відповідальності», розташованих на межі санітарно-захисної зони кар'єрів м. Кривого Рогу, необхідне проведення періодичних спостережень з установкою на тріщини маяків.

8. Рекомендуємо організувати моніторинг будівельних конструкцій двох будівель масового скупчення людей, розташованих на кордонах санітарно-захисних зон, в яких проводилися віброметричні вимірювання в травні-липні 2005 р., з метою уточнення картини впливу вибухів на зміну технічного стану будівель і споруд:

- будівлі середньої школи по вул. Сестроріцькій;
- будівлі Церкви Різдва Пресвятої Богородиці, збудованого в кінці 19-го століття.

## РОЗДІЛ 4. ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1. Натурні вимірювання рівнів вібраційного впливу при масових вибухах на кар'єрах ВАТ «Південний ГЗК»

Промисловий видобуток залізної руди у відкритому кар'єрі ВАТ «Південний ГЗК» Кривий Ріг почався в 1952 р. Кар'єр ВАТ «Південний ГЗК» в північній частині межує в безпосередній близькості з кар'єрами №3-біс і №2 ГЗК ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг». Ситуаційний план розміщення кар'єра «Південний ГЗК» і прилеглої інфраструктури представлений на рис. 4.1.

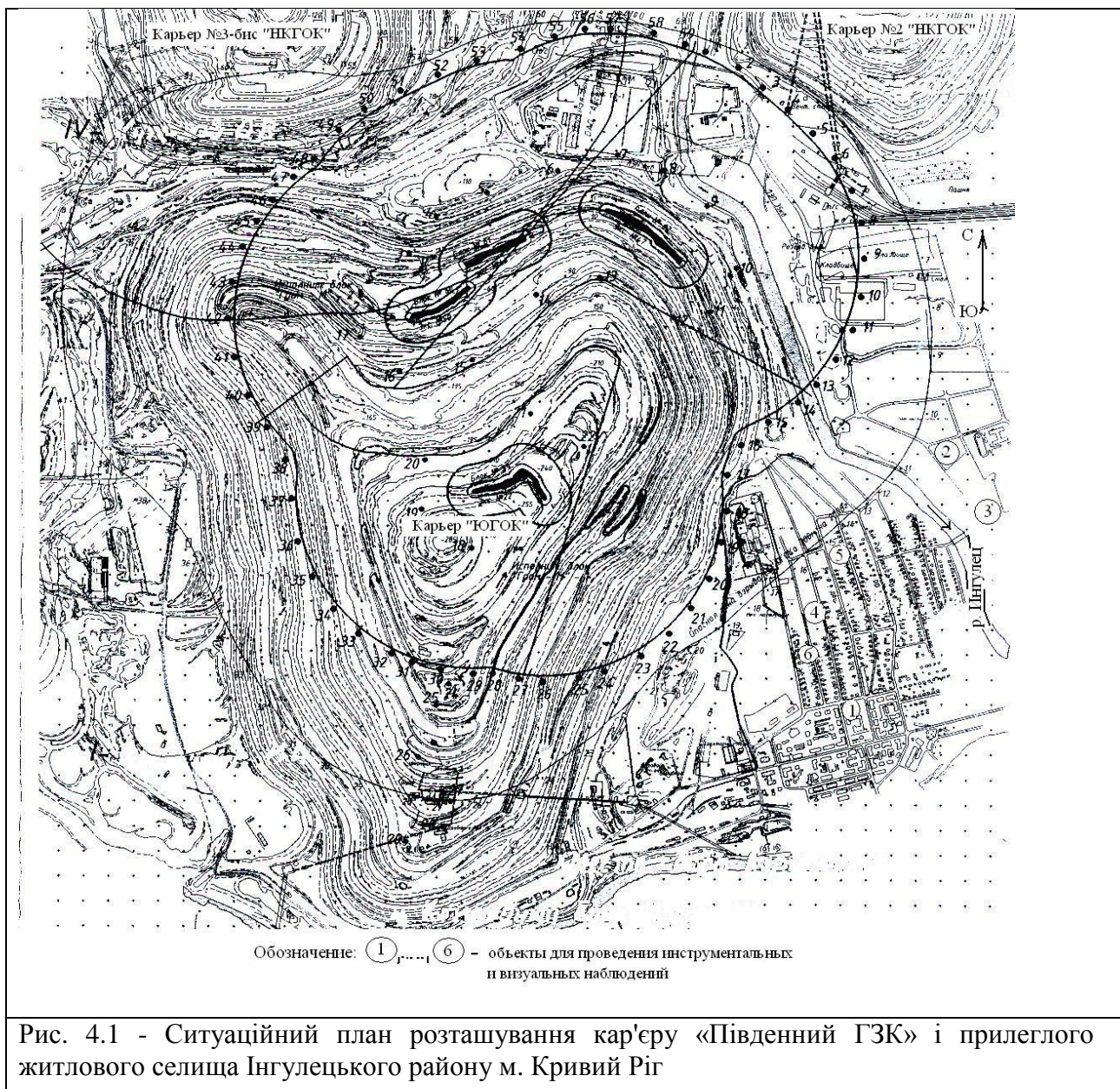


Рис. 4.1 - Ситуаційний план розташування кар'єру «Південний ГЗК» і прилеглого житлового селища Інгулецького району м. Кривий Ріг

Дні проведення вибухів в зазначених кар'єрах рознесені в часі на добу. В даний час при масових вибухах у кар'єрі «Південний ГЗК» в якості вибухової речовини (ВР) застосовуються «Граманіт 79/21» і емульсійні вибухові речовини. Нові технології, що застосовуються при ініціалізації вибуху, спрямовані на уповільнення горіння ВР і дозволили знизити рівень сейсмічного впливу і ударно-повітряної хвилі на ґрунт і будівлі, розташовані в безпосередній близькості до місця проведення вибухових робіт в кар'єрі. Разом з тим виконання робіт в кар'єрі пов'язано із застосуванням неелектричних систем ініціювання свердловинних зарядів. У порівнянні з застосуванням в якості ініціювання детонуючого шнура, досягається також зниження впливів сейсмічних і ударних повітряних хвиль на будівлі і споруди.

У безпосередній близькості від кар'єру в східному і південно-східному напрямку виросло селище гірників. В даний час селище, як частина міської території, розташовується за межами встановленої навколо кар'єра небезпечної зони вибуху шириною 700 м в смузі на відстані 1,5-3,0 км. В даний час селище представлене двома частинами - старою і новою, розділеними річкою Інгулець.

Стара частина селища гірників примикає до санітарної зони кар'єра і представлена одноповерховою приватною забудовою та двоповерховими будинками на 8 квартир з одним під'їздом. У цій частині селища розташована школа, дитячий дошкільний заклад, будівлі громадського харчування, адміністративні будівлі, виробничі будівлі та ін. Поверховість будівель соціального та адміністративного призначення становить не більше двох. У старій частині селища практично не проводиться будівництво нових об'єктів житлового призначення. Реконструкція житлового фонду та будівель громадського призначення проводиться як власниками, так і ВАТ «Південний ГЗК».

Нова частина забудови селища представлена переважно багатоповерховими будинками (до 5 поверхів). Є Центр дитячої творчості «Мрія», дошкільні, адміністративні установи та ін.

В даний час адміністрація міста Кривий Ріг на підставі раніше проведених спостережень і аналізу результатів психологічного впливу на населення, що проживає поблизу місць проведення вибухових робіт, встановила допустиму

кількість ВР для проведення масових вибухів в кар'єрі ВАТ «Південний ГЗК» масою не більше 550 т. Однак уже зараз очевидно, що вибух такої кількості ВР є стримуючим фактором для збільшення обсягу гірської маси, що видобувається, і видобутку залізної руди в кар'єрі.

Натурні вимірювання рівнів вібраційного і шумового впливу на ґрунт і будівлі при масових вибухах у кар'єрі ВАТ «Південний ГЗК» Кривий Ріг були проведені фахівцями НДІБК в 2008 р., 2010 р. та в 2012 р. За період червень-вересень 2008 р. було проведено 6 інструментальних спостережень за ґрунтом і будівлями різного призначення при вибухах [107]. В 2010 р. уточнювались параметри вибуху і його вплив на ґрунт та будівлі на основі двох обстежень

Для підтвердження можливості збільшення маси ВР з метою підвищення видобутку залізної руди в кар'єрі в 2012 р. було проведено уточнення параметрів сейсмічного впливу і повітряної ударної хвилі на будівлі і споруди при масових вибухах у кар'єрі «Південний ГЗК» за межами санітарної зони кар'єру [110]. В указаний період. було проведено 3 інструментальних спостережень за ґрунтом та будівлями при визначенні граничної маси ВР.

#### **4.1.1. Характеристика об'єктів досліджень**

В якості об'єктів досліджень Замовник вибрав наступні об'єкти соціально-культурного призначення та житлові будівлі із затвердженого списку об'єктів, за якими проводяться періодичні спостереження:

1. при масовому вибуху 11 червня - будівля середньої школи №67 по вул. Переяславській, 6;
2. при масовому вибуху 25 червня - будівля Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14;
3. при масовому вибуху 9 липня - Центр дитячої та юнацької творчості «Мрія» по вул. Мануїльського, 29;
4. при масовому вибуху 23 липня - одноповерховий приватний житловий будинок по вул. Правобережній, 39;
5. при масовому вибуху 13 серпня - одноповерховий приватний житловий будинок по вул. Прохолодній, 49;

- б. при масовому вибуху 10 вересня - одноповерховий приватний житловий будинок по вул. Твардовського, 23.

Основним критерієм при виборі об'єктів дослідження було розташування будівель в межах або в безпосередній близькості до меж санітарної зони кар'єрів. Крім того, бралися до уваги поверховість будівель, їх технічний стан. Всі об'єкти, вибрані для спостережень, мають термін служби більше 50 років (крім Центру дитячої творчості) і не належать за своїм технічним станом до категорії «старих». При наявності в зазначених будинках тріщин і відсутності пошкоджень вони можуть бути віднесені до III-ї зони відповідно до шкали SWD-II для оцінки віброприскорень при масових вибухах.

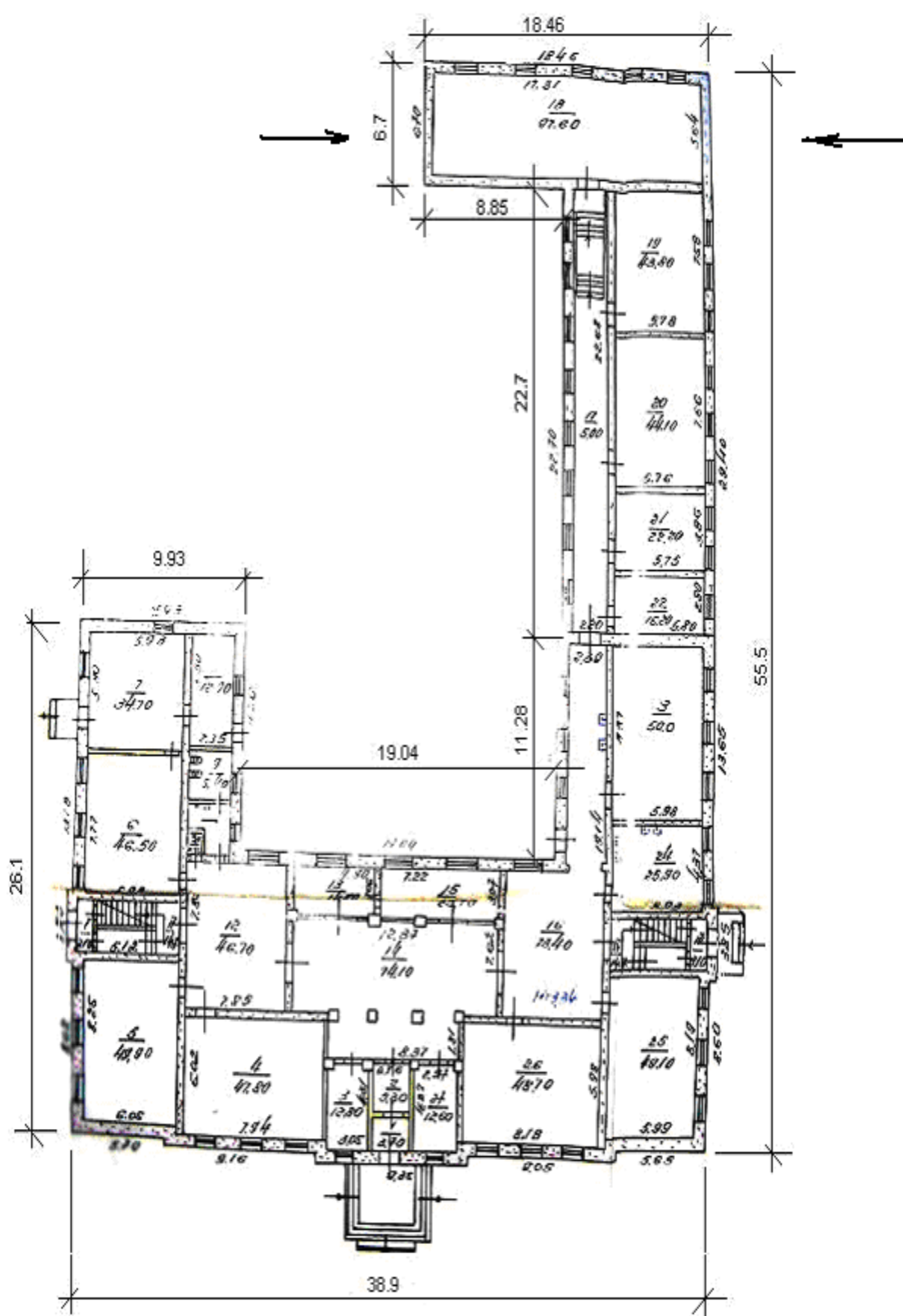
*Будівля середньої школи №67 по вул. Переяславській, 6*

Загальний вигляд школи представлений на рис. 4.2. Школа має два поверхи. Побудована в 1952 р. Стіни школи цегляні на вапняному розчині.



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд школи №67 по вул. Переяславській, 6

На рис. 4.3 представлений план першого поверху школи. На момент проведення віброметричних вимірювань в фундаменті і на поверхні стін (вказані стрілками) були виявлені тріщини. Для оцінки їх розвитку в період проведення вибухів на тріщини були поставлені маяки.



Обозначение:

→ - вид на стену с трещинами

Рисунок 4.3 – План первого поверху школы №67

Результати спостережень за тріщинами представлені на рис. 4.4.

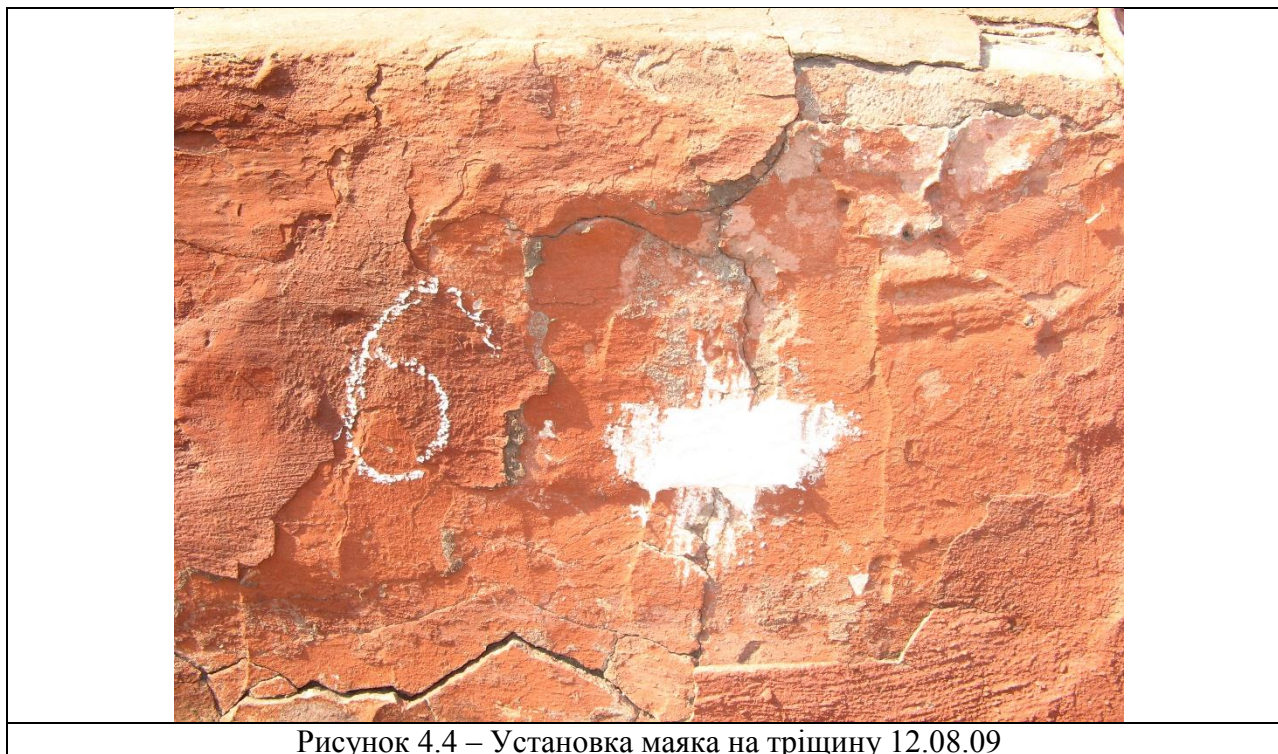


Рисунок 4.4 – Установка маяка на тріщину 12.08.09

Розташування СШ 67 - на південний схід від місця проведення масових вибухів. Мінімальне віддалення - 1700 м від блоку №59, максимальне – 2300 м від блоків №60-№62. Час проведення масового вибуху в кар'єрі «Південний ГЗК» - 11.06.08, 12:00. Місце проведення буропідривних робіт - північна і північно-західна частина кар'єра «Південний ГЗК». Маса вибухової речовини - 483,7 т. Число блоків закладки вибухової речовини - чотири (№59, №60, №61, №62). Порядок підриву блоків - №59, №60, №61, №62. Додаткові характеристики вибуху представлені в таблиці 4.1.

Сигнал запису віброшвидкості фундаменту будівлі школи в момент вибуху представлений на рисунку 4.5. Величина максимального значення горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі школи в напрямку вибуху склала 0,38 см/с, що відповідає 2 балам за шкалою MSK-64.





Рис. 4.5 – Графік сигналу віброшвидкості ґрунту біля будівлі школи в напрямку вибуху

Для визначення динамічних характеристик будівлі школи були виконані вібродинамічні обстеження. Сигнали і спектри записів мікросейсмічних коливань представлені на рис. 4.6-4.9. Як видно з графіків спектрів (рис. 4.6 - 4.9), власні частоти будівлі школи по основних формах у напрямку X складають 4,1-5,2 Гц і 7,6-7,9 Гц – у напрямку Y. Ці частоти вписуються в обраний діапазон частот для оцінки і визначення гранично допустимих значень віброшвидкості та віброприскорень (див. розділ 1).

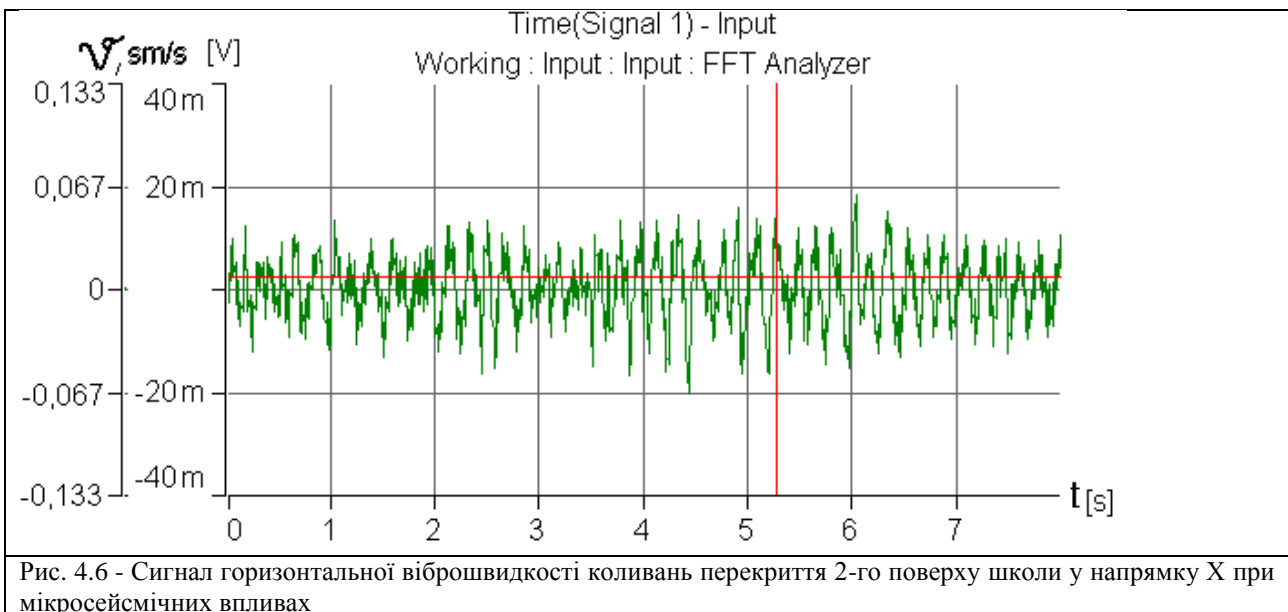


Рис. 4.6 - Сигнал горизонтальної віброшвидкості коливань перекриття 2-го поверху школи у напрямку X при мікросейсмічних впливах

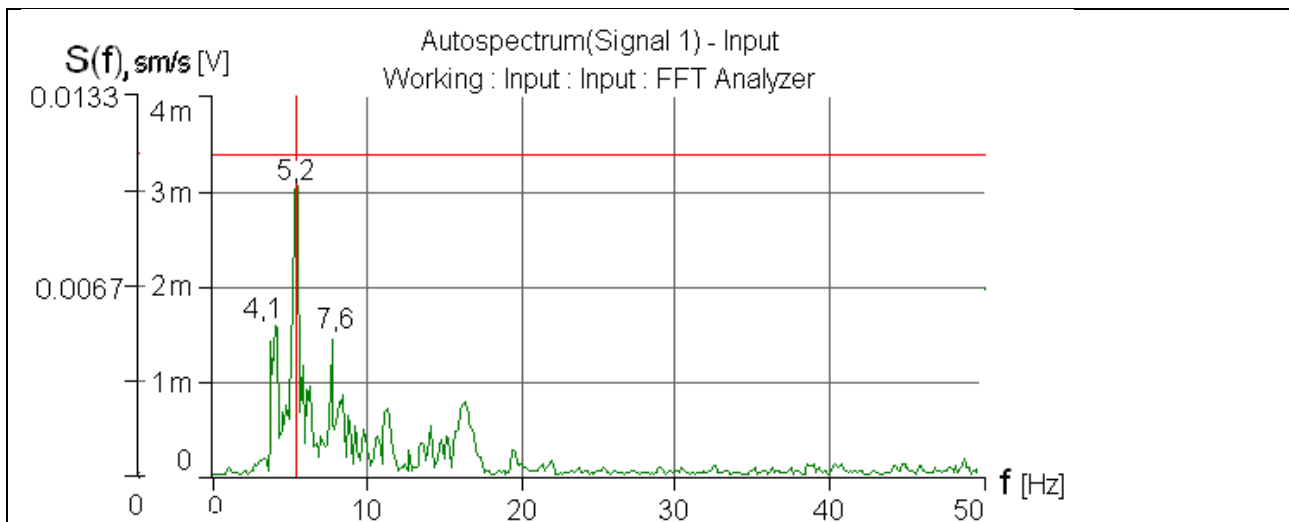


Рис. 4.7 - Спектр горизонтальної віброшвидкості коливань перекриття 2-го поверху школи у напрямку X при мікросейсмічних впливах

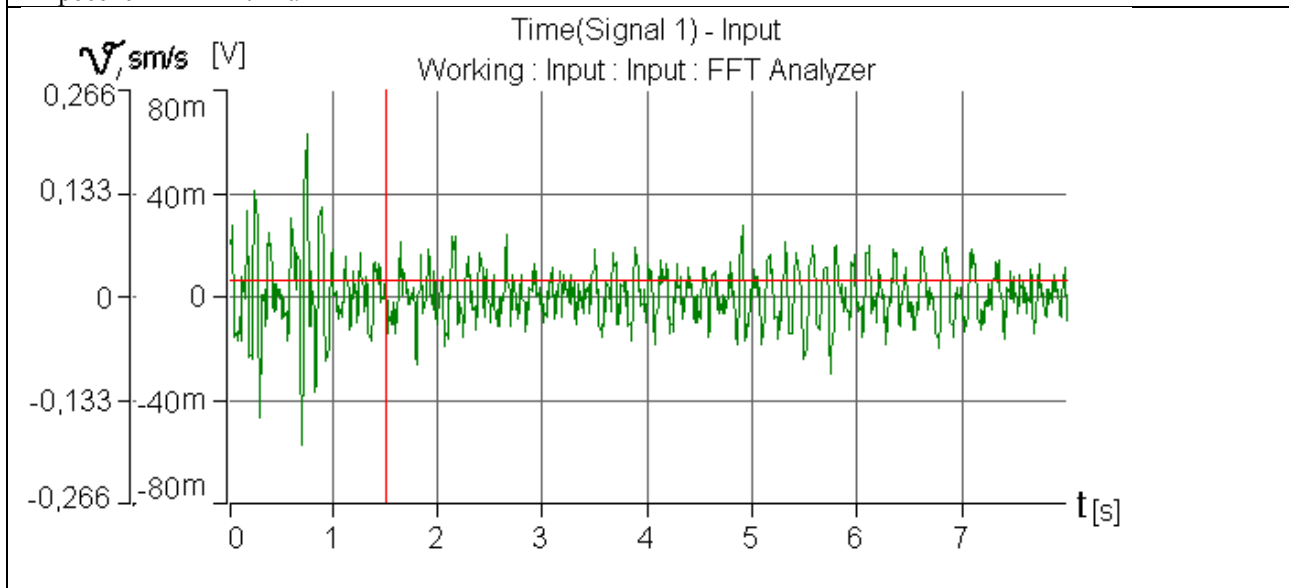


Рис. 4.8 - Сигнал горизонтальної віброшвидкості коливань перекриття 2-го поверху школи у напрямку Y при мікросейсмічних впливах

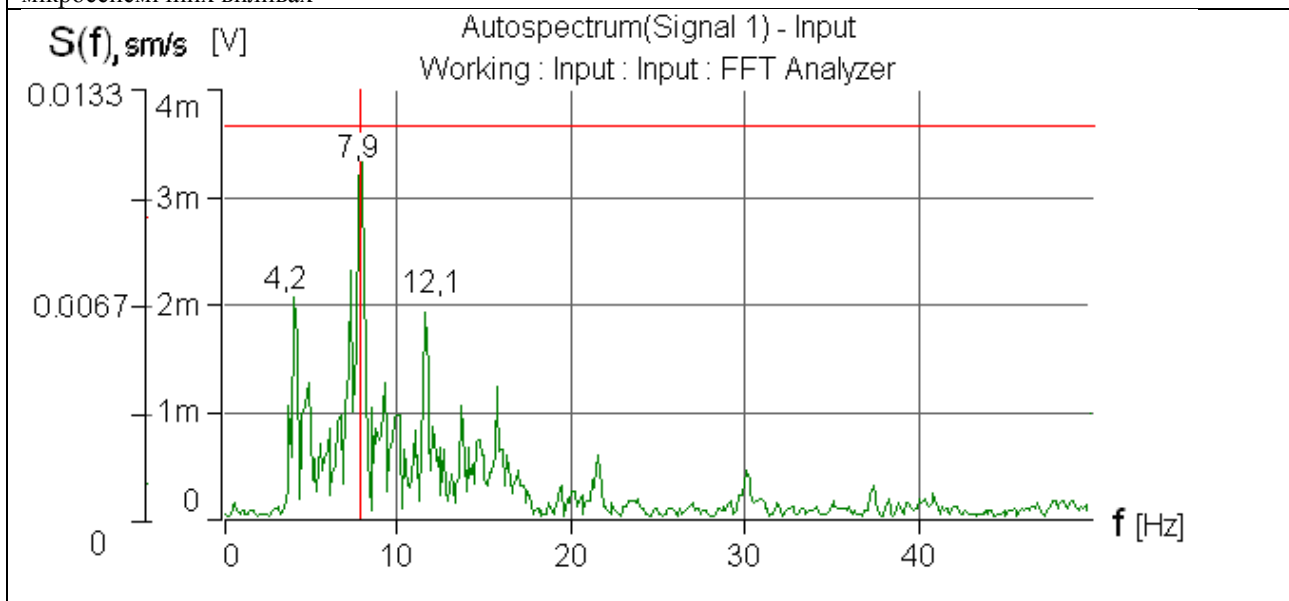


Рис. 4.9 - Спектр горизонтальної віброшвидкості коливань перекриття 2-го поверху школи у напрямку Y при мікросейсмічних впливах

*Будівля Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14*

Будівлю Церкви Різдва Богородиці споруджено в 1872 р., і вона має історичну та культурну цінність для міста Кривого Рогу.

Об'ємно-планувальне рішення будівлі характерне для культових православних храмів: центральна купольна частина з дзвіницею і два бокові вівтарі. Загальний вигляд будівлі наведений на рисунку 4.10. Будівля цегляна з товщиною стін основної частини будівлі на нижньому рівні приблизно 800 мм і товщиною стін приблизно 400 мм в бічних прибудовах. Розташована на уступі на лівому березі р. Інгулець.

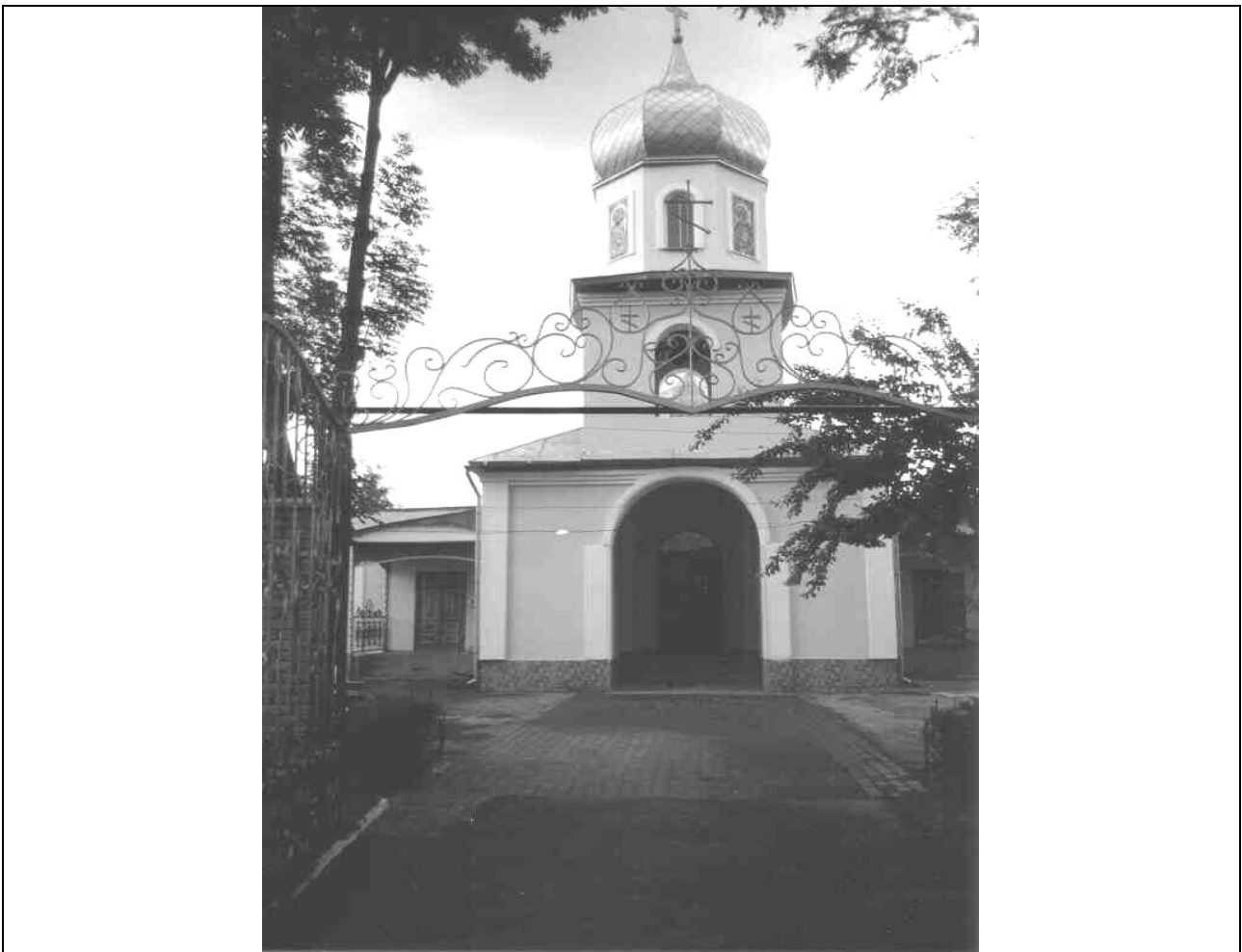


Рисунок 4.10 – Загальний вигляд Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14

При проведенні візуального обстеження будівлі були відзначені вертикальні і похилі тріщини в стінах з внутрішнього і з зовнішнього боків (див. рис. 4.11, 4.12).



Рисунок 4.11— Тріщини в цегляному склепінні Церкви Різдва Богородиці по вул. Обручева, 14



Рисунок 4.12 – Тріщина в зовнішній стіні будівлі Церкви Різдва Богородиці

Розташування будівлі Церкви – на схід від місця проведення масових вибухів. Мінімальне віддалення досліджуваного об'єкта - 1300 м від блоку №64, максимальне – 2100 м від блоку №65. Дата і час проведення масового вибуху в кар'єр «Південний ГЗК» - 25.06.08, 12<sup>00</sup>. Місце проведення буропідричних робіт - північна і північно-західна частини кар'єра. Маса вибухової речовини - 485,77 т. Число блоків закладки вибухової речовини - п'ять (№63, №64, №65, №66, №67). Порядок підриву блоків - №63, №64, №65, №66 + №67 з інтервалом 1 с. Додаткові характеристики вибуху представлені в таблиці 4.1.

Сигнал запису віброшвидкості ґрунту біля будівлі церкви в момент вибуху представлений на рисунку 4.13.

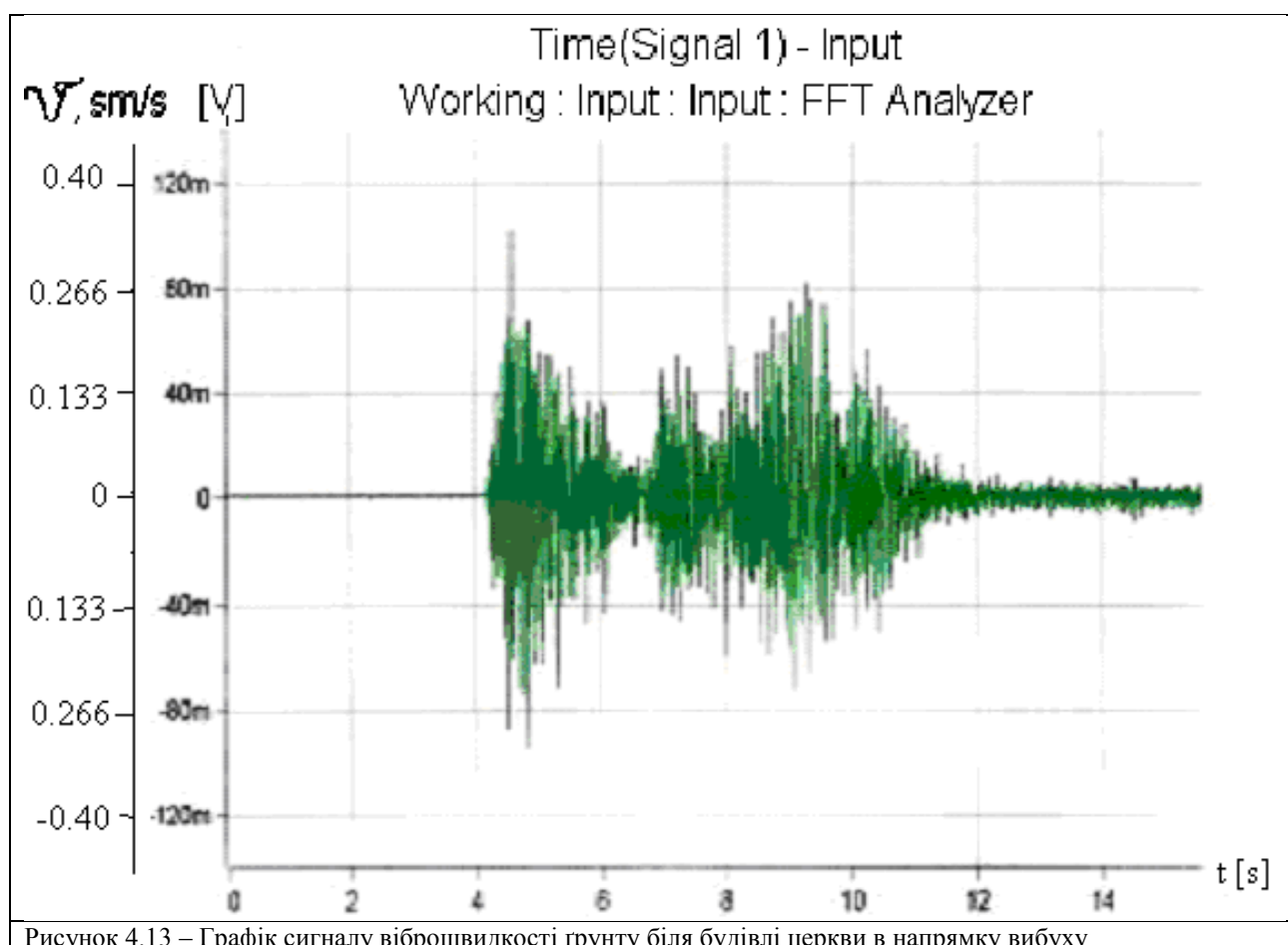


Рисунок 4.13 – Графік сигналу віброшвидкості ґрунту біля будівлі церкви в напрямку вибуху

Величина максимального значення горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі церкви в напрямку вибуху склала 0,33 см/с, що відповідає 2 балам за шкалою MSK-64.

*Центр дитячої та юнацької творчості «Мрія» по вул. Мануїльського, 29*

Будівля Центру дитячої та юнацької творчості «Мрія» представляє собою 3-поверховий цегляний будинок. Будівля розташована на високому уступі на лівому березі р. Інгулець. Її загальний вигляд представлений на рис. 4.14. Зовнішні контури будівлі являють собою букву «П». Центр дитячої творчості є найбільш віддаленим відносно кар'єра серед обстежуваних об'єктів.



Рисунок 4.14 - Загальний вигляд будівлі Центру дитячої та юнацької творчості «Мрія» (головний фасад)

Частотні характеристики будівлі Центру творчості близькі до параметрів, отриманих для школи №67, і знаходяться в діапазоні 5-8 Гц. У лівій прибудові Центру і в стіні біля вітража є тріщини, від яких представлений на рис. 4.15 і 4.16. Наявність тріщин в несучих стінах будівлі істотно знижує їх жорсткість і загрожує розвитком при значних сейсмічних впливах від вибухів. Для контролю стану тріщин при вибухах на стінах в місцях їх розташування були нанесені гіпсові маяки.



Рисунок 4.15 - Тріщина шириною розкриття до 1 см в нижній частині правої поперечної стіни біля центрального вітража

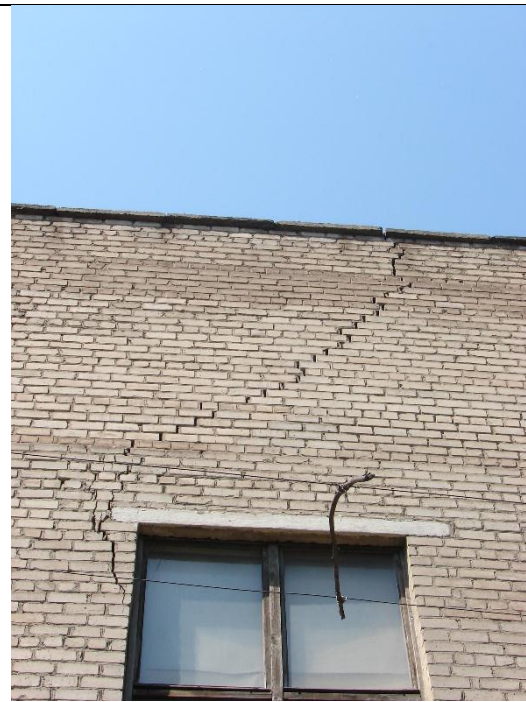


Рисунок 4.16 - Тріщина шириною розкриття до 1 см у верхній частині стіни лівого бічного фасаду

Розташування - на схід від місця проведення масових вибухів. Мінімальне віддалення досліджуваного об'єкта - 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, 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 інтервалами спрацьовування №1- $T_0=0$  с, №2- $T_1=3$  с, №2- $T_3=7$  с. Додаткові характеристики вибуху представлені в таблиці 4.1.

Графік і спектр сигналу горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру дитячої та юнацької творчості в момент вибуху представлені на рисунках 4.17, 4.18. Графік і спектр сигналу вертикальної віброшвидкості – на рисунках 4.19, 4.20.



Рисунок 4.17 – Графік сигналу горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру творчості в напрямку вибуху

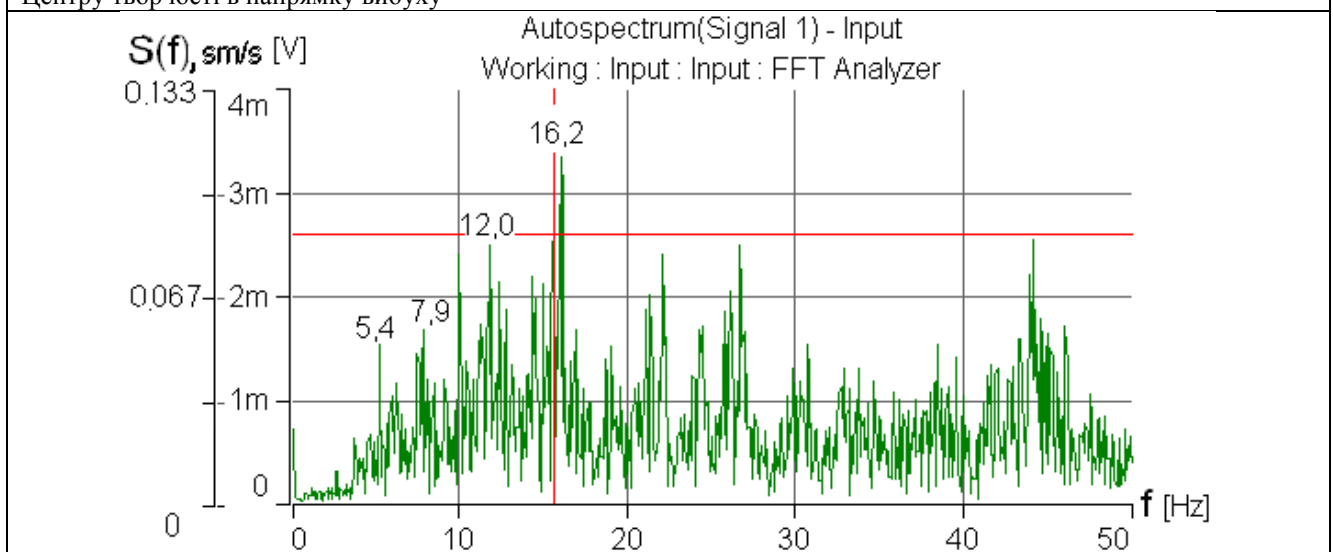


Рисунок 4.18 – Спектр сигналу горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру дитячої творчості в напрямку вибуху

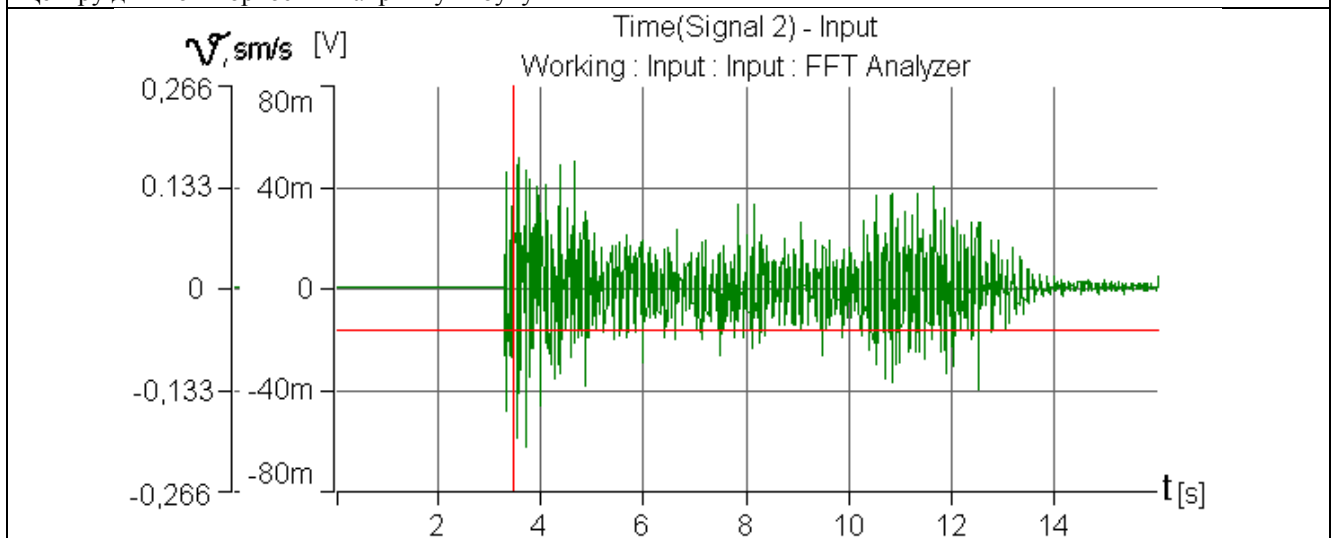
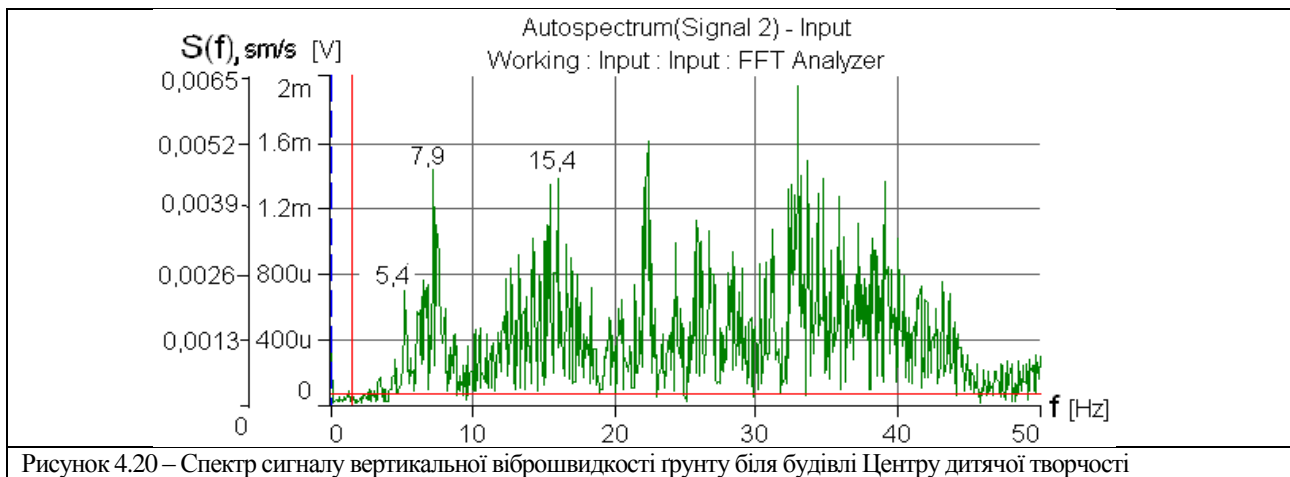


Рисунок 4.19 – Графік сигналу вертикальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру дитячої творчості





Величина максимального значення горизонтальної віброшвидкості ґрунту біля будівлі Центру творчості 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 творчості – 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 коливання ґрунту склали 5,4 Гц і 7,9 Гц.

Спостереження за тріщинами на будівлях школи та Центру творчості «Мрія», встановленими 12.08.08, показало, що волосяні тріщини з'явилися в окремих маяках після проведення вибуху 10.09.08. Тріщини в маяках представлені на рис. 4.21 і 4.22.



Рисунок 4.21 – Утворення тріщин в стіні будівлі школи після вибуху 10.09.08



Рисунок 4.22 – Утворення тріщин в стіні будівлі Центру творчості «Мрія» після вибуху 10.09.08

Максимальна віброшвидкість ґрунту відзначалася при цьому в самому початку вибуху і становила до 0,50 см/с (див. табл. 4.1).





Наступне дослідження будівлі Центру дитячої творчості та прилеглого ґрунту при проведенні промислового вибуху в кар'єрі ПівдГЗК було здійснено 16.05.12 р. Для дослідження використовувалась вібровимірювальна система «Сейсмомоніторинг». Графік часового сигналу віброприскорень ґрунту по Y та його амплітудний спектр під час вибуху представлені на рис.4.23 та в табл.4.2. Амплітудний спектр будівлі Центру по Y при мікросейсміці показано на рис. 4.24.

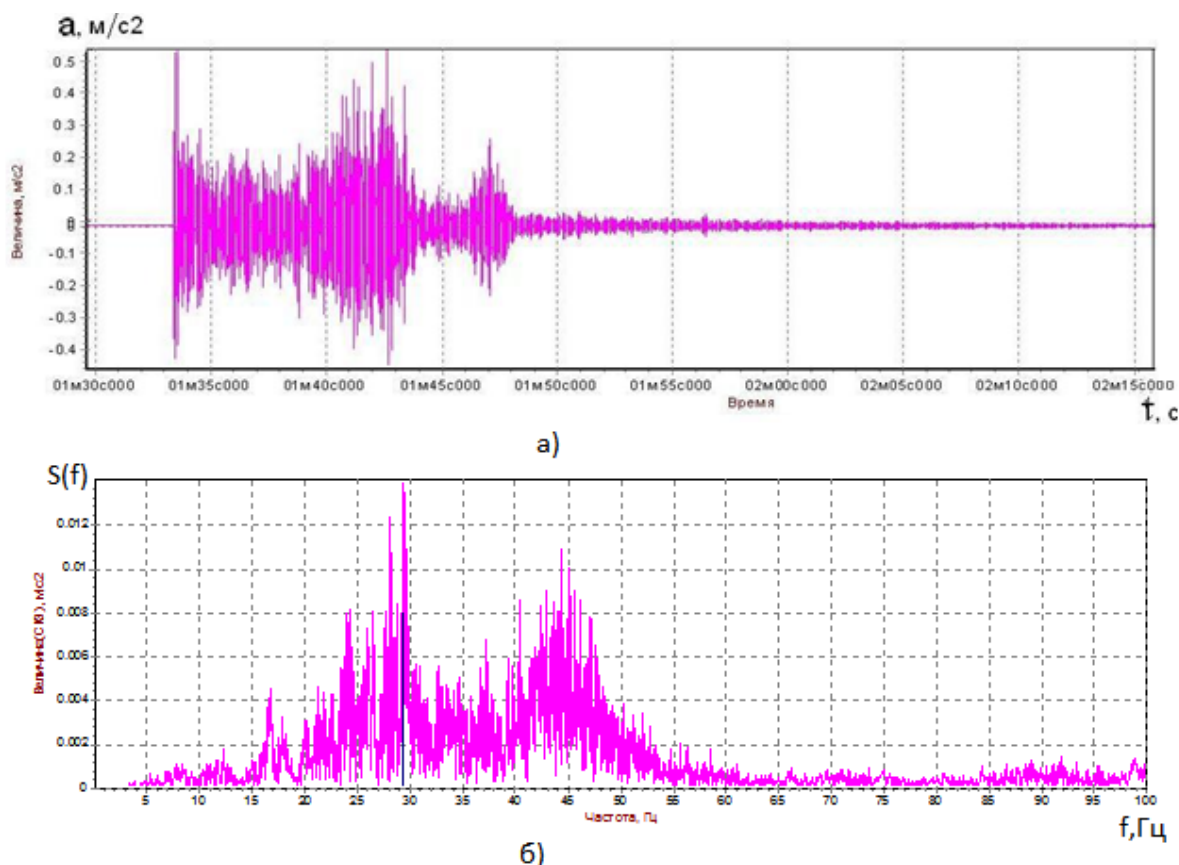


Рисунок 4.23 – Часовий сигнал віброприскорень коливань ґрунту біля будівлі Центру дитячої творчості вздовж продольної осі Y під час вибуху 16.05.12 р. (а) та його амплітудний спектр (б)

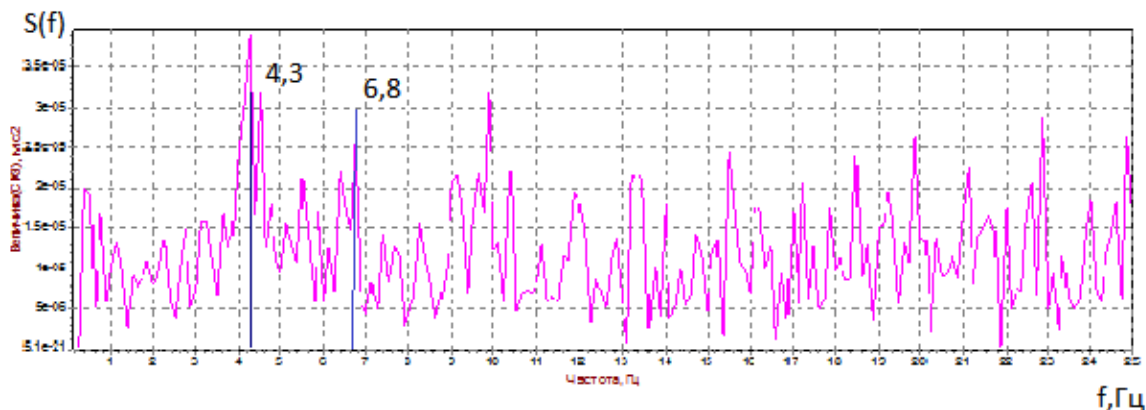


Рисунок 4.24 – Амплітудний спектр віброприскорень коливань будівлі Центру дитячої творчості вздовж продольної осі Y при мікросейсмічних коливаннях

Таблиця 4.2

| Узагальнені характеристики блоків ВР, що підриваються, при масовому вибуху у кар'єрі "Південний ГЗК" 16.05.12 р. |              |                          |   |                                       |                         |  |          |
|--|--------------|--------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|--|----------|
| Блок №   | № вик. блока | Відстань до об'єкта L, м | Затримка вибуху блока $\Delta T_i = T_1^i - T_1^1, c$ | Максимальне віброприскорення, $m/c^2$ | Переважаюча частота, Гц | Значення швид-і при $> \Delta T_i, cm/c$ | Примітка |
| 49   | 1            | н/д                      | 0   | 50                                    | 30                      | 0.27                                     | 2 бала   |
| 50   |              | н/д                      |   |                                       |                         |  |          |
| 51   | 2            | н/д                      | 2   |                                       |                         |  |          |
| 52   |              | н/д                      |   |                                       |                         |  |          |
| 53   | 4            | н/д                      | 8   |                                       |                         |  |          |
| 55   |              | н/д                      |   |                                       |                         |  |          |
| 54   | 3            | н/д                      | 7   |                                       |                         |  |          |
| 56   | 5            | 3100                     | 11  |                                       |                         |  |          |
| 57   | 6            | 1200                     | 13  |                                       |                         |  |          |

#### 4.1.2. Висновки

Отримані результати натурних вимірювань дозволяють зробити наступні висновки:

1. При проведенні віброметричних вимірів з визначення віброшвидкості ґрунту у шести обстежуваних будівлях встановлено, що максимальна сейсмічна дія спостерігається при ініціюванні першого блоку свердловинних зарядів ВР. 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. Переважна більшість значень віброшвидкості на перевищує 2 балів. 2. Діапазон частот власних коливань будинку Центру за першими формами в поперечному напрямку згідно рис. 4.24 по Y склав  $f_2=4,3$  Гц і  $f_2=6,8$  Гц. На основі одержаного масива даних віброметричних обстежень Центру та їх аналізу уточнені дані власних частот складають:

- 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).

3. Значення вертикальної віброшвидкості на основі виконаних вимірювань при проведенні всіх шести вибухів вдвічі менше в порівнянні з горизонтальною віброшвидкістю в напрямку вибуху.

4. При інтенсивності сейсмічних впливів до 2 балів (горизонтальна віброшвидкість не перевищує 0,4 см/с) нових пошкоджень будівель не виявлено на основі оцінки стану встановлених маяків.

5. Значення горизонтальних віброприскорень ґрунту у фундаменті одноповерхового цегляного будинку в напрямку вибуху на межі санітарної зони кар'єру склали до 40 см/с<sup>2</sup>. Вертикальні віброприскорення склали до 20 см/с<sup>2</sup>.

#### Рекомендації

1. Ініціювання блоків свердловинних зарядів доцільно починати з нижніх горизонтів до верхніх, при можливості з західної частини кар'єра або ближньої до неї зони.

2. При проектуванні і здійсненні масових вибухів необхідно керуватися рекомендаціями щодо забезпечення сейсмобезпечних параметрів вибухових робіт при ініціюванні свердловинних зарядів із застосуванням неелектричних систем ініціювання з дотриманням рекомендованого інтервалу уповільнення між окремими зарядами (групами зарядів) не менше 17 мс, що дозволить послабити ефект накладення фронтів ударних повітряних хвиль і тим самим зменшити їх негативний вплив на навколишнє середовище і будівлі.

3. На основі проведених вимірювань і аналізу рівнів коливань ґрунту і будівель допускається збільшення маси вибухових речовин при проведенні промислових масових вибухів в кар'єрі «Південний ГЗК» до 700 тонн з дотриманням вищенаведених рекомендацій і за умови безпосереднього вибіркового контролю і моніторингу промислових вибухів у кар'єрі ВАТ «Південний ГЗК» протягом 2008-2012 рр.

4. Перед початком виконання робіт при масі вибухових речовин до 700 тонн в кар'єрі «Південний ГЗК» необхідно виконати контроль технічного стану будівель і споруд, розташованих на межі санітарно-захисної зони кар'єра «Південний ГЗК» за участю спеціалізованих організацій.

#### **4.2. Зниження життєвого ресурсу будівель при регулярних вибухових впливах**

Визначення залишкового ресурсу для будівель житлового та соціально-культурного призначення в країнах СНД в даний час є актуальним завданням. Будівництво більшості цих будівель було виконано в 50-70 рр. ХХ-го століття. Термін їх експлуатації на сьогоднішній день складає 50-70 років, а для деяких і більше. Більшість таких будівель виконувались за типовими проектами, що, з одного боку, істотно скорочувало терміни на підготовку проектної документації та дозволяло проводити забудову цілих мікрорайонів, з іншого боку, забезпечувало мінімальний комфорт для проживання і відпочинку. 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 робочих на підприємства цих зон. При цьому характер виконуваних робіт в промислових зонах та їх вплив на житловий фонд при його проектуванні і будівництві враховувався мінімально. Як типовий приклад техногенного впливу при проведенні вибухових робіт у відкритих залізородних кар'єрах можна привести будівлі житлового фонду м. Кривого Рогу (Дніпропетровська обл., Україна).

Таким чином, для будівлі житлового фонду багатьох міст СНД важливим завданням є оцінка сейсмічної вразливості будівель або можливого ступеня їх пошкоджень при землетрусах малої і великої інтенсивності. Цей показник використовується при розрахунку сейсмічного ризику. При цьому достовірність чисельних розрахунків залежить не стільки від обраної моделі сейсмічного ризику, скільки від повноти і надійності результатів динамічної паспортизації будівель, яка, в свою чергу, є тільки одним з основних ланок методичного ланцюжка [111]:

**Сейсмічна небезпека (1) - Динамічна паспортизація (2) - Уразливість (3) - Сейсмічний ризик (4).**

Динамічна паспортизація будівель і споруд, таким чином, є першочерговим етапом робіт із забезпечення необхідного і економічно доцільного рівня

сейсмостійкості будівельних об'єктів в умовах морального та фізичного зносу, уточнення сейсмічної небезпеки. Динамічна паспортизація будівель і споруд переслідує дві основні мети:

- I. порівняльна оцінка фактичної сейсмостійкості будівель з уточненою сейсмічністю території (визначення дефіциту сейсмостійкості будівель);
- II. виявлення найбільш сейсмонебезпечних об'єктів, що потребують першочергового посилення, перепрофілювання або знесення будівлі (сейсмічний моніторинг [126] за станом будівельного фонду).

Питання паспортизації будівель, вплив фізичного і сейсмічного зносу, економічної ефективності сейсмостійкого будівництва розглядалися на державному рівні у вигляді відповідних постанов і ін. КМ України [112-116], а також в ряді робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників: С.В. Медведєва, В.І. Кейліс-Борока, А.М. Яглома, С.В. Полякова, Ю.І. Немчинова, М.Г. Мар'єнкова, І.Є. Іцкова, Я.М. Айзенберга, Г.Л. Коффі, М.А. Клячко, Ю.А. Бержинського, А. Корнелла, Д. Грандори, Е. Вітієлло, К. Пістера, С. Кислякова, К. Олівейри, І. Ідріса і ін. [117-125].

Існуючі методики паспортизації умовно можна розділити на три групи:

- методи експертних оцінок;
- розрахунково-аналітичні методи;
- методи технічної діагностики.

Їх порівняльний аналіз показав, що поряд з достоїнствами, існуючі методики паспортизації мають і низку недоліків [127-129]. При використанні методу експертних оцінок ступінь статистичної узгодженості експертних оцінок і їх довірчі інтервали залишаються невизначеними. Хоча цей метод, на думку ряду дослідників [116, 127, 128], є найбільш дешевим і найпоширенішим при суцільній оцінці фактичної сейсмостійкості будівель. У той же час, на думку інших дослідників [129, 130], він дає дуже високу похибку.

Розрахунково-аналітичні методи, орієнтовані на ДБН [16], несуть відбиток протиріч, властивих нормативним розрахунковим процедурам (умовні розрахункові навантаження, використання лінійно-пружних моделей). Їх перевагою є врахування фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу



конструкцій, можливість урахування фізичного зносу конструкцій будівлі. Однак вони відрізняються значною трудомісткістю і вимагають великих витрат часу.

Методи технічної діагностики дозволяють виявити і локалізувати аномалію динамічної структури споруди, але в той же час вони не можуть встановити її причину, виявити шляхом розтину конструкцій відповідні дефекти конструктивних елементів і вузлів їх з'єднання. Зазвичай аналіз динамічної структури споруди проводиться при мікродинамічному рівні впливу, при якому конструкції і їх з'єднання свідомо працюють в пружній стадії. Це не дозволяє врахувати вплив конструкційної і фізичної нелінійності і деградацію характеристик жорсткості параметрів на оцінку сейсмостійкості будівлі.

В цьому разі методичні проблеми паспортизації можна звести до двох основних проблем [111]:

**Перша проблема** - це коректне визначення критерію при оцінці запасу сейсмостійкості обстежуваної будівлі:

1. експертна оцінка, яка відображає ступінь відповідності об'єкта конструктивним вимогам [16];
2. розрахунково-аналітична оцінка сейсмостійкості, відповідна умовним сейсмічним навантаженням [16];
3. результати технічної діагностики будівлі [131].

**Друга проблема** - це визначення необхідного рівня впливу, при якому досліджується динамічна структура споруди: мікродинамічний рівень при пружній стадії роботи конструкцій або рівень навантаження, відповідний роботі конструкцій будівлі за межею пружності.

Таким чином, можна зробити висновок, що єдиної узаконеної на рівні ДБН [16, 132] або стандарту загальноприйнятої методики динамічної паспортизації на сьогоднішній день в Україні не існує. В силу цього, вдосконалення методів обстеження будівель для оцінки їх фактичної сейсмостійкості, в т.ч. з урахуванням фізичного зносу конструкцій, є актуальним завданням.

Розглянемо більш детально особливості динамічної діагностики будівельних конструкцій (плит перекриттів) з використанням коливань малої

амплітуди (від часток мм до декількох мм) з використанням датчиків високої чутливості, які здатні реєструвати і виділяти коливання будівель, що виникають від дії фонового динамічного навантаження від проведення промислових вибухів на залізорудних кар'єрах у Кривому Розі.

На сьогодні техногенний вплив проведення промислових вибухів на існуючий житловий і соціально-культурний фонд м. Кривого Рогу істотно збільшився. Це пов'язано насамперед з розширенням виробничої зони залізорудних кар'єрів. Для прикладу, відкритий кар'єр «Південний ГЗК» з видобутку залізної руди у Кривому Розі був заснований 1952 р. і зараз досяг позначки глибини близько 250 м. У рівні землі розробка корисних копалин в кар'єрі проводиться на площі, окресленій овалом з розмірами великої і малої осей, відповідно, 4 км і 3 км. Санітарно-охоронна зона під час проведення вибухів становить 700 м.

Межа початку житлового фонду Інгулецького району міста, який розташовується на сході і південному сході від кар'єру, проходить на відстані 800-900 м від його східного борту. Таким чином, при проведенні вибухових робіт на верхніх горизонтах кар'єра межа санітарно-охоронної зони примикає безпосередньо до території забудови.

Вплив сейсмічних впливів на будівлі, розташовані в санітарно-охоронній зоні, носить циклічний характер. В даний час на ПівдГЗК проведення вибухів здійснюється з періодичністю 1 раз на 2 тижні. Серед об'єктів спостереження в період проведення вибухових робіт в кар'єрі були такі: середня школа №67, Центр дитячої та юнацької творчості, Церква Різдва Богородиці, три будинки одноповерхової забудови розмірами  $\approx 7 \times 8$  м.

Перераховані будівлі охоплюють не повний спектр будівель за конструктивним виконанням, але в повній мірі відповідають соціально-культурному призначенню. Школа, Центр творчості і Церква Різдва Богородиці, крім того, ще й будівлі масового зосередження людей, які повинні задовольняти підвищеним вимогам безпеки при їх експлуатації. Оцінка їх поточного стану при сейсмічних впливах вибухів і прогнозна оцінка їх довговічності (ресурсу), а отже і безпека людей, виносять поставлену задачу в розряд актуальних.

### 4.3. Розрахунок комп'ютерної моделі будівлі Центру творчості на основі методу прямого динамічного розрахунку

Була розроблена комп'ютерна модель будівлі Центру творчості на основі методу скінченних елементів за допомогою програмного комплексу «Ліра-9.6» [133]. Реалізований варіант МСЕ використовує принцип можливих переміщень

$$a(u, v) = (f, v) \quad (4.1)$$

де:  $u$  - шукане точне рішення;  $v$  - будь-яке можливе переміщення; а  $a(u, v)$ ,  $(f, v)$  - можливі роботи зовнішніх і внутрішніх сил.

Область, яка зайнята конструкцією, розбивається на кінцеві елементи  $\Omega_r$ , призначаються вузли та їх ступені свободи  $L_i$  (переміщення і кути повороту вузлів). Наближене рішення  $U_h$  задовольняє кінематичним умовам і шукається у вигляді лінійної комбінації базисних функцій

$$U_h = \sum_{i=1}^N r_i \mu_i \quad (4.2)$$

де:  $r_i$  - числа;  $\mu_i$  - базисні функції,  $N$  - кількість ступенів свободи.

Нехай  $K$  - матриця жорсткості з елементами  $k_{i,j} = a(\mu_i, \mu_j)$ ,  $P$  - вектор навантажень з елементами  $P_i = (f, \mu_i)$ ,  $X$  - вектор-стовпець невідомих з елементами  $u_i$ . Тоді (4.1) з урахуванням (4.2) можна перетворити до матричної форми запису:

$$KX = P \quad (4.3)$$

З використанням МСЕ вихідна задача звелася до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (4.3).

Динамічний розрахунок конструкцій формулюється у вигляді варіаційної рівності з початковими умовами:

$$\begin{aligned} b\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, v\right) + C\left(\frac{\partial u}{\partial t}, v\right) + a(u, v) &= (f(t), v), \quad t > 0 \\ u(0) &= u^0, \\ \frac{\partial u}{\partial t}(0) &= u^1. \end{aligned} \quad (4.4)$$

де:  $u(t)$  - точне рішення;  $b(u, v)$ ,  $c(u, v)$  - можливі роботи інерційних і демпфуючих сил;  $u^0$ ,  $u^1$  - початкові значення переміщення та швидкості.

Реалізований в ПК «Ліра» метод рішення динамічної задачі полягає в поєднанні МСЕ з розкладанням шуканого рішення за формами власних коливань:

$$U_h = \sum u_i(t), \mu_i, \quad (4.5)$$

де:  $u_i(t)$  - скалярні функції;  $\mu_i$  - базисні функції відповідної статичної задачі. Підставивши в (4.4)  $U_h$  виду (4.5) замість  $u$ , а також  $\mu_j (j=1, N)$  замість  $v$ , отримаємо систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C \frac{dx(t)}{dt} + Kx(t) = P(t), \quad (4.6)$$

де:  $x(t), x^0, x^1$  - вектори з елементами  $x_i(t) = u_i(t), x_i^0 = L_i u^0, x_i^1 = L_i u^1$ ;  $M, C$  - матриці мас і демпфірування з елементами, відповідно,  $m_{i,j} = b(\mu_i, \mu_j)$ ,  $c_{i,j} = c(\mu_i, \mu_j)$ .

Система (4.6) розраховується методом розкладання за формами власних коливань. Нехай  $\lambda_i, \varphi_i$  - рішення задачі на власні значення;  $\langle M \varphi_i, \varphi_i \rangle = 1$ , де символом  $\langle \dots \rangle$  позначено скалярний добуток, тоді

$$K\varphi = \lambda M\varphi \quad (4.7)$$

Задача на власні значення (4.7) розраховується методом ітерації. Вважаючи, що в (4.6)  $x(t) = \sum_{i=0}^N y_i(t)\varphi_i$ , з ортогональності функцій  $\varphi_i$  отримаємо (при певних припущеннях щодо матриці  $C$ ), що система (4.6) розпадеться на незалежні рівняння відносно  $y_i(t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2} y_i(t) + 2\xi_i \omega_i \frac{d}{dt} y_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) &= P_i(t), \quad t > 0 \\ y_i(0) &= y_i^0, \\ \frac{d}{dt} y_i(0) &= y_i^1. \end{aligned} \quad (4.8)$$

де:  $\omega = \lambda_i^{-0.5}$ ,  $0 < \xi_i < 1$ ,  $P_i(t) = \langle P(t), \varphi_i \rangle$ ,  $y_i^0 = \langle x^0, M\varphi_i \rangle$ ,  $y_i^1 = \langle x^1, M\varphi_i \rangle$ .

Розв'язок рівняння (4.8) має вигляд:

$$\begin{aligned} y_i(t) &= e^{-\xi_i \omega_i t} \left( \frac{y_i^1 + y_i^0 \xi_i \omega_i}{\omega_i} \sin \varpi_i t + y_i^0 \cos \varpi_i t \right) + \\ &+ \frac{1}{\varpi_i} \int_0^t P_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \varpi_i (t-\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (4.9)$$

де:  $\varpi_i = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2}$ .

Для подальшого дослідження і вивчення стану Центру дитячої творчості була розроблена комп'ютерна модель будівлі за допомогою програмного комплексу «Ліра-9.6» на основі методу скінченних елементів. Вона була створена на основі наступних типів кінцевих елементів: стрижневі елементи 10 типу (шість ступенів свободи у вузлі), пластинчасті елементи 41, 42, 44 типів (шість ступенів свободи у вузлі) [133]. Закріплення будівлі в рівні основи виконано жорстко. Вузли колон в рівні основи закріплювались теж жорстко. Навантаження і впливи задавалися відповідно до ДБН [134]. Врахування сейсмічних впливів, заданих акселерограмами, виконувався на основі ДБН [16].

Верифікація комп'ютерної моделі проводилась на основі експериментальних даних вібродинамічного обстеження будівлі Центру, яка показала близькість розрахункових та експериментальних значень власних частот будівлі по двом основним формам по напрямкам X та Y. Це дало змогу не враховувати в комп'ютерній моделі ґрунтову основу.

Комп'ютерна модель будівлі Центру представлена на рис. 4.25. Тут же стрілкою показано напрям сейсмічної дії на будівлю Центру при проведенні масових вибухів в кар'єрі ПівдГЗК.

Необхідно зазначити, що в якості зовнішнього сейсмічного впливу на розглянуту будівлю приймаються реальні акселерограми ґрунту радіального і тангенціального напрямів, що впливають на будівлю, відповідно, під кутами  $45^\circ$  і  $135^\circ$ . Акселерограми записані поблизу будівлі 16.05.2012 при проведенні масового вибуху 652 т в кар'єрі ПівдГЗК. Графіки оцифрованих акселерограм радіального R і тангенціального T напрямків представлені на рис. 4.26.

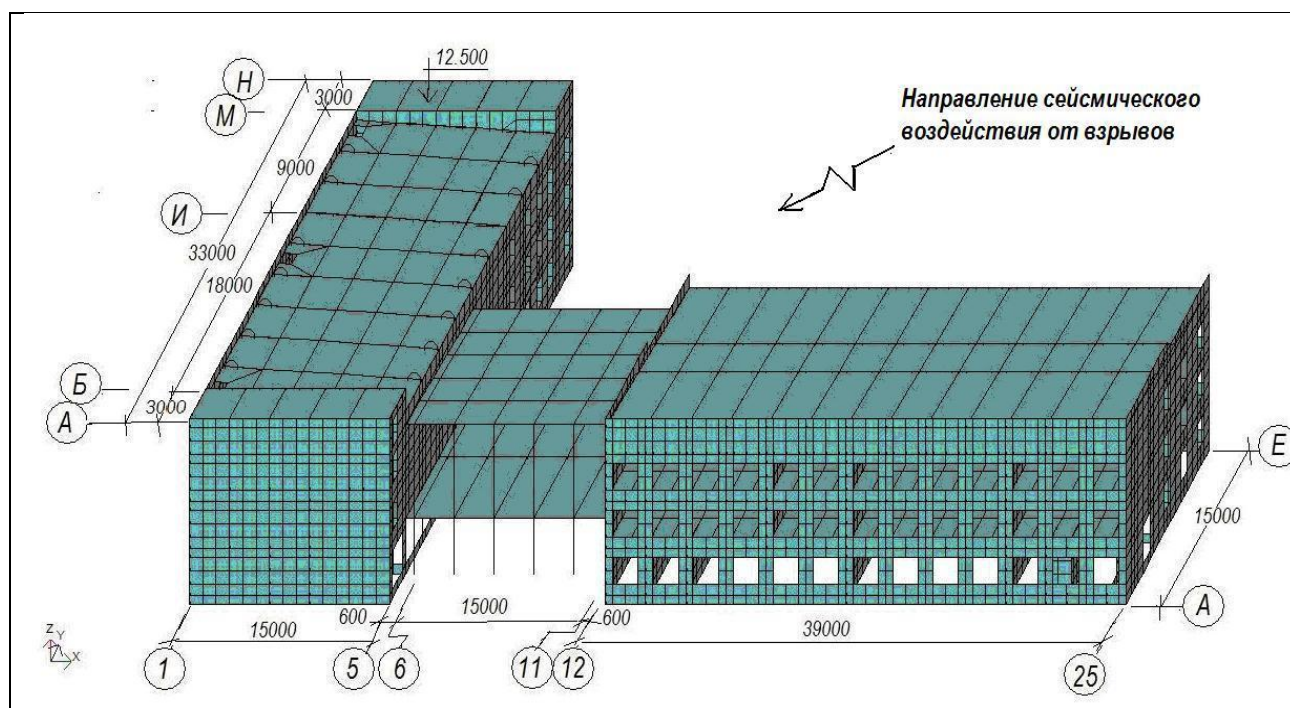
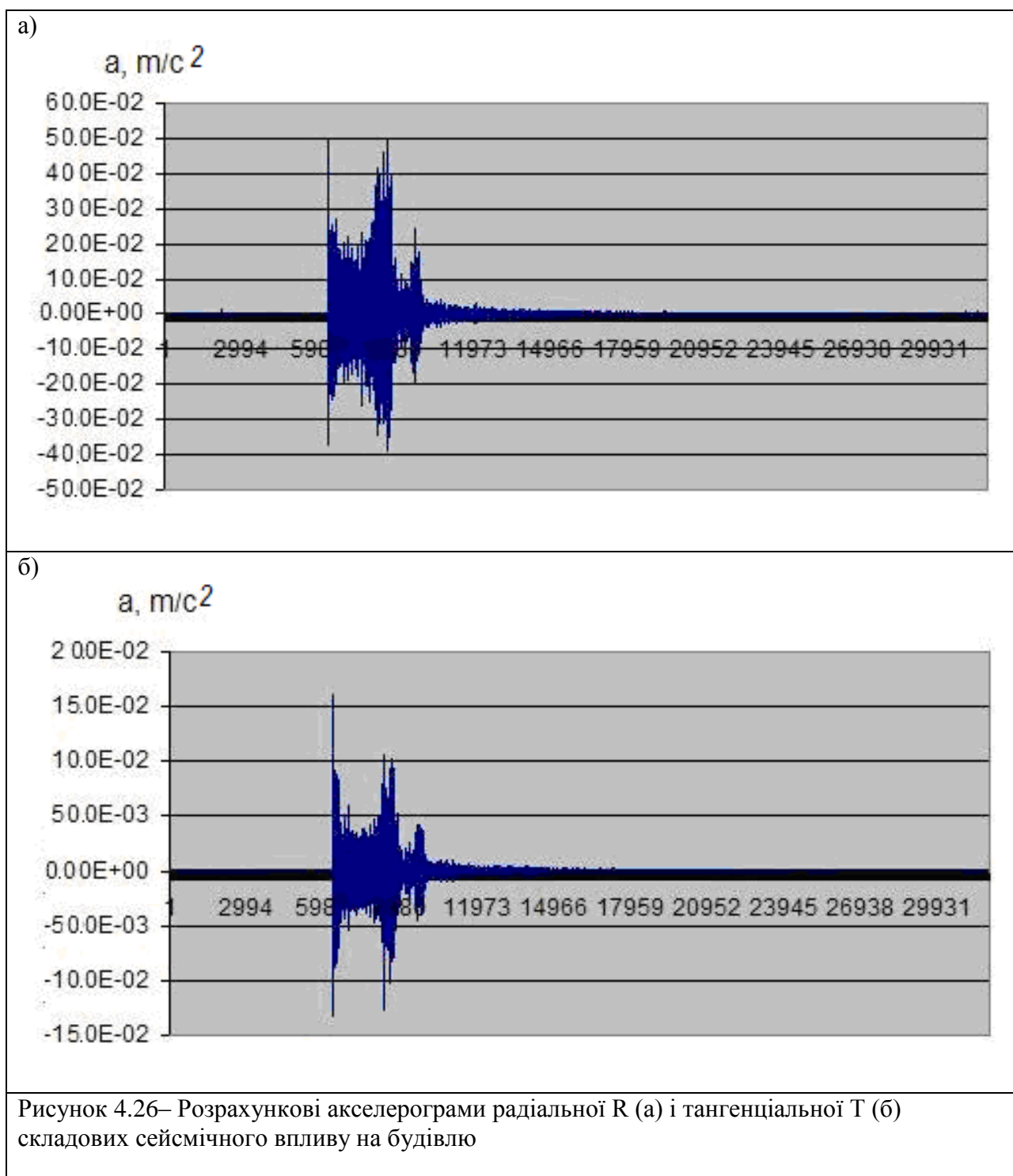


Рис. 4.25– Загальний вигляд комп'ютерної моделі будівлі Центру



Основні параметри акселерограми: крок дискретизації 4 мс, тривалість загального впливу 245 с, тривалість вибуху 17 с, максимальне значення акселерограми для радіальної R складової сейсмічного впливу 0,5 м/с, максимальне значення акселерограми для тангенціальної T складової сейсмічного впливу 0,15 м/с.

Було створено дві розрахункові схеми Центру для проведення чисельних досліджень: схема 1, в якій відсутні пошкодження, схема 2 з основними

ушкодженнями в несучих стінах будівлі. На рис. 4.27 представлено ділянку несучої стіни по осі 1 з косою тріщиною, що йде від кута віконного отвору на другому поверсі (а), і її моделювання в комп'ютерній моделі будівлі (б).

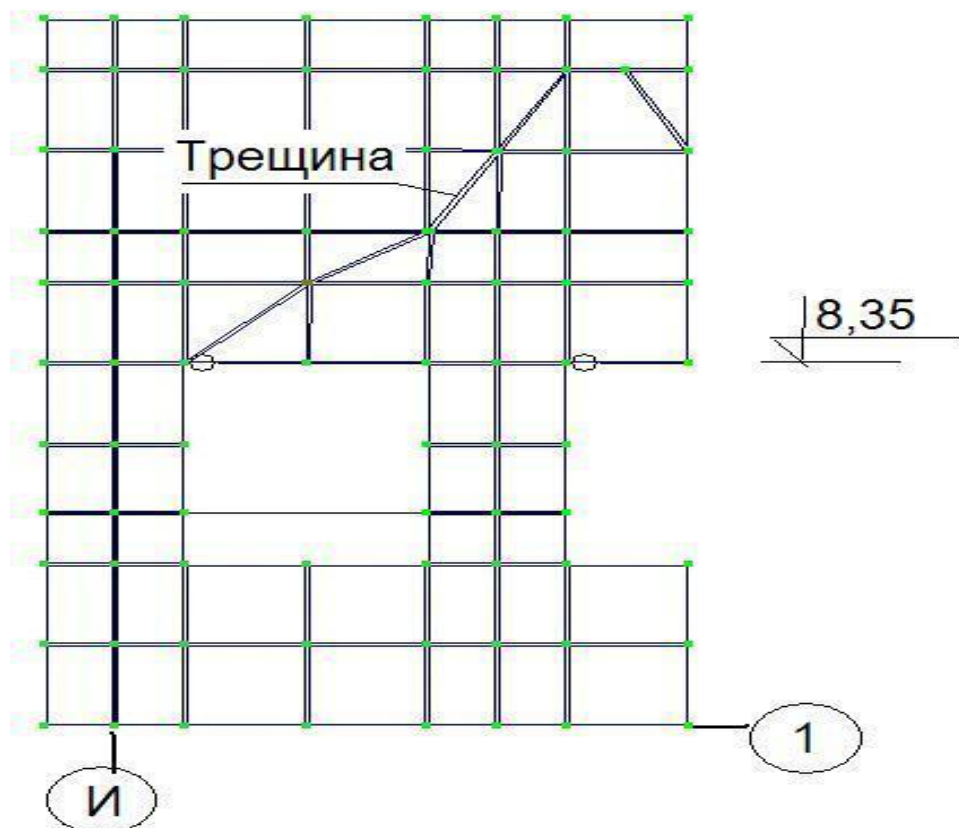
Моделювання тріщини здійснювалося шляхом поділу вузлів елементів, що сполучаються по лінії тріщини, і об'єднання переміщень для цих вузлів в напрямку існуючих зв'язків. Розрахункова схема 1 відображала початковий стан будівлі на момент введення її в експлуатацію ( $\approx 1969-1971$  рр.). Динамічні параметри Центру по схемі 1, отримані на основі теоретичних розрахунків, приймалися в якості вихідних.

Розрахункова схема № 2 відображає стан будівлі на момент обстеження - травень 2013 р. Динамічні параметри будівлі приймаються для подальшого аналізу, якщо вони близькі до експериментальних даних, або при необхідності коригуються ітераційними розрахунками шляхом уточнення розрахункової схеми № 2. Цифрові значення динамічних параметрів НДС комп'ютерної моделі будівлі Центру є головними критеріями для перевірки її коректності (порівняння проводилося з результатами експериментального і візуального обстежень будівлі Центру).

У загальному випадку передбачається задання чотирьох типів навантажень: статичні навантаження, навантаження, що характеризують інерційні властивості, динамічні навантаження і демпфуючі характеристики конструкції. У нашому випадку навантаження і впливи задавалися відповідно до ДБН [134], облік сейсмічних впливів виконувався на основі ДБН [16]. Граничні умови в розрахунковій схемі були задані безпосередньо на вузли МСЕ, а також змодельовані за допомогою зв'язків кінцевої жорсткості. Після задання двох-чотирьох навантажень в послідовності, яка була вказана вище, задавалися параметри інтегрування рівнянь руху. В результаті були отримані значення переміщень, зусиль і розрахункові сполучення зусиль в кожному кінцевому елементі.



а)



б)

Рис. 4.27. – Вид на стіну по осі 1 (рис. 4.25) будівлі Центру з фотофіксацією і зазначенням стрілкою тріщини на пошкодженій ділянці (а) і її представлення в комп'ютерній моделі № 2 (б)

Розрахунки виконувалися в лінійній постановці. При проведенні динамічних розрахунків по кожній з розрахункових схем № 1 і № 2 число

заданих форм коливань відповідало 10. В таблиці 4.3. наведені чисельні значення частот власних коливань будівлі Центру з ушкодженнями для розрахункової схеми № 2.

Таблиця 4.3

Чисельні значення частот власних коливань для розрахункової схеми № 2  
будівлі Центру з ушкодженнями

| Номер форми коливань | Частота коливань, Гц | Період коливань (T), с | Сума модальних мас при динамічних впливах від масових вибухів ВР, % |        |
|----------------------|----------------------|------------------------|---|--------|
|                      |                      |                        | по X  | по Y   |
| 1                    | 4.561                | 0.219                  | 55.570  | 12.725 |
| 2                    | 4.693                | 0.213                  | 59.979  | 65.489 |
| 3                    | 5.161                | 0.194                  | 59.997  | 65.607 |
| 4                    | 5.355                | 0.187                  | 60.006  | 65.609 |
| 5                    | 5.669                | 0.176                  | 60.046  | 65.635 |
| 6                    | 5.712                | 0.175                  | 60.046  | 65.639 |
| 7                    | 6.219                | 0.161                  | 75.127  | 72.458 |
| 8                    | 6.246                | 0.160                  | 76.368  | 73.025 |
| 9                    | 6.678                | 0.150                  | 76.927  | 74.082 |
| 10                   | 6.751                | 0.148                  | 76.934  | 74.092 |

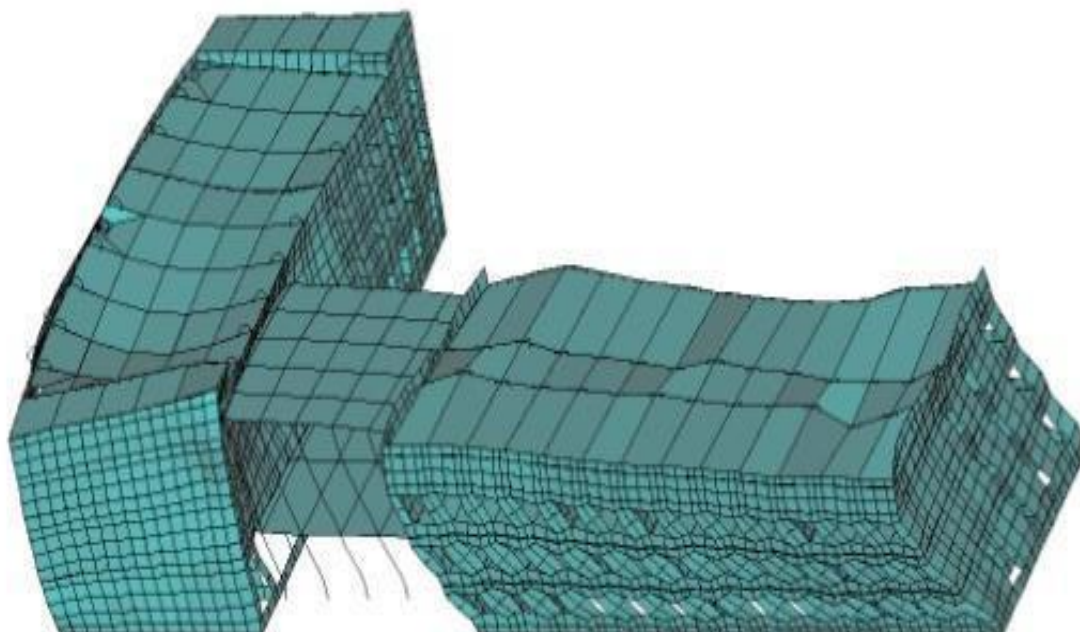
Примітка.  
Сірим кольором позначені форми коливань, які є визначальними для динамічного НДС будівлі Центру

Власні коливання комп'ютерної моделі будівлі по першим основним формам в напрямку осі X (уздовж будівлі, а) та Y (поперек будівлі, б) показані на рис. 6.

Наведені в таблиці 4.3 значення частот і періодів власних коливань за формами 1, 2, 7 для комп'ютерної моделі будівлі № 2 близькі до зареєстрованих експериментальних значень на рис. 4.28.

а) Форма 1 по X.  $T=0,219$  с

Зарушення 8 Акселерограми B  
Составляющая 1



б) Форма 2 по Y.  $T=0,213$  с

Зарушення 9 Акселерограма T  
Составляющая 2

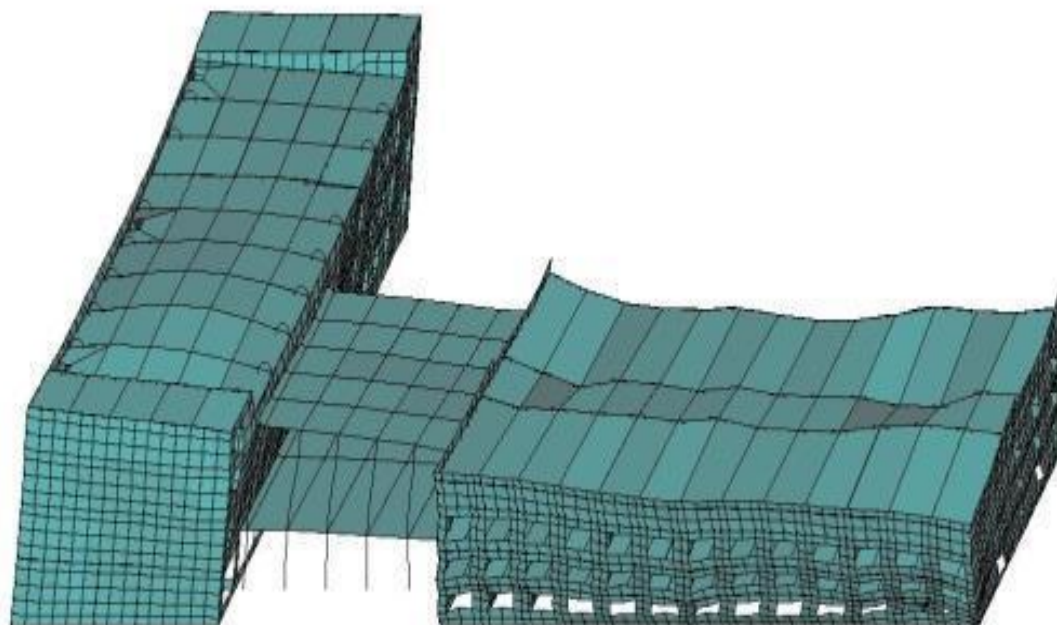


Рис. 4.28. – Власні коливання комп'ютерної моделі № 2 будівлі Центру по першим основним формам в напрямку осі X (а) і в напрямку осі Y (б)

На основі експериментальних даних при вібродинамічних обстеженнях будівлі Центру було отримано амплітудний спектр віброприскорень (див. рис.

4.24), згідно з яким експериментальні значення частот власних коливань  $f_i$  (і періодів  $T_i$ ) будівлі по формах склали:

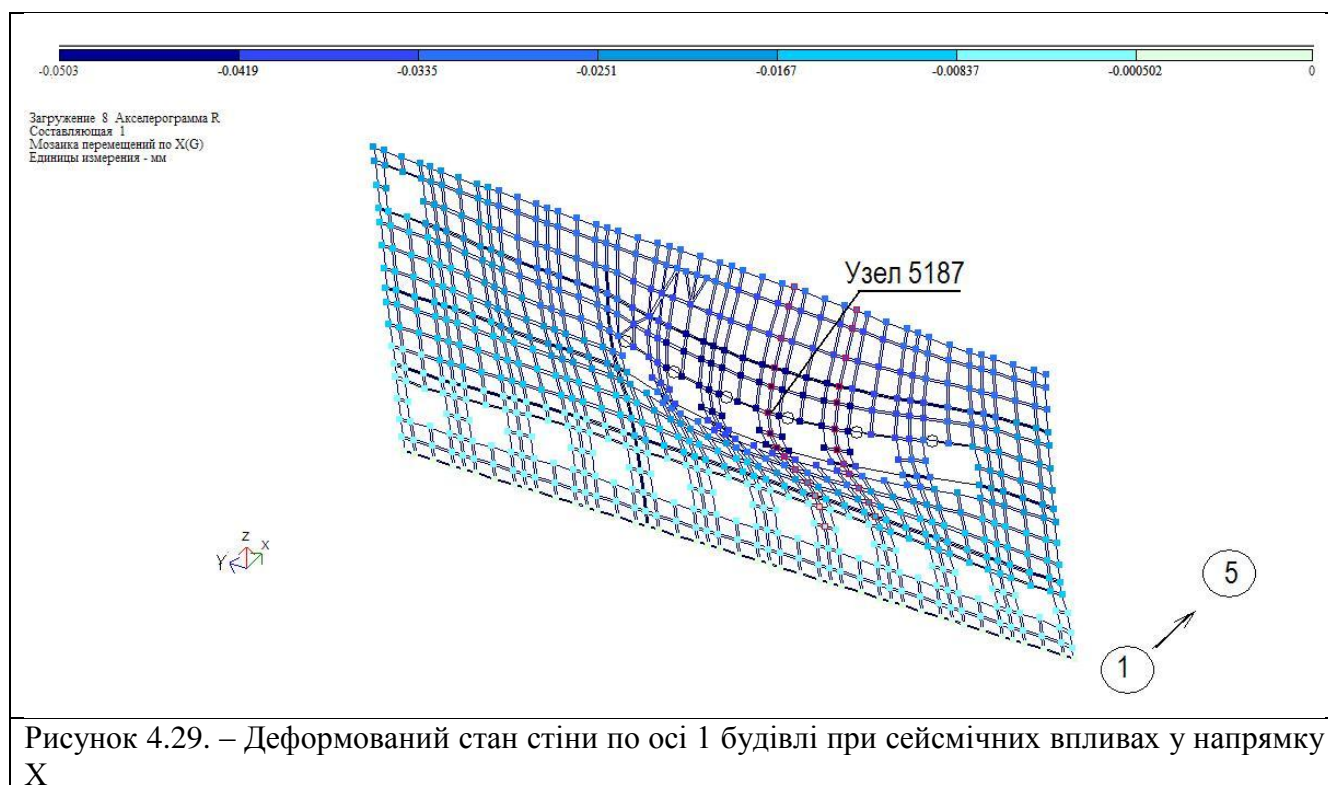
- у напрямку X  $f_1 = 4,25$  Гц ( $T_1 = 0,235$  с),  $f_2 = 6,70$  Гц ( $T_2 = 0,149$  с);
- у напрямку Y  $f_1 = 4,50$  Гц ( $T_1 = 0,222$  с),  $f_2 = 5,40$  Гц ( $T_2 = 0,185$  с).

Наведені в таблиці 1 значення частот і періодів власних коливань за формами 1, 2, 7 для комп'ютерної моделі будівлі 2 близькі до їх експериментальних значень. Таким чином, комп'ютерна модель 2 будівлі Центру творчості з моделюванням тріщини в верхній частині несучої стіни будівлі по осі 1 прийнята як вихідна для проведення теоретичних досліджень. На її базі підготована комп'ютерна модель 1 без наявності пошкоджень в будівлі.

Поряд з оцінкою динамічних параметрів розробленої комп'ютерної моделі 2 будівлі була проведена оцінка її деформованого стану при сейсмічних впливах. 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. 4.29.

Представлена область найбільших деформацій несучої цегляної стіни по осі 1 при сейсмічних впливах обмежує простір залу для глядачів Центру творчості на другому поверсі будівлі. Залізобетонні балки покриття на відм. 10.85 і горизонтальний пояс поперечної рами по осі «І» на відм. 11.80 є найбільш відповідальними конструктивними елементами покрівлі будівлі і визначають її довговічність (ресурс). Для цих елементів буде виконаний розрахунок ризиків руйнування з метою визначення зниження ресурсу цих елементів при впливі сейсмічних навантажень.

Таким чином, комп'ютерна модель № 2 будівлі Центру з моделюванням тріщини в верхній частині її несучої стіни по осі 1 є коректною і прийнята в якості вихідної для проведення на її основі чисельно-аналітичних досліджень.



#### 4.4. Оцінка життєвого ресурсу Центру на основі системного об'єднання результатів натурних і чисельних досліджень

Оцінка життєвого ресурсу Центру базується на розрахунку наближеної оцінки ймовірності відмови залізобетонних балок покриття Центру на відм. 10.85 і горизонтального пояса поперечної рами по осі «I» на відм. 11.80 (рис. 4.25). Ці несучі елементи покриття є найбільш відповідальними конструктивними елементами покрівлі будівлі Центру і тому можуть бути прийняті для оцінки життєвого ресурсу. Розрахунки ризиків руйнувань виконані для двотаврової балки перекриття ( $h = 1,2$  м і  $L = 15$  м), шарнірно опертої на поздовжні стіни будівлі і горизонтальний пояс поперечної рами ( $h = 1,0$  м і  $L = 12$  м). Переріз, армування балки і пояса рами, інші характеристики міцності були прийняті згідно з проектом. Розрахунок ризиків виконаний за формулою (4.10) з урахуванням результатів математичного моделювання НДС будівлі Центру в ПК ЛІРА:

$$risk = (z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z dt e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (4.10)$$

де  $z$  – відношення математичного очікування різниці згинальних моментів (граничного і сумарного), розрахованих в ПК ЛПА, до його нормативного значення.

Ризик руйнування склав: для балки перекриття  $risk = \Phi(-3,814) < \Phi(-3,29) = 0,0005$ ; для верхнього пояса рами  $risk = \Phi(-6) < \Phi(-3,29)$ . Розрахункові дані ризиків руйнування представлені на рис. 4.27 в т. 1 для балки і т. 2 - для пояса рами.

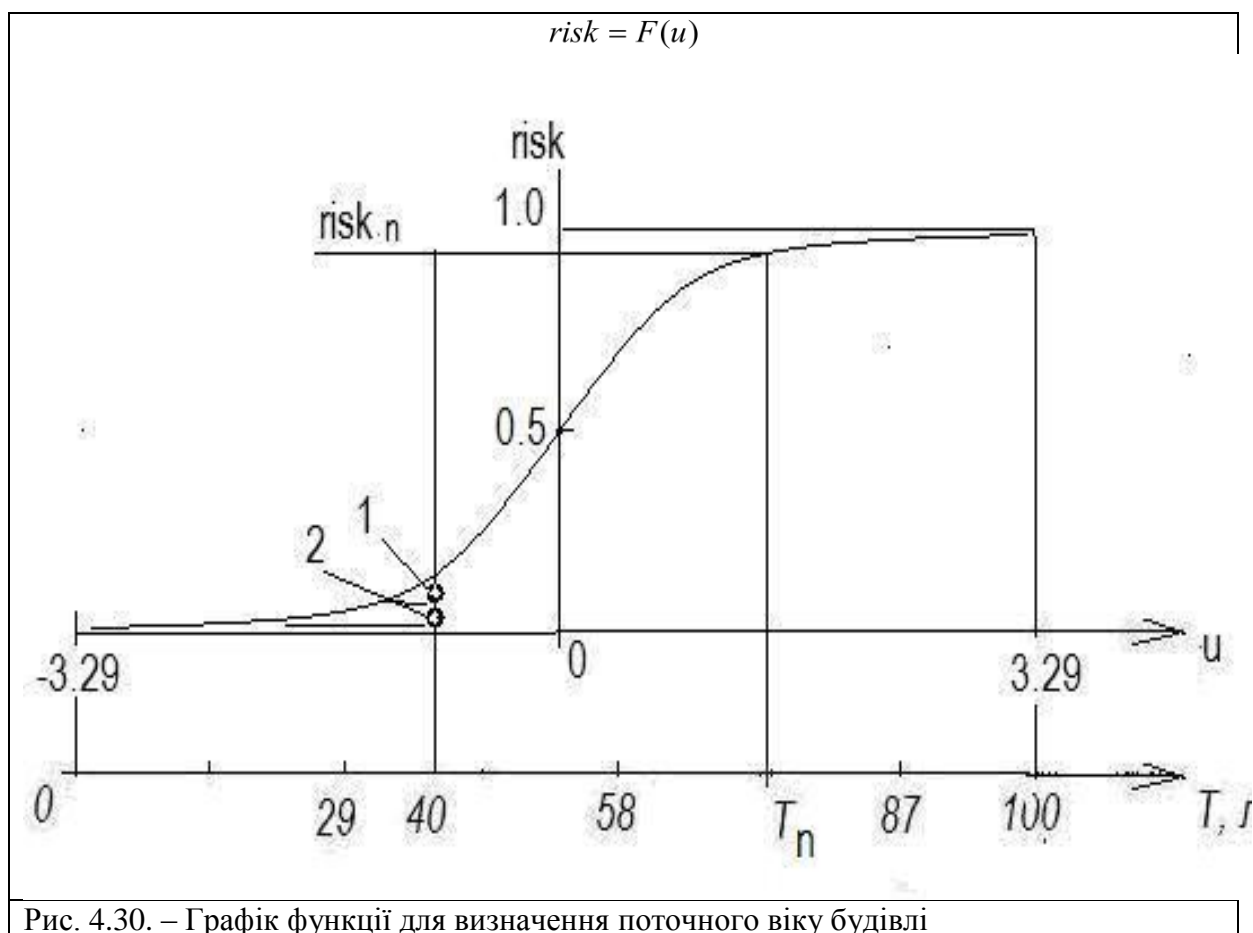


Рис. 4.30. – Графік функції для визначення поточного віку будівлі

Отримані значення ризику руйнування для зазначених конструкцій на час досліджень задовольняли необхідним показникам міцності. Однак будівля за період експлуатації у більш ніж 40 років піддавалася періодичним впливам ударних ґрунтових хвиль від вибухів на кар'єрах і накопичила багато прихованих

і відкритих дефектів в конструктивних елементах, які не були враховані в розрахунках. В ході візуальних обстежень Центру було зафіксовано порушення стиків панелей перекриття першого поверху, що свідчить про їх хвилеподібні переміщення при вибухових динамічних впливах. З огляду на утворення значних зазорів між плитами перекриттів, 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 [135]. Крива еволюції несучої здатності описується:

$$P = P_0 - \Delta P(T, T^2), \quad (4.11)$$

де  $P_0$  – несуча здатність конструктивних елементів або будівлі в період початку його експлуатації,  $\Delta P$  – зменшення несучої здатності за минулий період  $T$  (років).

На рис. 4.31 представлений графік зміни несучої здатності окремого несучого елемента і будівлі Центру в цілому, також представлена діаграма «а - d» оцінки його технічного стану. Розрахунковий вік будівлі відрізняється від фактичного на величину  $\sim 30$  років.

Таким чином, для комплексної ОЖР Центру необхідно враховувати технічний стан всіх його елементів і результати всіх видів обстежень: інструментального, візуального, а також результати математичного моделювання.

Виявлені дефекти візуального огляду в сукупності з розрахунковими і експериментальними даними дозволяють характеризувати загальний технічний стан будівлі Центру як непридатний до нормальної експлуатації вже в найближчому майбутньому. При наростанні внутрішніх дефектів в будівлі для несучих залізобетонних конструкцій ризик їх руйнування збільшиться, що прискорить її старіння і значне зниження ресурсу  $\Delta T_1$ .

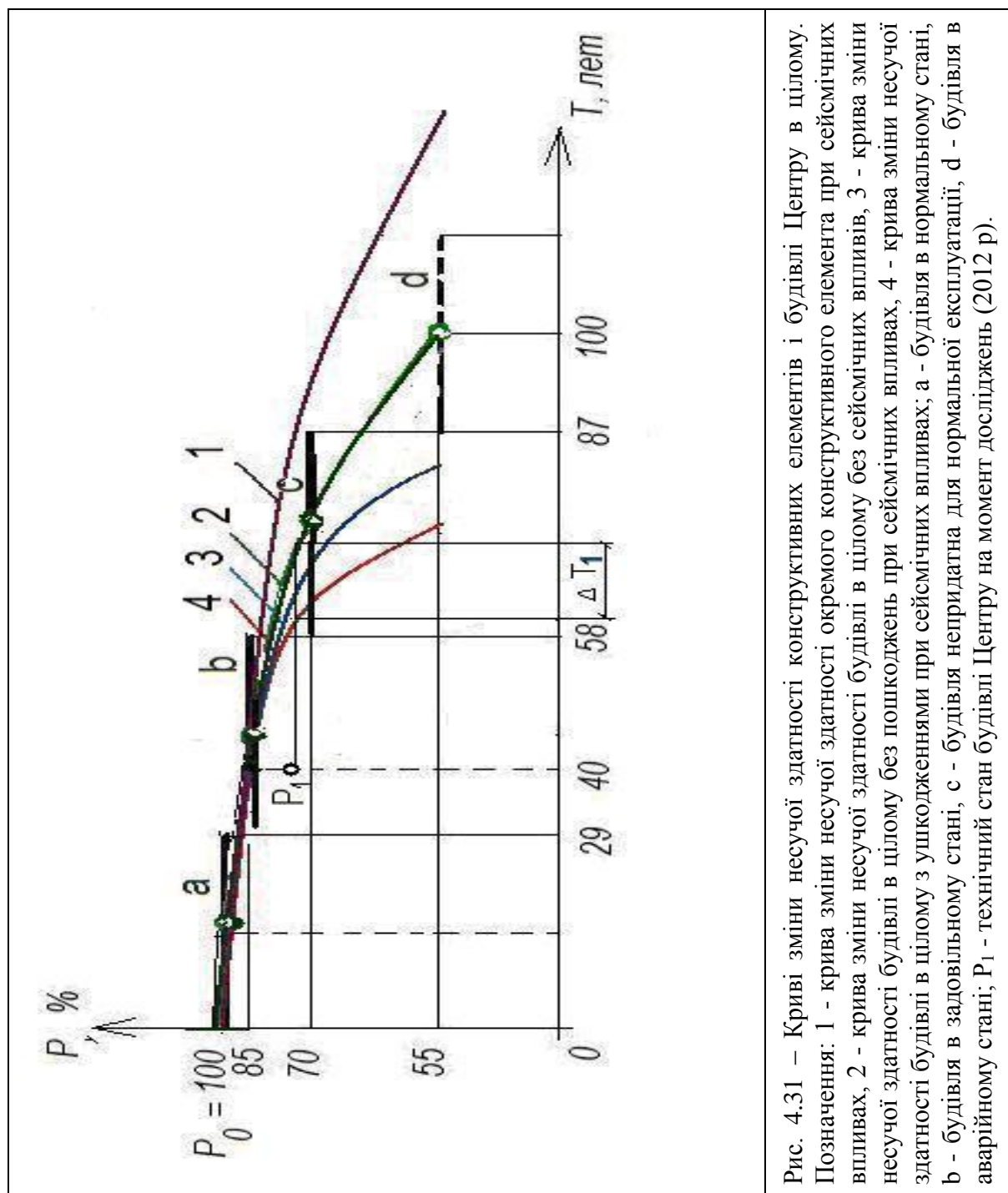


Рис. 4.31 – Криві зміни несучої здатності конструктивних елементів і будівлі Центру в цілому. Позначення: 1 - крива зміни несучої здатності окремого конструктивного елемента при сейсмічних впливах, 2 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому без сейсмічних впливів, 3 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому без пошкоджень при сейсмічних впливах, 4 - крива зміни несучої здатності будівлі в цілому з ушкодженнями при сейсмічних впливах; a - будівля в нормальному стані, b - будівля в задовільному стані, c - будівля непридатна для нормальної експлуатації, d - будівля в аварійному стані;  $P_1$  - технічний стан будівлі Центру на момент досліджень (2012 р).



#### Висновки за розділом 4

1. Інтенсивність динамічного впливу від вибухів на кар'єрі ПівдГЗК на житловий фонд м. Кривий Ріг оцінюється в межах 2-3 (4) балів (швидкість коливань ґрунту поблизу будівель становить в межах 0,2-0,4 см/с) на основі досліджень і отриманих експериментальних даних, проведених ДП НДІБК та іншими експертними організаціями в 2005-2015 рр. При цьому гранична маса вибухових речовин для здійснення вибухів в кар'єрі ПівдГЗК за період спостережень 2008-2012 рр. становила від 490 до 652 т.

2. Зниження рівня сейсмічних впливів на будівлі і ґрунт під час вибуху масою 500-650 т в кар'єрі ПівдГЗК шляхом застосування тільки технічних засобів (використання сповільнювачів при проведенні вибуху) не дозволяє істотно знизити їх інтенсивність.

3. На основі системного об'єднання численних експериментальних даних і результатів математичного моделювання отримано прогноз погіршення технічного стану залізобетонних конструкцій будівлі Центру в умовах постійно діючих вибухових впливів від кар'єра ПівдГЗК. Розрахунки ризиків руйнування несучих елементів будівлі Центру для всіх вразливих зон дозволили спрогнозувати оцінку життєвого ресурсу, який зменшився в порівнянні з нормативним на ~ 30 років (у 2012 р.). Визначено темпи зниження життєвого ресурсу Центру. Виявлені дефекти візуального обстеження та вібродинамічних досліджень, отримані розрахункові характеристики (2014-2016 рр.) дозволяють характеризувати загальний технічний стан будівлі Центру як непридатний для нормальної експлуатації вже найближчим часом.

4. Системна оцінка життєвого ресурсу будівель і споруд повинна враховувати технічний стан всіх його елементів і результати всіх видів обстежень: інструментального, візуального та дані математичного моделювання.

5. Експериментально-теоретичний метод оцінки життєвого ресурсу може бути успішно використаний для динамічної паспортизації будівель і споруд в районах бойових дій Луганської та Донецької областей (Мар'їнка, Зайцеве тощо), а також в майбутньому на тимчасово окупованій території України після її звільнення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача – проведено 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. Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Систематизовані та узагальнені наявні дані щодо результатів теоретичних і експериментальних досліджень промислових вибухів, аналізу сучасних методів розрахунку основ і фундаментів будівель на сейсмостійкість, нормативним документам України, європейських країн і міжнародних стандартів щодо допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, споруди та високоточне обладнання; а також досліджень проектного терміну експлуатації та довговічності будівель і споруд.

2. Вперше 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 інтегральної вібраційної діагностики.

3. Вперше роблено 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 в нормативних документах будівельної галузі України: ДБН «Будівництво у сейсмічних районах України»

та ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд».

6. Взято участь у розробці двох нормативних документів України, які введені в дію у 2005—2017 рр.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. De Sitter Law Of Fives. Durability of Concrete Strustures. СЕВ-Bulletin, № 152: Сopenhgagen, 1983.
2. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Поклонский В.Г., Дунин В.А., Маценко А.М. Динамические обследования и расчет строительных конструкций объекта «Укрытие» и сооружений II–й очереди ЧАЭС. – В сб.: Научные и технические аспекты международного сотрудничества в Чернобыле. – Славутич, УКРАТОМИЗДАТ, 1999. – 199-212 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе по договору №101-Р/227 "Выполнить измерения вибраций при различных режимах работы вибрационного оборудования III блока и оценить влияние колебаний на прочность несущих конструкций объекта "Укрытие" Этапы 1,2, 3.1, 3.2. – НИИСК, Киев, 1993.
4. Марьенков Н.Г., Поклонский В.Г., Маценко А.М. Экспериментальные исследования колебаний 3-го энергоблока Чернобыльской АЭС // Межведомственный научно-технический сборник «Строительные конструкции». – К.: НИИСК. 1998. вып. 49. С. 144-153.
5. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Поклонский В.Г., Дунин В.А., Маценко А.М. Динамические обследования и расчет строительных конструкций объекта «Укрытие» и сооружений II-й очереди ЧАЭС. – В сб.: Научные и технические аспекты международного сотрудничества в Чернобыле. – Славутич, УКРАТОМИЗДАТ, 1999. – С. 199-212.
6. Немчинов Ю.И., Мар'єнков М.Г., Стаковиченко Є.Й., Поклонський В.Г., Маценко А.М., Дунін В.А., Недзведська О.Г. Дослідження динамічних характеристик і оцінка сейсмостійкості споруди ХОЯТ-1 АЕС. – В. зб.: Опір матеріалів та теорія споруд. – К.: КДТУБА. □ вип. 65. □ 1999. □ С. 130-137.
7. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Козырь А.А., Рыжов А.М., Сотула П.И. Влияние на здания и сооружения сейсмозрывных воздействий при уплотнении просадочных грунтов. – В кн.: Сейсмичность и сейсмический прогноз на Дальнем Востоке. – Петропавловск-Камчатский, 1986. – С.222-223.

8. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г. Сейсмозрывные воздействия на многоэтажные здания городской застройки.– Севастополь: Тезисы докладов конференции «Надежность и эффективность нетрадиционных систем сейсмозащиты зданий и сооружений», 1991.
9. ДБН В.2.3-7 Споруди транспорту. Метрополитени.- Мінбудархітектури, Київ, 2003.
10. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. Издание официальное. – М.: Госстрой СССР, 1991. – 32 с.
11. Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. Класифікатор надзвичайних ситуацій в Україні. – К.: 1998. – 179 с.
12. Марьенков Н.Г., Бахтин О.Б. Динамические обследования конструкций и грунта для оценки безопасной эксплуатации зданий и сооружений. – Будівельні конструкції. Випуск 51. – Київ, НДІБК, 1999р., с. 251-257.
13. Отчет о НИР: «Провести инструментальные измерения уровней вибрации и шума жилых зданий по просп. Победы и ул. Сагайдачного во время движения поездов киевского метрополитена и подготовить вывод об их соответствии санитарным нормам и правилам, а также выполнить прогноз виброзащитного эффекта от внедрения предусмотренных проектом мероприятий». – Киев: НИИСК, Марьенков Н.Г., Трохименко Н.А. – 2001 г. –73 с.
14. Бабик К.Н. Оценка динамического воздействия на конструкции зданий от линий метрополитена мелкого заложения. – Будівельні конструкції. Випуск 58. – Київ, НДІБК, 2003 р., с. 301-309.
15. СНиП 2.02.05-87. Строительные нормы и правила Фундаменты машин с динамическими нагрузками. — М. : Гос. строит. ком. СССР. — 1988. — 52 с.
16. ДБН В.1.1-12:2006. – Строительство в сейсмических районах Украины /Минстройархитектуры Украины. — Киев: «Укрархбудинформ», 2006. — 84 с.
17. ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» — К.: Укрбудархінформ, 2007. — 14 с.
18. ДБН В.1.2-12-2008 «Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги

безпеки» - К.: Укрбудархінформ, 2007. – 34 с.

19. ДБН В.1.2-14-2009 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований» — К.: Укрбудархінформ, 2007. — 14 с.

20. ДСТУ Б В.2.6 – 25 - 2003. «Автоматизированные системы для технического диагностирования строительных конструкций. Общие технические требования» – К.: Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре, 2003. – 25 с.

21. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016/К. Бабік, Ю. Калюх, М. Мар'єнков... Я. Берчун та ін. // [Чинні від 01 квітня 2017 року]. – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 42 с. – (Державні будівельні норми України).

22. Мінекобезпеки України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 1998 році. – К.: 1998. – 162 с.

23. Alonso-Rodriguez A., Nikitas N., Knappett J., Kampas G., Anastasopoulos I., Fuentes R. 2018. System identification of tunnel response to ground motion considering a simplified model. *Frontiers in Built Environment* 4: 1-11.

24. Intrieri E., Gigli G., Gracch T., Nocentini M., Lombardi L., Mugnai F, Frodella W., Bertolini G., Carnevale E., Favalli M., Fornaciai A., Alavedra J. M., Mucchi L., Nannipieri L., Rodriguez-Lloveras X., Pizziolo M., Schina R., Trippi F., Casagli N. 2018. Application of an ultra-wide band sensor-free wireless network for ground monitoring. *Engineering Geology* 238: 1-14.

25. Колебания и волны в слоистых средах/В.М. Сеймов, А. Н. Трофимчук, О. А. Савицкий; Отв. ред. Гринченко ВТ; АН УССР. Ин-т гидромеханики. — Киев: Наук. думка, 1990.—224 с.—ISBN 5-12-001670-7

26. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред/А.Н. Трофимчук, А.М. Гомилко, О.А. Савицкий. — Киев: Наук. думка, 2003. — 230 с.

27. Lollino G., Chiara A. 2006. UNESCO World Heritage sites in Italy affected by geological problems, specifically landslide and flood hazard. *Landslides*. 3(4): 311-321.

28. Martinelli M., Burghignoli A., Callisto L. 2016. Dynamic response of a pile

- embedded into a layered soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 87: 16-28.
29. Shokrabadi M., Burton H.V., Stewart J.P. 2018. Impact of Sequential Ground Motion Pairing on Mainshock-Aftershock Structural Response and Collapse Performance Assessment. *Structural Engineering* 144 (10): 04018177.
30. Wang Y., Rathje E.M. 2018. Application of a Probabilistic Assessment of the Permanent Seismic Displacement of a Slope. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 144 (6): 04018034.
31. Barla M., Antolini F., Dao S. 2014. Il monitoraggio delle frane in tempo reale. *Strade e Autostrade* 107: 154–157.
32. Borja R.I., White J.A., Liu X.Y., Wu W. 2011. Factor of safety in a partially saturated slope inferred from hydro-mechanical continuum modeling. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 63(2): 140-154.
33. Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G. 2010. Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. *Landslides* 7(3): 291–301.
34. Frodella W., Ciampalini A., Bardi F., Salvatici T., Di Traglia F., Basile G., Casagli N. 2018. A method for assessing and managing landslide residual hazard in urban areas. *Landslides*, 15(2): 183-197.
35. Kaliukh, I., Senatorov, V., Khavkin, O., Kaliukh, T., Khavkin, K. 2013. Experimentally-analytical re-searches of the technical state of reinforce-concrete constructions for defense from landslide's pressure in seismic regions of Ukraine. *Proc. fib symp.*, Tel-Aviv, 22 -24 April 2013.
36. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
37. ДБН 360-92\*\*. Містобудування, планування і забудова міських і сільських поселень. – Мінбудархітектури, Київ, 1992.
38. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 45 с.
39. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах. № 1304-75. – М.: Минздрав СССР, 1975. – 9 с.
40. СНиП II-12-77. Защита от шума. – М.: Госстрой СССР, 1978. - 3 с.
41. Садовский М. А., Костюченко В. Н. О сейсмическом действии подземных

взрывов//Доклады АН СССР, 1974, т. 215, № 5. - С.1097—1100.

42. Исследование детонации промышленных ВВ. — В кн.: Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. М., «Наука», СО АН СССР, 1971, № 1, с. 46—51. Авт.: О. Н. Дремин, К. К. Шведов, А. А. Кравченко и др.

43. Исследование эффективности действия взрыва при многоточечном инициировании удлиненных зарядов. — В кн.: Взрывное дело, № 71/29. М., «Недра», 1972. — С.102—108. Авт.: Н. П. Сеинов, Л. Н. Марченко, И. Ф. Жариков и др.

44. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Козырь А.А., Сотула П.И. Колебания многоэтажных бескаркасных зданий при сейсмозрывных воздействиях. — В кн.: Подготовка оснований и устройство фундаментов на просадочных грунтах и в сейсмических районах. — Чимкент, 1985.

45. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Козырь А.А., Рыжов А.М., Сотула П.И. Влияние на здания и сооружения сейсмозрывных воздействий при уплотнении просадочных грунтов. — В кн.: Сейсмичность и сейсмический прогноз на Дальнем Востоке. — Петропавловск-Камчатский, 1986. — С.222-223.

46. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г. Сейсмозрывные воздействия на многоэтажные здания городской застройки.— Севастополь: Тезисы докладов конференции «Надежность и эффективность нетрадиционных систем сейсмозащиты зданий и сооружений», 1991.

47. Кузнецов Г. В. Сейсмическая безопасность сооружений при взрывных работах в карьерах. — «Горный журнал», 1971, № 4, с. 47—49.

48. Пергамент В. Х., Медведев С. В., Богацкий В. Ф. Прогноз скоростей сейсмических колебаний при взрывах. — В кн.: Сейсмо-безопасное взрывание на горных предприятиях. Магнитогорск, 1975, с. 3—22.

49. Единые правила безопасности при взрывных работах. М., «Недра», 1976. - 332 с. Богацкий В. Ф., Пергамент В. Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. — М.: «Недра», 1978. — 127 с.

50. Ромашов А. Н. О природе некоторых волн в грунте, возбуждаемых подземным взрывом. - В кн.: Взрывное дело, № 64/21. М., «Недра», 1968, с. 158—191.

51. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М., «Недра», 1976. 262 с.



52. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов. М., «Недра», 1964. 188 с.
53. Корчинский А. Й. Сейсмическое строительство зданий. М., «Высшая школа», 1971. - 319 с.
54. Кузнецов Г. В. Сейсмическая безопасность сооружений при взрывных работах в карьерах. — «Горный журнал», 1971, № 4. —С.47—49.
55. Пакет обработки сигналов (ПОС). Часть 1. Руководство пользователя. — М.: НПП «Мера», 1996. — 113 с.
56. ДБН В.1.1-5-2000. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах, часть II. Здания и сооружения на просадочных грунтах. Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, Киев, 2000. — 87с.
57. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель та споруд/ Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України; Державний комітет України по нагляду за охороною праці. — К.: 1997. — 146с.
58. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки №3077-84 . — М.: Минздрав СССР, 1984. — 8 с.
59. ДСТУ 4704:2008. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки.- К.: -2009 — 11 с.
60. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. — Л.: Стройиздат, 1979. — 200 с.
61. Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на основания сооружений. — Гомель: БелГУТ, 1999. — 274 с.
62. Нормирование вибрации сооружений в СССР и за рубежом. — М.: ВНИИНТПИ. — Цейтлин А.И., Кедрова Г.Л. — Обзор. — 1990. — 60 с.
63. ИСО/ПМС 4666. Механическая вибрация и удар. Измерение и оценка воздействия вибрации на здания. Указания по применению основных методов стандартизации.
64. ЧСН 730032-76. Расчет строительных конструкций, воспринимающих динамические нагрузки от машин.

65. PN-64/B-02170. Защита зданий от воздействия колебаний и ударов.
66. Leet L.D. Vibrations from Blasting Rock, p. 96, Harvard University Press. Cambridge, Mass., 1960.
67. ISO/TC 108/SG2/Wg 3-9. in preparation. Evaluation and Measurement of Vibration in Buildings. (Измерение и оценка вибрации в сооружениях. Проект).
68. DIN 4150, ч. 1-64. Вибрация в строительстве. Действие механических колебаний на сооружения.
69. Karlheinz A. Vorbeugender Schutz gegen Sprengerschütteniangs-schäden bei Falsaushubarbeiten im Fassungsereich von Quellen im dicht besiedelten Wohnungsgebiet von Baden-Baden// nobel Hefre, 1978. - №1. – s. 17-21.
70. Raab A. Anhaltswerte ur Bodenerschütterungen bei Sprengarbeiten in internationalen verbich// ind. Steine und Erden, 1982. - №4. – s. 142-152.
71. Boddotf D. Uncertainties stem from OSM proposed blasting regulations// Pit and Quarry. 1981. - №10. – p. 91-92.
72. Jivanetic J. Seizmichna varnost pri minerskin delih na povrsin// Rud. Met, Zb., 1982. - №1. – s. 63-76.
73. AASHTO Designation: R 8-96(2000). Evaluation of Transportation-Related Earthborne Vibrations. 13 pp., 2000.
74. British Standards Institution. Evaluation and Measurements for Vibration in Buildings – Guide to Damage levels from Groundborne Vibration. BS 7385: part 2: 1993. Milton Keynes, England, MK 14 6LE, 1993.
75. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий.-М.: ЦНИИСК, 1988.
76. Богатский В.Ф., Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. М., «Недра», 1978
77. Вовк А.А., Кузьменко А.А. Сейсмическое действие взрыва цилиндрического заряда. // Прикладна гідромеханіка. 2001. том 3(75), №4 с. 3-12.
78. Чепурной В.И., Зайцев И.Н. Оценка усталостного разрушения зданий и сооружений// Разработка рудных месторождений. Вып 89- Кррог. 2005.-24-28 с.
79. Гениев Г.А. Оценка влияния характеристик упругости и вязкости грунта на интенсивность поверхностного проявления сдвигового сейсмического

воздействия//Основания, фундаменты и механика грунтов.- 1999.- №6.-с. 8-11.

80. Оніка С.Г. Прогноз та керування сейсмікою масових вибухів на залізнорудних кар'єрах при їх наближенні до охороняємих об'єктів. Автореф.дис. на здобуття наук. Ступеня д.т.н. Спец. 05.15.03 – Відокремлена розробка родовищ корисних копалин /Мін-во освіти Укр., КТУ.-Кривий Ріг, 1996.-41 с.

81. Поздняков Б.В. Распределение амплитуд сейсмозрывных колебаний.// Сейсмика промышленных взрывов. Взрывное дело. Сборник № 85/42.: Недра, Научно-техническое горное общество ,1983.- С.31-39

82. Цейтлин Я.И., Смолий Н. И.Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М., Недра, 1981. – 192 с.

83. Черний В.Г. Евристичні оцінки ймовірності ушкодження будівель і споруд у складних ґрунтових умовах // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 12. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2003. С. 241-247 87

84. Глава II-А.1 СНиП «Основные положения по классификации зданий и сооружений»

85. СНиП II-А.3-62 «Классификация зданий и сооружений. Основные положения проектирования».

86. Правила учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций. Утверждены Постановлением Госстроя СССР от 19.03.1981 г. № 41.

87. ГОСТ 27751-88 «Надежность конструкций и оснований. Основные положения по расчету».

88. ДБН В.1.2-14-2008 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».

89. EN 1990 «Основні принципи будівельного проектування».

90. ISO 2394:1994 «General principles on reliability for structures» (Основні принципи забезпечення надійності).

91. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия и определения.

92. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.

93. Отчет по результатам измерений и расчетов параметров сейсмических волн в основании зданий при проведении массовых взрывов на карьерах ГОК ОАО «Миттал Стіл Кривой Рог» в рамках НТР «Разработка рекомендаций по определению максимального предельного количества взрывчатых материалов в карьерах ГОКа при условии обеспечения безопасности при действии сейсмической и воздушной волн на дома». Договор №714/212 от 10 января 2007 г. – НИИСК, Киев, 2007.
94. EN 1990 «Основні принципи будівельного проектування».
95. ISO 2394:1994 «General principles on reliability for structures» (Основні принципи забезпечення надійності).
96. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия и определения.
97. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
98. Програма управління. Многоканальная система «Сейсмомоніторинг» версія 1.0. Руководство оператора. ДИАТОС –Киев, 2009.- 83 с.
99. ISO 2394:1994 «General principles on reliability for structures» (Основні принципи забезпечення надійності).
100. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия и определения.
101. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
102. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА, версия 9.0. Руководство пользователя. — Киев, 2002. — 147 с.
103. ДБН 360-92\*\*. Містобудування, планування і забудова міських і сільських поселень. – Мінбудархітектури, Київ, 1992.
104. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 45 с.
105. Пакет обработки сигналов (ПОС). Часть 1. Руководство пользователя. – М.: НПП «Мера», 1996. – 113 с.
106. Отчет по результатам натуральных измерений виброакустических параметров в границах санитарно-защитных зон при проведении взрывов на карьерах ОАО "ЦГОК" в г. Кривой Рог" в рамках НИР "Натурні вимірювання віброакустичних параметрів в межах санітарно-захисних зон при проведенні вибухів в залізорудних кар'єрах". Договор №1616 от 8 апреля 2005 г. –НИИСК, Киев, 2005.

107. Отчет о НТР «Разработка рекомендаций по определению максимального предельного количества взрывчатых веществ в карьерах ОАО «ЮГОК» при условии обеспечения безопасности при действии сейсмических и удачных воздушных волн на здания». Договор №2118 от 20.05.2008 г. – НИИСК, Киев, 2008.

108. ДБН В.1.1-5-2000. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах, часть II. Здания и сооружения на просадочных грунтах. Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, Киев, 2000. – 87с.

109. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель та споруд/ Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України; Державний комітет України по нагляду за охороною праці. – К.: 1997. – 146с.

110. Отчет о НТР «Научно-техническое сопровождение работ по определению максимального предельного количества взрывчатых материалов в карьере «ЮГОК» на период 2013-2017 гг. при условии обеспечения безопасности воздействия сейсмических и удачных воздушных волн на здания». Договор №645/1731 от 19.04.2012 г. – НИИСК, Киев, 2008.

111. Бержинская Л.П. Надежность региональных типов зданий при сейсмических воздействиях (на примере Прибайкалья). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2006. – 22 с.

112. Постанова Кабінету Міністрів України „Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру” від 3 серпня 1998 р. №1198.

113. Указ Президента „Про Концепцію захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій” 284/99, 26/03/1999.

114. Постанова КМУ від 16 грудня 1999 р. №2303 „Про створення УІАС НС”.

115. Наказ Держбуду України від 24.12.1999 р. „Про виконання Постанови Кабінету Міністрів України від 16 грудня 1999 р. №2303 „Про створення УІАС НС”.

116. Правила паспортизації и оценки фактической сейсмостойкости воинских зданий и сооружений. Под общей редакцией Савина С.Н. ВСП -22-01-95. -М.: МО, 1996. - 43с.
117. Патон Б.Є. Проблеми ресурсу конструкцій, споруд та обладнання в Україні//Труди Всеукраїнської науково-практичної конференції “Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми”.-К.:НДІБК.-2001.-С.18-23.
118. Айзенберг Я.М. Развитие концепций и норм антисейсмического проектирования. – М.: ВНИИТПИ, 1977. – 70 с.
119. СНиП II-7-80\* Строительство в сейсмических районах/Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003.
120. Айзенберг Я.М. О сейсмическом зонировании в строительных нормах стран СНГ // Сейсмостойкость сооружений. Безопасность сооружений. – 2001. - № 3.
121. Ицков И.Е. О графиках , приведенных в проекте международных строительных норм СНГ «Строительство в сейсмических районах» // Сейсмостойкое строительство. –2003. – С.58-63.
122. Ашимбаев М.У., Ицков И.Е. О нормах проектирования зданий повышенной этажности в сейсмических районах // Міжвідомчий наук.-техн. Зб. “Будівельні конструкції”. – 2006 р. – Вип. 64.–С.555-558
123. Ашимбаев М. У. Султанов Г.А. Проектирование высотных зданий в сейсмических районах // Міжвідомчий наук.-техн. Зб. “Будівельні конструкції”. – 2006 р. – Вип. 64.–С.555-558
124. Клячко М.А. Анализ и контроль безопасности при устойчивом развитии // Міжвідомчий наук.-техн. Зб. “Будівельні конструкції”. – 2006 р. – Вип. 64.– С.164-171
125. Клячко М.А. Развитие экспертных систем для анализа и прогноза надежности и безопасности конструктивно-градостроительных систем // Сейсмостойкое строительство № 5, 1993 г. -
126. Немчинов Ю.И., Марьенков Н.Г., Хавкин А.К., Гудков Б.П., Кукунаев В.С., Кендзера А.В., Пустовитенко Б.Г., Егупов К.В., Перельмутер А.В.(в составе группы авторов). Государственные нормы: Строительство в сейсмических районах Украины // Межвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні

конструкції»/Збірник наукових прац.- К.: НДІБК,2006.- вып.64.- с.3-19.

127. Савин С.Н. Диагностика строительных конструкций зданий и сооружений методом свободных колебаний// Зб.наук. пр. НДІБК. – 2006. -№ 64 “Будівництво в сейсмічних районах України”. – Київ, 2006. – С.395-400

128. Заренков В.А., Захаров И.Д., Савин С.Н., Шнитковский А.Ф. Современные методы технической диагностики строительных конструкций зданий и сооружений. Под общей редакцией Савина С.Н. - Санкт-Петербург: РДК-принт, 2000, -128 с.

129. Бержинская Л.П., Иванькина Л.И., Ордынская А.П., Моргаев Д.Е. Результаты обследования крупнопанельного жилого дома серии 1-335 А-С в Республике Бурятия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2004. - № 6. - С. 18-24.

130. Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Бержинская Л.П., Ордынская А.П. и др. Экспериментальные исследования сейсмостойкости безригельного каркаса серии 1.120с. // Проектирование и строительство в Сибири. - 2004 - № 5. - С. 19-21.

131. Кукунаев В.С. Теоретические вопросы динамической паспортизации зданий в Крыму. Часть 1. // Полтава.

132. ДБН В.1.2-5:2007 «Науково-технічний супровід будівельних об'єктів» - К.: Укрбудархінформ, 2007. – 14с.

133. ЛПРА 9.2. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие. — Киев, 2005. — 145 с.

134. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження та впливи/Минстрой Украины. – Киев: 2006 г. – 60 с.

135. Положення про безпечну та надійну експлуатацію виробничих будівель і споруд (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Держбуду N 184/140 від 28.07.99). – 55 с.

**ДОДАТОК А**  
**ДОКУМЕНТИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ**  
**РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



## Д О В І Д К А

**про впровадження результатів дисертаційних досліджень Дуніна В.А.**

В період 2008 – 2012 р. ВАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат» (ВАТ «ПівдГЗК») за договорами №2118, №1387/1094а та №645 з ДП НДІБК проводив дослідження з розробки рекомендацій по визначенню максимальної граничної кількості вибухових речовин на період до 2017 р. при умові забезпечення безпечного впливу сейсмічних та ударних повітряних хвиль на будівлі при проведенні масових вибухів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК».

При виконанні досліджень Дуніним В.А. була запропонована методика, яка включала вдосконалення з метою отримання повноти та достовірності записів часових сигналів віброприскорень та віброшвидкості при коливаннях об'єктів дослідження під час вибуху.

Застосування під час досліджень розробленої методики динамічного обстеження та чисельної методики обробки одержаних результатів, викладених в дисертаційній роботі Дуніна В.А. дозволило:

- одержати достатньо інформативні записи часових сигналів віброприскорення та віброшвидкості при коливаннях ґрунту та будівель,
- виконати обробку записів часових сигналів для отримання параметрів коливань і провести їх аналіз,
- виконати порівняння зареєстрованих параметрів з діючими нормами.

Отримані результати були використані для визначення максимальної граничної кількості вибухових речовин на період до 2017 р. та при розробці рекомендацій щодо забезпечення безпечного впливу на будівлі при проведенні масових вибухів в кар'єрі ВАТ «ПівдГЗК».

Заступник директора технічного –  
начальник технічного відділу



Кір'янов В.Г.

*Згідно Заступника директора технічного – начальника  
технічного відділу Кір'янова В.Г. завідувач  
Т.В.О. начальник Вк П.Ю. Володимир*



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
(МІНРЕГІОН)



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
„ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ”  
(ДП НДІБК)



юридична адреса: вул. І.Клименка, 5/2, м. Київ-37, 03680, поштова адреса: вул. Преображенська, 5/2,  
м. Київ-37, 03037; тел. (044) 249-72-34, факс (044) 248-89-09  
[www.niisk.com](http://www.niisk.com); e-mail: [ndibk@ndibk.gov.ua](mailto:ndibk@ndibk.gov.ua); [niisk-office@ndibk.gov.ua](mailto:niisk-office@ndibk.gov.ua); код ЄДРПОУ 02495431

08.08.2021 № 220-1638 На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**

про впровадження результатів дисертаційних досліджень Дуніна В. А.  
за темою: «Вплив промислових вибухів на довговічність конструкцій  
будівель в умовах м. Кривий Ріг»

Результати наукових досліджень, викладених в дисертаційній роботі Дуніна Володимира Андрійовича, були використані при розробці ДБН В.1.1.-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» (введений в дію Наказом Мінрегіону України від 16.05.2014 №143) та нормативного документу ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд» (введений в дію Наказом Мінрегіону України від 24.04.2016 №185) в частині розділів 7, 9, Додаток А, а також при безпосередньому застосуванні положень ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 при виконанні моніторингу об'єктів, що межують з майданчиком будівництва, розміщеного в умовах ущільненої забудови.

Заступник директора інституту  
з наукової роботи, доктор  
технічних наук, професор



Ю.І. Немчинов

**ДОДАТОК Б**  
**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО**  
**АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Список публікацій здобувача:**

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>
4. Немчинов Ю.І. 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 протизсувних 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. Identification of defects of the piles with reflected waves/O. Lebid, I. Kaliukh, Y. Berchun, D. Chernyshev // Екологічна безпека. –2018. – № 1 (25). – С. 64-76.
7. 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.
8. Experimental monitoring and dynamic certification of building structures/M.H.

Marienkov, V.A. Dunin, N. Margvelashvili, G.G. Farenjuk, Ya.O. Berchun // Наука та будівництво. –2019. – № 22(4). – С. 33-44.

9. Динамическая реакция грунта и зданий г. Кривого Рога на варьирование па-раметров промышленных взрывов карьера ЮГОК/К. А. Хавкин, В. А. Ду-нин, Ю. И. Калюх и др. // Будівельні конструкції : зб. наук. пр. – К. : ДП НДІ-БК, 2010. – Вип. 73 – С. 454 – 460.

10. 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.

11. 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.

### **Апробація результатів дисертації**

Результати роботи доповідалися на:

- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-громадянського, промислового та транспортного призначення» (м. Ялта, смт. Гаспра, 2009);
- Восьмій всеукраїнській науково-технічній конференції «Будівництво в сейсмічних районах України» (Ялта, 2010);
- 4 Fib Congress (Мумбаї, Індія, 2014);
- «Monitoring 2019» (Київ, 2019).

У повному обсязі дисертація доповідалася двічі на розширених науково-технічних семінарах відділу автоматизації досліджень та сейсмостійкості будівель і споруд (21.05.2019 та 24.06.2021) Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» та Інституту гідромеханіки НАН України.