

УДК 624.012:699.841

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВІБРОЗАХИСТУ БУДИНКІВ ПРИ ВПЛИВАХ ПОТЯГІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

МАР'ЄНКОВ М. Г.^{1*}; *доктор техн. наук, с. н. с.*КАЛЮХ Ю. І.²; *доктор техн. наук, проф.*ДУНІН В. А.³; *інженер*МАР'ЄНКОВ А. М.⁴; *аспірант*

1*, 2, 3, 4 - Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК) Мінрегіона України, будинок 5/2, вул. Преображенська, м. Київ, Україна; тел. (044) 249-37-48; 067-717-40-96; факс (044) 249-37-30; e-mail: n.maryenkov@ndibk.gov.ua

Анотація: В статті розглянуте питання визначення рівнів вібрації ґрунту та паль на будівельному майданчику та прогнозування коливань конструкцій у житлових приміщеннях будинків при їх проектуванні, з метою обґрунтування необхідності влаштування системи віброзахисту від впливів потягів метрополітену. На будівельному майданчику, який розташований над лінією метрополітену між станціями «Дружби народів» та «Видубичі» в Печерському районі м. Києва, запроєктований і будується житловий 10-ти поверховий будинок у складі 10-ти секцій. Для визначення фактичних рівнів вібрації ґрунту та паль (за двома горизонтальними та вертикальному напрямках) було проведено натурні динамічні обстеження та чисельні дослідження з метою визначення відповідності прогнозованих рівнів вібрацій у житлових приміщеннях секцій будинку санітарним нормам при динамічних впливах потягів метрополітену глибокого закладання. Для визначення фактичних параметрів вібрації ґрунту і паль на майданчику будівництва секцій житлового будинку у 2014 - 2015 рр. були виконані вібродинамічні дослідження з метою отримання акселерограм та рівнів вібрації перекриттів. Запропонована *вперше методика* прогнозування рівнів вібрацій перекриття на різних поверхах дозволяє виконувати обґрунтування необхідності та влаштування систем віброзахисту будівель як при проектуванні, так і при реконструкції. За результатами чисельних досліджень просторових динамічних розрахункових моделей секцій № 1 та № 2 розроблені *практичні рекомендації* щодо системи віброзахисту секцій житлового будинку від динамічних впливів потягів метрополітену. Віброзахист усіх десяти секцій житлового будинку було виконано у рівні пального ростверку з використанням гумових віброопор, які розроблені, запатентовані та виготовляються на натуральному каучуку в Україні. Випробування зразків віброопор виконано у ДП НДІБК та Інституті геотехнічної механіки НАН України, м. Дніпро. Контрольні дослідження рівнів віброприскорень віброізольованої монолітної залізобетонної плити та перекриттів побудованих секцій № 1 та № 2 житлового будинку підтвердили ефективність запропонованої системи віброзахисту (зареєстровані рівні віброприскорень у житлових приміщеннях не перевищують допустимих рівнів за санітарними нормами, що забезпечує комфортні умови проживання при динамічних впливах потягів метрополітену).

Ключові слова: динамічні обстеження; сигнали, спектри та рівні віброприскорень; чисельні дослідження; фундамент; перекриття; система віброзахисту будинку

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО - ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВИБРОЗАЩИТЫ ДОМОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

МАРЬЕНКОВ Н. Г.^{1*}; *доктор техн. наук, с. н. с.*КАЛЮХ Ю. И.²; *доктор техн. наук, проф.*ДУНИН В. А.³; *инженер*МАРЬЕНКОВ А. Н.⁴; *аспирант*

1*, 2, 3, 4 - Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» (ГП НИИСК) Минрегиона Украины, дом 5/2, вул. Преображенская, н. Киев, Украина; тел. (044) 249-37-48; 067-717-40-96; факс (044) 249-37-30; e-mail: n.marvenkov@ndibk.gov.ua

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос определения уровней вибрации ґрунта и свай на строительной площадке и прогнозирования колебаний конструкций в жилых помещениях домов при их проектировании, с целью обоснования необходимости устройства системы виброзащиты от воздействий поездов метрополитена. На строительной площадке,

которая расположена над линией метрополитена между станциями «Дружбы народов» и «Выдубичи» в Печерском районе г. Киева, запроектирован и строится жилой 10-ти этажный дом в составе 10-ти секций. Для определения фактических уровней вибрации грунта и свай (по двум горизонтальным и вертикальному направлениям) были проведены натурные динамические обследования и численные исследования с целью определения соответствия прогнозируемых уровней вибраций в жилых помещениях секций дома санитарным нормам при динамических воздействиях поездов метрополитена глубокого заложения. Для определения фактических параметров вибрации грунта и свай на площадке строительства секций жилого дома в 2014 - 2015 гг. были выполнены вибродинамические исследования с целью получения акселерограмм и уровней вибрации перекрытий. Предложенная впервые методика прогнозирования уровней вибраций перекрытия на разных этажах позволяет выполнять обоснование необходимости и устройства систем виброзащиты зданий как при проектировании, так и при реконструкции. По результатам численных исследований пространственных динамических расчетных моделей секций № 1 и № 2 разработаны практические рекомендации по системе виброзащиты секций жилого дома от динамических воздействий поездов метрополитена. Виброзащита всех десяти секций жилого дома была выполнена на уровне свайного ростверка с использованием резиновых виброопор, которые разработаны, запатентованы и производятся на натуральном каучуке в Украине. Испытания образцов виброопор выполнены в ГП НИИСК и Институте геотехнической механики НАН Украины, г. Днепро. Контрольные исследования уровней виброускорений виброизолированной монолитной железобетонной плиты и перекрытий построенных секций № 1 и № 2 жилого дома подтвердили эффективность предложенной системы виброзащиты (зарегистрированные уровни виброускорений в жилых помещениях не превышают допустимых уровней по санитарным нормам, что обеспечивает комфортные условия проживания при динамических воздействиях поездов метрополитена).

Ключевые слова: динамические обследования; сигналы, спектры и уровни виброускорений; численные исследования; фундамент; перекрытия; система виброзащиты дома.

EXPERIMENTAL-THEORETICAL JUSTIFICATION NEED OF PROTECTION OF BUILDINGS FROM THE IMPACT OF METRO TRAIN'S VIBRATION

MARIENKOV N., *Graduate Doctor, Senior Researcher*

KALIUKH I., *Graduate Doctor, Full Professor*

DUNYN V., *Senior Researcher*

MARIENKOV A., *Ph.D. student*

1-4* State enterprise «The State research and development Institute of building constructions», 5|2, Preobrazhenska Str., Kyiv, 03037, Ukraine, tel. (044) 249-37-48; 067-717-40-96; факс (044) 249-37-30; e-mail: n.maryenkov@ndibk.gov.ua

Abstract: In order to justify the need for vibration protection system devices from underground trains effects in the article considered the question of determining the levels of ground vibration and piles at the construction site and forecasting structures vibrations in a residential area of houses. The 10-storey residential building consisting of 10-minute sections had designed and built a on the construction site, which is located on the subway line between the stations of "Friendship of Peoples" and "Vydyubychi" in the Pechersk district of Kiev. To determine the actual levels of ground vibration and piles (two horizontal and vertical directions) were carried out full-scale dynamic survey and numerical studies to determine whether the predicted vibration levels in a residential area sections house the sanitary standards by the dynamic impacts of underground trains. To determine the actual parameters of ground vibration and piles at construction site of a residential house in the 2014 - 2015 biennium. We were obtained acclerograms and vibration levels of the house floors. First proposed method of forecasting of overlapping levels of vibrations on different floors. It allows you to carry out the rationale for the device vibration protection systems and buildings in both the design and renovation. According to the results of numerical studies of spatial dynamic simulation models section number 1 and number 2 practical recommendations on the system of vibration protection of sections of an apartment house on the dynamic effects of underground trains. Vibration protection of ten sections of residential homes was performed at the level of the pile raft foundation with the use of rubber shock mounts that have been designed, patented and produced on natural rubber in Ukraine. Test samples of shock mounts are made in SE NIISK and the Institute of Geotechnical Mechanics of NASU. Control studies vibration acceleration levels of vibration-isolated monolithic reinforced concrete slab floors and sections of the number 1 and number 2 have confirmed the effectiveness of the proposed system of vibration protection. Registered vibration acceleration levels in a residential area on different levels do not exceed the permissible sanitary norms, which provides comfortable accommodation with dynamic effects of underground trains.

Keywords: Dynamic examination; signals spectrums and levels of vibration acceleration; numerous investigations; foundation; overlapping; vibration protection system of building

Постановка завдання

Комфортабельний 10-ти секційний 10-ти поверховий житловий будинок будується по вул. Кіквідзе в Печерському районі м. Києва. Будівельний майданчик розташовано над лінією метрополітену між станціями «Дружби народів» та «Видубичі». При русі потягів метро і автотранспорту вібрації ґрунту передаються конструкціям будівлі. Переважаючи частоти динамічних дій від метро і автотранспорту знаходяться в діапазоні 15-80 Гц. Частоти власних вертикальних коливань перекриттів в житлових кімнатах будинків складають від 30 до 50 Гц. Тому динамічні впливи метрополітену є причиною підвищених (близьких до резонансних) коливань перекриттів.

При перевищенні рівнів вібрації перекриттів в житлових приміщеннях будинків допустимих рівнів за Санітарними нормами у людей може проявлятися (при тривалому впливі вібрації) вібраційна хвороба. Тому для забезпечення допустимих рівнів вібрацій у багатьох країнах використовується віброізоляція і сейсмоізоляція будівель [1...5, 7...15, 18...20].

Застосування систем віброзахисту на основі еластомерних віброопор (віброізоляторів на основі натурального каучуку) набуло широкого поширення як на промислових підприємствах, так і при зниженні техногенних впливів (вібрацій) на людину в житлових будинках, особливо в мегаполісах України (віброзахист від підземного і наземного транспорту: поїздів метрополітену, трамваїв, залізничного та автомобільного транспорту).

Експлуатація віброактивного обладнання та машин пов'язана з вирішенням проблеми екологічної безпеки. Зниження рівнів вібрації і шуму до допустимих по Санітарним нормам як на промислових підприємствах, так і на прилеглих територіях, в будівлях і спорудах, є актуальним завданням.

Крім того, у багатьох країнах пройшли випробування сильними землетрусами системи сейсмоізоляції будівель і споруд на основі еластомерних сейсмоопор. Системи вібро - і сейсмозахисту на основі розроблених і виготовляємих в Україні вітчизняних еластомерних віброопор (віброізоляторів) для захисту конструкцій будівель і споруд від сильних і руйнівних землетрусів дозволяють проектувати сейсмостійкі, комфортні і економічні будівельні конструкції.

Віброізоляція будівель від вібрацій метрополітену здійснюється шляхом встановлення гумових або гумово-металевих віброізоляторів між фундаментної плитою і стінами будівлі підвального поверху. Також виконано будівництво будівель з встановленням вібро - і сейсмоопор над підземними поверхами [20, 23].

Не розв'язані задачі

У разі пального ростверку ефективність системи віброзахисту шляхом установки гумових віброізоляторів на оголовках паль до теперішнього часу вивчена недостатньо. Залізобетонний монолітний ростверк при цьому спирається на гумові віброопори і здійснюється як функція вібро-і сейсмозахисту, так і підвищується стійкість будівлі проти перекидання при вітрових і сейсмічних навантаженнях. Крім цього, збільшується довговічність гумових віброопор, в зв'язку з експлуатацією гуми в умовах вологого середовища, а також знижується швидкість її старіння. Важливим також є повне вирішення проблеми вогнезахисту гумових віброопор, які захищені зверху монолітною залізобетонною плитою і з боків ґрунтом зворотньої засипки. До недоліків даної системи вібро-і сейсмозахисту будівель можна віднести подорожчання робіт по заміні віброопор (якщо виникне така необхідність за термін експлуатації віброізольованої будівлі). Для захисту житлових будинків від вібрації горизонтального напрямку, що поширюється у ґрунті, влаштовується віброізоляція за допомогою м'якого матеріалу (наприклад, пінополістиролу), що розміщується між зовнішніми поверхнями ростверку і стін підземних поверхів і ґрунтом зворотньої засипки [20].

Актуальною проблемою є розроблення методики прогнозування рівнів вібрацій перекриття на різних поверхах, яка б дозволила виконувати обґрунтування необхідності та влаштування систем віброзахисту будівель як при проектуванні, так і при реконструкції.

Аналіз джерел вібрацій та результати динамічних обстежень ґрунту та паль

Будівельний майданчик розташований в зоні динамічних впливів підземної лінії метрополітену глибокого закладання між станціями «Дружби народів» і «Видубичі», та наземного автотранспорту при його русі по вул. Кіквідзе у м. Києві. Ділянка лінії метрополітену між станціями «Дружби народів» та «Видубичі» проходить під будівельним майданчиком. Два тунелі лінії метрополітену розташовані в межах будівельного майданчика в середній його частині. Розташування тунелів метро по відношенню до об'єкта майбутньої забудови (багатосекційного житлового будинку) та розміщення акселерометрів представлено на рис. 1, 2. Рух потягів метро здійснюється по звичайній (не віброізольованій) колії. Динамічний вплив під час проїзду одного потягу метрополітену в межах будівельного майданчику здійснюється на протязі 15-30 с, двох потягів (зустрічних) – до 60 с.

При розробленні методики динамічного обстеження та при аналізі записів вібраційних сигналів рух потягів в часи пік враховувався для оцінки максимального динамічного навантаження на ґрунт, палі, віброізольовану плиту ростверку та

перекриття побудованих секцій № 1 та № 2. Найбільші рівні вібрації ґрунту та палів на майданчику будівництва зареєстровані при впливах метрополітену (табл. 1, 2), тому розрахунок параметрів системи віброзахисту виконано з врахуванням впливу потягів метрополітену та сейсмічних навантажень інтенсивністю 5 балів.

Узагальнені результати по оцінці рівня віброприскорень при динамічних обстеженнях палів та ґрунту біля палів у котловані на майданчику будівництва секції № 1 (за схемою 1 та 1А) представлені в табл. 1.

Максимальні амплітуди віброприскорень палів та ґрунту по напрямку Z, X та Y на дні котловану будмайданчику секції № 1 при русі потягів метро не перевищили наступних значень:

- вертикальні віброприскорення оголовку палів – 0,09 м/с²;
- горизонтальні віброприскорення оголовку палів по напрямку X – 0,15 м/с²;
- горизонтальні віброприскорення оголовку палів по напрямку Y – 0,13 м/с²;

Рис. 1. Схема розташування секцій будинку, тунелів метрополітену на будівельному майданчику та датчиків вібрації (ДВ) на ґрунті та палях секції № 1 /

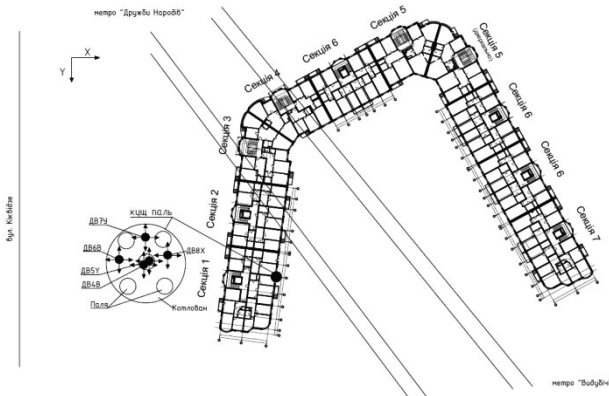


Fig. 1. Location of sections of buildings, tunnels underground at the construction site and the vibration sensor (IR) on the ground and piles section number.



Рис. 2. Розміщення акселерометрів № 4, № 5 на палі № 1 та акселерометрів № 6, № 7 і № 8 на ґрунті біля

палі на дні котловану на майданчику будівництва секції № 1 при динамічних обстеженнях

/Fig. 2. Placing accelerometers № 4, № 5 on the piles and accelerometers № 6, № 7 and № 8 on the ground near the pile at the bottom of the pit at the site of construction of the section № 1 for dynamic surveys

вертикальні віброприскорення ґрунту на дні котловану – 0,22 м/с²;

- горизонтальні віброприскорення ґрунту на дні котловану по напрямку X – 0,3 м/с²;
- горизонтальні віброприскорення ґрунту на дні котловану по напрямку Y – 0,26 м/с².

Слід також зазначити, що максимальні амплітуди віброприскорень поверхні ґрунту (промінь № 1 біля котловану) у 1,5..2,0 рази менше значень віброприскорень ґрунту на дні котловану на глибині біля 4 м від поверхні землі.

Узагальнені результати по оцінці рівня віброприскорень при динамічних обстеженнях ґрунту на майданчиках будівництва секцій № 3 та № 4 вздовж променя № 3 представлені в табл. 2 та рис. 3.

Максимальні амплітудні значення віброприскорень поверхні ґрунту по напрямку Z, X та Y під час динамічних обстежень будмайданчика секцій № 3 та № 4 при русі потягів метро на основі даних таблиці 2: вертикальні віброприскорення – 0,17 м/с²; горизонтальні віброприскорення по напрямку X та Y – 0,12 м/с².

Таблиця 1

Максимальні амплітуди віброприскорень палів та ґрунту на майданчику будівництва секції № 1 (схеми № 1 та № 1А) та секцій № 2, № 3, № 4 і № 6 (схема № 2) при русі потягів метрополітену /

The maximum amplitude of vibration acceleration piles and soil at the site of construction of the section № 1 (scheme № 1 and № 1A) and section № 2, № 3, № 4 and № 6 (diagram number 2) when subway train is moving

Вимірний параметр	Напрямок коливань, схема запису	Час запису	Максимальне амплітудне значення віброприскорень в точках вимірювання, м/с ²				
			т. 4z	т. 5x (5y)	т. 6z	т. 7	т. 8y
1	2	3	4	5	6	7	8
Дата запису 28.02.2014 р.							

Продовження табл.1							
Вимірвальний параметр	Напрямок коливань, схема запису	Час запису	Максимальне амплітудне значення віброприскорень в точках вимірювання, м/с ²				
			т. 4z	т.5х (5у)	т.6z	т. 7	т.8у
1	2	3	4	5	6	7	8
Віброприскорення	Z, X та Y; №1	11:18	0.09	0.15	0.22	0.3	0.26
		11:35	0.08	0.13	0.21	0.24	0.23
	Z; №2	11:39	0.09	0.1	0.09	0.12	0.09
	X, №2	11:46	0.1	0.12	0.11	0.12	0.08
	Y, №2	11:59	0.09	0.12	0.16	0.20	0.08
Примітка. Жирним виділені значення зареєстрованих віброприскорень із максимальною амплітудою							

Таблиця 2

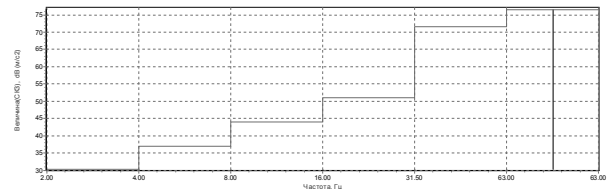
Максимальні амплітуди віброприскорень та рівні вібрації поверхні ґрунту на майданчику будівництва секцій № 3 і № 4 при русі потягів метро (схема № 4) /

The maximum amplitude of vibration acceleration and vibration levels the soil surface at the site of the construction section №3 and № 4 by driving underground trains (Figure № 4)

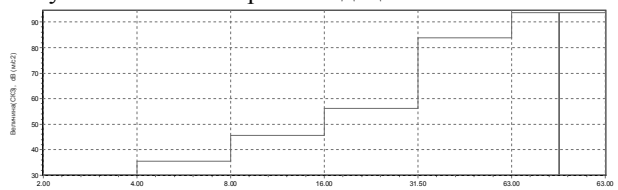
Вимірвальний параметр	Напрямок коливань, схема запису	Час запису	Максимальне амплітудне значення віброприскорень в точках вимірювання, м/с ² (у дужках надані рівні у дБ)				
			т. 4	т. 5	т. 6	т. 7	т. 8
1	2	3	4	5	6	7	8
Дата запису 4.03.2014 р.							

Продовження табл.2							
Вимірвальний параметр	Напрямок коливань, схема запису	Час запису	Максимальне амплітудне значення віброприскорень в точках вимірювання, м/с ²				
			т. 4z	т.5х (5у)	т.6z	т. 7	т.8у
1	2	3	4	5	6	7	8
Віброприскорення	Z; № 4	12:33	0.07	0.17	-	-	0.17
	X, № 4	12:53	0.08	0.11	-	-	0.12
	Y, № 4	12:43	0.07	0.11	-	-	0.12
Примітка. Жирним шрифтом виділені віброприскорення із максимальною амплітудою та рівні вібрації в октавній смузі «63 Гц» (пороговий рівень прийнято 1,0 мкм/с ² [12,23]), для яких на рис. 3 приведені октавні спектри							

За результатами динамічних досліджень палі ґрунту у котловані та поверхні ґрунту майданчика будівництва 10 секцій запроєктованого житлового будинку по вул. Кіквідзе у м. Києві були зроблені



наступні висновки та рекомендації:



а)
б)

Рис. 3. Октавні спектри (дБ) вертикальних віброприскорень в точці 8 (а) та горизонтальних в точці 8 (б) (4.03.2014р.) на поверхні ґрунту на будмайданчику секцій № 3 та № 4 при русі потягів метрополітену /

Fig. 3 octave spectrums (dB) of vertical vibration acceleration at point 8 (a) and horizontal at point 8 (b) (4.03.2014r.) on the surface of the soil at the site section № 3 and № 4 by driving underground trains

1. Значення максимальних вертикальних та горизонтальних віброприскорень поверхні ґрунту на будівельних майданчиках секцій № 1, № 2, № 3, № 4, №5 і №6 та на глибині 4 м (дно котлована на

майданчику будівництва секції № 1) зареєстровано до 30 см/с² при русі потягів метрополітену.

2. Максимальні рівні віброприскорень поверхні ґрунту в октавних полосах по напрямку Z, X та Y під час динамічних обстежень будмайданчика секції № 3 та № 4 при русі потягів метро не перевищили наступних значень: вертикальні віброприскорення 94 дБ, що перевищує допустиме значення 83 дБ у чотири рази в октавній смузі «63 Гц». Рівень горизонтальних віброприскорень зареєстровано 77 дБ, що не перевищує допустиме значення 83 дБ.

3. З метою забезпечення комфортних умов проживання у будинку рекомендується розробити проект системи віброізоляції фундаментів секцій № 1, № 2, № 3, № 4, № 5 та № 6. Віброізоляція дозволяє знизити рівні вібрації фундаментів та перекриттів усіх поверхів житлового будинку в октавній смузі «63 Гц» від 15 дБ до 26 дБ [15, 20], що дозволяє забезпечити комфортні умови у житлових приміщеннях будинку.

Результати чисельних досліджень секцій № 1 та № 2 з системою віброзахисту

Конструктивна схема десяти секцій 10-ти поверхового житлового будинку є безригельний каркас з монолітними діафрагмами та ядрами жорсткості (рис. 4). Просторова жорсткість будівлі забезпечується монолітними плитами перекриття, які об'єднують вертикальні несучі конструкції. На суцільній монолітній плиті ростверку розміщуються по дві секції будинку.

За проектом, в якості фундаменту прийняті пальові фундаменти з залізобетоним ростверком з бетону класу С20/25 товщиною 800 мм. Плита ростверку спирається на пальове поле з бурін'єкційних паль з бетону класу С20/25 діаметром 620 мм. Кількість і довжина паль від рівня підшви ростверків становлять відповідно: $n = 184$, $L = 19.5$ м. Аналіз конструктивного рішення пальового фундаменту показав, що основою пальового фундаменту служить глина мергельна київської світи палеогену, ПГЕ-7 з модулем деформації $E = 35$ МПа, $\mu < 0.195$, $e = 0.87$.

З метою визначення зниження рівнів вібрації плити ростверку та перекриття виконувався розрахунок віброізолюваної будівлі по комплексній схемі «ґрунтова основа – палі – віброопори – ростверк – верхня будова». При розрахунку зусиль у палях та гумових віброопорах (рис. 5) враховувалися навантаження, що виникають при впливах вітру, а також кінематичні динамічні від потягів підземної лінії метрополітену та сейсмічні інтенсивністю 5 балів (фонова сейсмічність м. Києва [5]).

Формула квадрата модуля амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) має вигляд [3]:

$$|\Phi_{rh}(i\omega)|^2 = \sum_{j=1}^n [\chi_j^2(\omega) + \xi_j^2(\omega)] b_{rj}^2 \ell_{hj}^2 + \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n [\chi_j(\omega)\chi_s(\omega) + \xi_j(\omega)\xi_s(\omega)] b_{rj} b_{rs} \ell_{hj} \ell_{hs} \quad (1)$$

При цьому від подвійної суми залежить кореляція між ступенями вільності системи. Так як перекриття будівель мають незначне (до 5%) затухання та власні частоти, достатньо віддалені одна від другої, кореляцію форм можна не враховувати. Тоді формула для визначення АЧХ буде:

$$|\Phi_{rh}(i\omega)|^2 = \sum_{j=1}^n [\chi_j^2(\omega) + \xi_j^2(\omega)] b_{rj}^2 \ell_{hj}^2 \quad (2)$$

Спектральні щільності загальних координат перекриття визначалися (при відомих спектральних щільностях кінематичного впливу, зареєстрованого на поверхні палей $S_{hh}^{(p)}$) за формулою:

$$S_{rr}^q(\omega) = \sum_{h=1}^m |\Phi_{rh}(i\omega)|^2 S_{hh}^{(p)}(\omega) \quad (3)$$

Для варіанту застосування гіпотези Фойхта формули для χ_j і ξ_j у (2) отримані у вигляді:

$$\chi_j(\omega) = \frac{v_j^2 - \omega^2}{M_j [(v_j^2 - \omega^2)^2 + (\lambda \omega v_j)^2]}; \quad \xi_j(\omega) = \frac{\lambda \omega v_j^2}{M_j [(v_j^2 - \omega^2)^2 + (\lambda \omega v_j)^2]}$$

Дисперсії (стандарти) переміщень або прискорень загальних координат розраховувалися за відомими залежностями [3, 15].

Амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) перекриття на різних поверхах будинку визначалися з використанням програмного комплексу ЛРА-САПР [9]. При цьому визначалися значення АЧХ у частотному діапазоні 2,0 Гц...80,0 Гц. При чисельних дослідженнях динамічної системи «ґрунтова основа – палі – віброопори – ростверк – верхня будова» використані акселерограми, зареєстровані під час

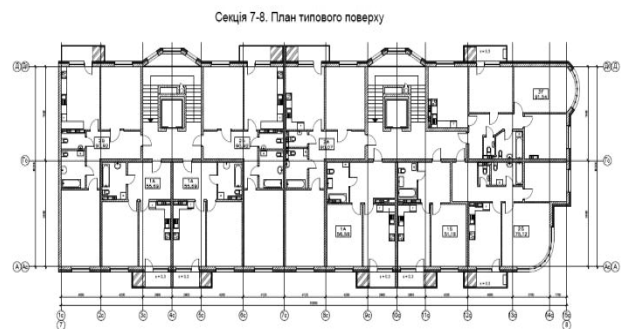


Рис. 4. План типового поверху секції № 7 та № 8 житлового будинку /

Typical floor plan sections № 7 and № 8 of apartment building

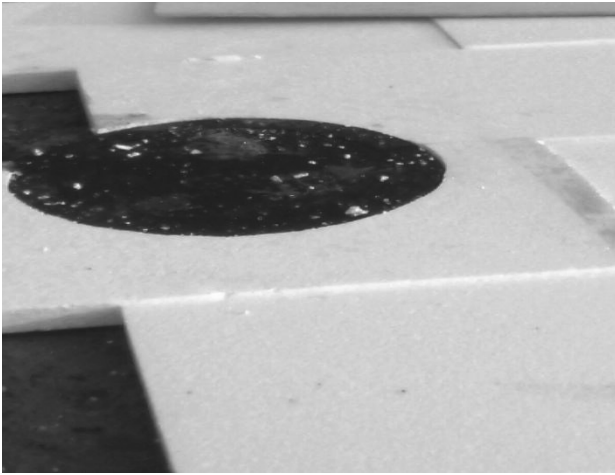
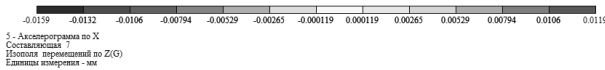
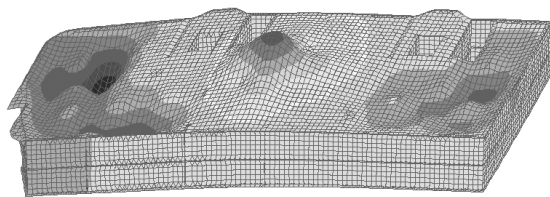


Рис. 5. Компоненти системи вібро- та сейсмічного захисту будинку на основі гумових вібраційних опор /

Fig. 5. Components of vibration and seismic building protection based on rubber vibration supports



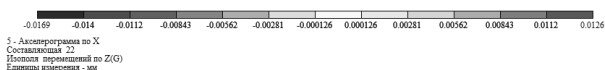
5 - Акселерограма по X
Составляющая Z2
Изоповерхь перемещений по Z(G)
Единицы измерения - мм



z
y
x

Рис. 6. Амплітуди вертикальних коливань плити перекриття (підлога першого поверху) будинку з віброізоляцією при динамічних впливах метрополітену /

Fig. 6. The amplitudes of vertical oscillations slabs (ground floor scrubber) with protect of vibration dynamic effects subway



5 - Акселерограма по X
Составляющая Z2
Изоповерхь перемещений по Z(G)
Единицы измерения - мм

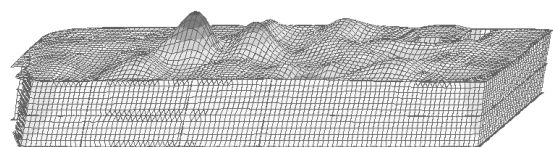


Рис. 7. Амплітуди вертикальних коливань плити перекриття (підлога першого поверху) 1-ї і 2-ї секцій будинку при відсутності віброізоляції при динамічних впливах метрополітену /

Fig. 7. Oscillation amplitudes of vertical slabs (floor ground floor) 1st and 2nd sections of the building at home without vibration under dynamic subway's influences

проїзду потягів метрополітену під майданчиком будівництва секції № 1 та № 2. Враховано різне демпфування підсистем (грунтової основи будівлі, віброопор та конструкцій верхньої будови) [5] при виконанні інтегрування рівнянь руху.

Розрахункові значення амплітуд переміщень підлоги 1-го поверху будинку без системи віброізоляції та на віброопорах надані на рис. 6 та рис. 7. Вимушені розрахункові коливання плити перекриття для варіанту з системою віброзахисту отримані на більш низькій частоті (7-ма форма коливань плити перекриття замість 22-ї форми при відсутності віброопор будинку). Отримані розрахункові значення зниження рівнів вібрації перекриття на різних поверхах будинку (від 12 до 25 дБ у октавних смугах «31,5 Гц» та «63,0 Гц») дозволили рекомендувати параметри гумових віброопор та розробити рекомендації з влаштування системи віброзахисту 10-ти секцій будинку від потягів метрополітену та сейсмічних впливів.

Запропонована та виконана на усіх секціях будинку система вібро- та сейсμοзахисту включає такі компоненти (рис. 7): гумові віброізолятори діаметром 480 мм та товщиною 50 мм [4, 5], які встановлюються на підготовленій поверхні паль та закріплюються анкерами; листи пінополістиролу, розташовані навколо паль на підбетонці, яка виконана по ущільненому ґрунту у котловані; плівка ПВХ та листи фанери.

Розрахункові зусилля в віброізоляторах при статичних, динамічних та сейсмічних навантаженнях

Екстремальні значення розрахункових зусиль в гумових віброізоляторах наведені в табл. 3.

Номери кінцевих елементів з максимальними зусиллями і розташування віброізоляторів на плані пальового поля секцій № 1 і № 2 житлового будинку наведено на рис. 8.

Розрахункові коефіцієнти стійкості будівлі проти перекидання

Коефіцієнт надійності на перекидання визначається виразом: $K_{opr} = M_{уд} / M_{opr}$, де $M_{уд}$ - мінімальний утримуючий момент від нормативного постійного навантаження щодо крайніх рядів віброопор; M_{opr} - максимальні за абсолютною величиною перекидні моменти від вітрових або динамічних (сейсмічних) навантажень.

Таблиця 3

Екстремальні зусилля в віброізоляторах/

Extreme efforts in vibration isolators

Критерій пошуку	№ елемента	Зусилля, кНх10 ⁻¹		№ завантаження
		горизонтальні	вертикальні	
при основних сполученнях навантажень				
Rx y, min	460	0.004	134.929	1 4
Rx y, max	477	0.878	144.105	1 2 3
Rz, min	462	0.535	165.561	1 2 3
Rz, max	468	0.449	91.743	1 5
при особливих сполученнях навантажень				
Rx y, min	473	0.008	116.383	1 2 3
Rx y, max	477	1.911	111.243	1 2 3
Rz, min	460	0.143	126.562	1 2 3
Rz, max	478	1.528	81.503	1 6

визначається виразом: $K_{опр} = M_{уд} / M_{опр}$, де $M_{уд}$ - мінімальний утримуючий момент від нормативної постійного навантаження щодо крайніх рядів віброопор; $M_{опр}$ - максимальні за абсолютною величиною перекидні моменти від вітрових або динамічних (сейсмічних) навантажень.

Стосовно до нашої розрахункової схемою мінімальний утримуючий момент: навколо осі X $M_x = 198970.81$ тсм; навколо осі Y $M_y = 435431.39$ тсм. Максимальні перекидні моменти від вітрового навантаження: навколо осі X $M_x = 2033.24$ тсм; навколо осі Y $M_y = 754.43$ тсм.

При цьому, коефіцієнт надійності на перекидання при вітровому навантаженні вздовж осі X:

$K_{опр} = 435431.39 / 754.43 = 577.17$; вздовж осі Y $K_{опр} = 198970.81 / 2033.24 = 97.86$.

Стосовно до сейсмічних впливів інтенсивністю 5 балів, максимальні значення перекидних моментів, які наведені в табл. 4, коефіцієнт надійності на перекидання навколо осі X $K_{опр} = 198970.81 / 2758.14 = 72.14$; навколо осі Y $K_{опр} = 435431.39 / 2368.68 = 183.83$.

Таблиця 4

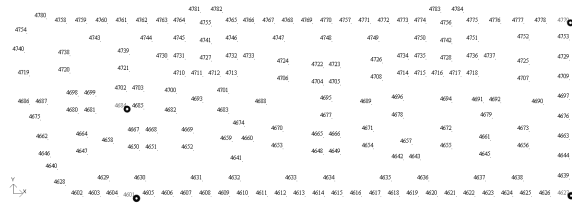
Розрахункові перекидні моменти будинку (секція № 1 та № 2) з врахуванням сейсмічних навантажень/

Calculated tipping points at home (section №1 and № 2) subject to seismic loads

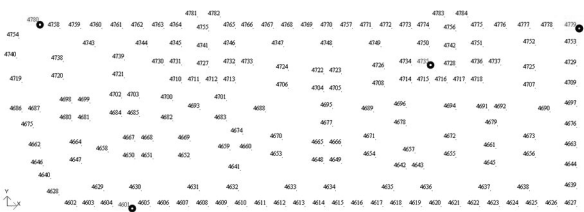
№ завантаження	Складова	$M_x, кНх10^{-1}$	$M_y, кНх10^{-1}$
6	1	1596.95	1426.99
6	2	1832.16	1262.33
6	3	-229.86	2368.68
6	4	-34.30	299.10
7	1	1847.44	1650.79
7	2	2758.14	1900.31
7	5	170.97	95.44
7	10	-16.51	-21.17

Результати контрольних динамічних обстежень віброізольованої плити та перекриття секцій № 1 та № 2 під час науково-технічного супроводу будівництва

Після монтажу системи віброзахисту та бетонування плити ростверку були виконані контрольні динамічні обстеження (рис. 9 та рис. 10) з метою оцінки фактичних рівнів вібрації та співставлення їх з допустимими значеннями (табл. 5) за санітарними нормами [12, 23]. Зареєстровані вібро сигнали та спектри віброприскорень віброізольованої фундаментної плити та поверхні ґрунту на дні котловану біля плити приведені на рис. 11 та рис. 12.



а)



б)

Рис. 8. Розташування віброізоляторів з екстремальними зусиллями в розрахунковій схемі будинку при основних сполученнях навантажень: а-при основних сполученнях навантажень; б-при аварійних сполученнях навантажень

Fig. 8. Location of vibration isolators with extreme efforts in building design scheme: A - at main load combinations; B - at the special combinations of loads

Коефіцієнт надійності на перекидання



Рис. 9. Загальний вигляд вимірювальної апаратури та датчика віброприскорення, встановленої на поверхні ґрунту біля віброізованої залізобетонної плити секцій № 1 та № 2/

Fig. 9. General view of devices and vibration acceleration sensor mounted on the surface of the soil near isolated from vibrations reinforced concrete slab sections of number 1 and number 2



Рис. 10. Загальний вигляд вимірювальної

апаратури та датчика віброприскорення, встановленої на віброізованої залізобетонної плити секцій №1 та № 2 /

Fig. 10. General view of devices and vibration acceleration sensor mounted on vibration isolated from the concrete slab sections №1 and № 2

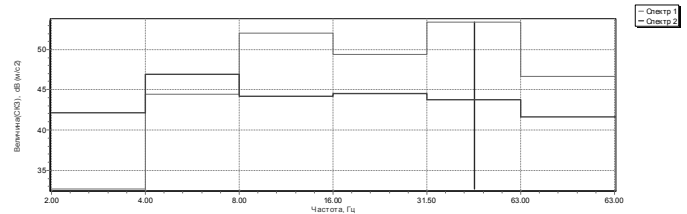


Рис. 11. Октавні спектри вертикальних віброприскорень поверхні віброізованої залізобетонної плити секцій №1 та №2 житлового будинку по вул. Кіквідзе (верхній графік, спектр 1) та горизонтальних віброприскорень плити (нижній графік, спектр 2) вздовж поздовжньої осі Y (за літерними осями будинку) – запис о 12год. 07 хв. 13.01.2015р. / Fig. 11. octave spectrum of vertical vibration acceleration surface isolated from vibrations reinforced concrete slab sections №1 and №2 house on the street. Kikvidze, 17..21 (top graph, spectrum 1) and horizontal vibration acceleration plate (bottom graph, the spectrum 2) along the longitudinal axis Y (axes for literal house) - a record at 12 hours. 07 min. 13.01.2015.

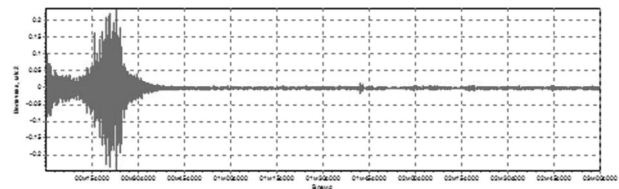


Рис. 12. Вибросигнал горизонтальних віброприскорень (вздовж осі будинку Y – за літерними осями) поверхні ґрунту на дні котловану на відстані 1 м від фундаментної плити секцій № 1 та № 2 при впливах потягів метрополітену – запис о 13год. 06 хв. 13.01.2015р. / Fig. 12. Vibration alarm horizontal vibration acceleration (along the axis of the building Y - axes for literal) ground surface at the bottom of the pit at a distance of 1 m from the base plate section number 1 and number 2 for subway trains effects - recording at 13hod. 06 min. 13.01.2015.

Таблиця 5

Нормативні рівні вібрації у житлових приміщеннях для забезпечення комфортних умов (враховується непостійний характер вібрації) та максимальні зареєстровані рівні віброприскорень віброізованої фундаментної плити та ґрунту / Regulatory level of vibration in premises for comfort (vibration considered unstable nature) and the maximum recorded level of vibration acceleration vibration isolated from the base plate and soil

Средньогеометричне значення октавної полоси, Гц	Допустиме значення віброприскорення, дБ	Зареєстроване максимальне значення віброприскорення плити, дБ	Зареєстроване максимальне значення віброприскорення ґрунту, дБ	Перевищення допустимих рівнів вібрацій на поверхні плити, дБ	Перевищення допустимих рівнів вібрацій на поверхні ґрунту біля плити, дБ
2,0	65	27,0 (вісь Z) 34,0 (вісь X) 36,0 (вісь Y)	30,0 (вісь Z) 31,0 (вісь X) 35,0 (вісь Y)	-	-
4,0	65	45,0 (вісь Z) 46,0 (вісь X) 43,0 (вісь Y)	48,0 (вісь Z) 46,0 (вісь X) 43,0 (вісь Y)	-	-

Продовження таблиці 5

8,0	65	54,0 (вісь Z) 44,0 (вісь X) 50,0 (вісь Y)	61,0 (вісь Z) 56,0 (вісь X) 58,0 (вісь Y)	-	-
16,0	71	57,0 (вісь Z) 46,0 (вісь X)	69,0 (вісь Z)	-	-

		50,0 (вісь Y)	59,5 (вісь X) 60,0 (вісь Y)		
5	31,77	54,0 (вісь Z) 45,5 (вісь X) 55,0 (вісь Y)	71,0 (вісь Z) 67,0 (вісь X) 84,0 (вісь Y)	-	- 7,
0	63,83	55,0 (вісь Z) 41,0 (вісь X) 46,0 (вісь Y)	61,0 (вісь Z) 69,0 (вісь X) 84,0 (вісь Y)	-	- 1,

Аналіз отриманих даних дозволив зробити такі висновки та рекомендації.

1. Максимальні вертикальні та горизонтальні віброприскорення поверхні ґрунту біля віброізолюваної плити секцій №1 і №2 будинку зареєстровані в октавах «31,5 Гц» і «63,0 Гц» при русі потягів метрополітену. Рівень горизонтальних віброприскорень ґрунту біля плити у напрямку осі Y (за літерними осями будинку) дорівнює 84,0 дБ в октаві «31,5 Гц» (див. табл. 5), що перевищує допустиме значення (77,0 дБ) на 7,0 дБ (більш ніж у 2 рази). При цьому рівень віброприскорень поверхні плити знижується до 55,0 дБ (на 29,0 дБ), що значно нижче допустимого рівня.

2. Рівень горизонтальних віброприскорень ґрунту біля плити у напрямку осі Y дорівнює 84,0 дБ в октаві «63,0 Гц» (див. табл. 5), що перевищує допустиме значення (83,0 дБ) в октаві «63,0 Гц» на 1,0 дБ. При цьому рівень віброприскорень поверхні плити знижується до 46,0 дБ (на 38,0 дБ), що значно нижче допустимого рівня.

3. Рівень зареєстрованих горизонтальних віброприскорень ґрунту біля плити у напрямку осі X (за цифровими осями) дорівнює 67,0 дБ в октаві «31,5 Гц» (див. табл. 5), що не перевищує допустиме значення (77,0 дБ) в октаві «31,5 Гц». При цьому рівень віброприскорень поверхні плити знижується

до 45,5 дБ (на 21,5 дБ), що значно нижче допустимого рівня.

4. Рівень зареєстрованих вертикальних віброприскорень ґрунту біля плити у напрямку осі Z дорівнює 71,0 дБ в октаві «31,5 Гц» (див. табл. 5), що не перевищує допустиме значення (77,0 дБ) в октаві «31,5 Гц». При цьому рівень віброприскорень поверхні плити знижується до 54,0 дБ (на 17,0 дБ), що значно нижче допустимого рівня.

5. Рівень зареєстрованих вертикальних віброприскорень ґрунту біля плити у напрямку осі Z дорівнює 61,0 дБ в октаві «63,0 Гц» (див. табл. 5), що не перевищує допустиме значення (83,0 дБ) в октаві «63,0 Гц». При цьому рівень вертикальних віброприскорень поверхні плити знижується до 55,0 дБ (на 6,0 дБ – в 2 рази), що значно нижче допустимого рівня.

6. В октавах «2,0 Гц», «4,0 Гц», «8,0 Гц» та «16,0 Гц» рівні зареєстрованих вертикальних та горизонтальних віброприскорень віброізолюваної плити нижче допустимих значень, відповідно, на 29,0 дБ, 19 дБ, 11,0 дБ та 14,0 дБ.

7. Виконані контрольні вимірювання вібрацій віброізолюваної плити (до возведення верхньої будови секцій № 1 та № 2) при впливах потягів метрополітену дозволив зробити висновок, що віброізоляція будинку забезпечує комфортні умови у житлових приміщеннях. До влаштування верхньої будови рівні горизонтальних віброприскорень віброізолюваної плити на 10-12 дБ менше рівнів вертикальних віброприскорень в октавах «31,5 Гц» та «63,0 Гц».

З метою подальшого контролю рівнів вібрації фундаментної плити та перекриттів будинку було проведено контрольні динамічні дослідження у червні 2015 р. після зведення 5-ти поверхів (рис. 13). Максимальний рівень вібрацій зареєстровано в октаві смуги «31,5 Гц» і дорівнює 57 дБ, що значно нижче допустимого значення 77 дБ.

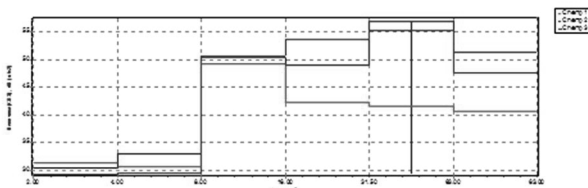


Рис. 13 . Спектри октавні (вимірювальні канали – спектри 1, 2 та 3 – відповідно, віброізолювана плита

ростверку, плита перекриття на 2-му та 3-му поверхах) // Fig. 13 . Spectra octaves (specter measuring channels 1, 2 and 3 - respectively vibration protected grillage slab, plate floors on 2nd and 3rd floors)

Висновки

1. Для визначення фактичних рівнів вібрації ґрунту та палів (за двома горизонтальними та вертикальному напрямках) проведено динамічні обстеження та чисельні дослідження з метою визначення акселерограм майданчику будівництва при впливах потягів метрополітену відповідності прогнозованих рівнів вібрацій у житлових приміщеннях секцій будинку санітарним нормам при динамічних впливах потягів метрополітену глибокого закладання.

2. Під час науково-технічного супроводу для визначення фактичних параметрів вібрації ґрунту і палів на майданчику будівництва секцій житлового будинку у 2014 - 2015 рр. були виконані вібродинамічні дослідження з метою отримання акселерограм та рівнів вібрації перекриттів.

3. Запропонована методика прогнозування рівнів вібрації перекриття на різних поверхях дозволяє виконувати обґрунтування необхідності та влаштування систем віброзахисту будівель як при проектуванні, так і при реконструкції. За результатами чисельних досліджень просторових динамічних розрахункових моделей секцій № 1 та № 2 розроблені практичні рекомендації щодо системи віброзахисту 10-ти секцій житлового будинку від динамічних впливів потягів метрополітену та сейсмічних навантажень інтенсивністю 5 балів.

4. Виконані контрольні динамічні дослідження у червні 2015 р. після зведення 5-ти поверхів (рис. 13) дозволив зробити висновок, що максимальний рівень вібрацій перекриття 2-го та 3-го поверхів секцій № 1 та № 2 зареєстровано в октаві смуги «31,5 Гц» і дорівнює 57 дБ, що значно нижче допустимого значення 77 дБ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления / К.С. Абдурашидов. – Ташкент: Фан, 1974. – 216 с.

2. Банах В.А. Розвиток статико-динамічних розрахункових моделей будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / В.А.Банах. – Дніпропетровськ, 2013. – 38 с.
3. Баженов В.А. Імовірнісні методи розрахунку конструкцій. Випадкові коливання пружних систем: Навчальний посібник / В.А. Баженов, Є.С. Дехтярюк. – К. КНУБА, 2005. – 420 с.
4. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А.Н. Бирбраер. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.
5. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.
6. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах: ДБН В.1.1-5-2000. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП 2.01.09-91; Чинні від 2000-07-01] – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 87 с.
7. Булат А. Ф. Экспериментальные исследования систем сейсмоизоляции зданий на основе резино-металлических сейсмозащитных блоков / А. Ф. Булат, В. И. Дырда, Н. И. Лисица [и др.] // Геотехнічна механіка: Міжгалузевий зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: Інститут геотехнічної механіки НАНУ, 2012. – Вип. 106. – С. 30-37.
8. Булат А.Ф. Вибросейсмозащита тяжелых машин, зданий и сооружений с помощью резинометаллических блоков / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Н.И. Лисица [и др.] // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: Львівська політехніка, 2011. – Вип. 45. – С. 460-464.
9. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
10. Єврокод – Основи проектування споруд: EN 1990:2002Е Європейський стандарт. На заміну ENV 1991-1:1994. (Укр.переклад англ.мовної версії) / НДІБК, 2007. – 87 с.
11. Жилые здания, основные положения: ДБН В.2.2-15-2005. / Держбуд України, изд-во ДП «Укрархбудінформ», 2005. – 36 с.
12. Заборов В.И. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / В. И. Заборов, М.И. Могилевский, В.Н. Мякшин – К.: Будівельник, 1989. – 160 с.
13. Клаф Р. Динамика сооружений / Клаф Р.; пер. с англ. – М. : Стройиздат, 1979. – 320 с.
14. Мар'єнков М.Г. Врахування ґрунтової основи, що нерівномірно деформується, при розрахунку сейсмостійкості будівель / М.Г. Мар'єнков, Д.О. Хохлін // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 335-345.
15. Мар'єнков Н. Г. Оценка влияния основания, сейсмоизоляции, гасителей колебаний на нелинейные перемещения зданий при землетрясениях / Н. Г. Мар'єнков // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса:Зовнішнєрекламсервіс, 2012, випуск № 47, частина 2– С. 215-224.
16. Каменные и армокаменные конструкции: СНиП II-22-81. – [Взамен главы СНиП II-В.12-71; Введ. 01.01.83]. – М.: Стройиздат, 1983. – 40 с.
17. Ремонт и усиление несущих и ограждающих строительных конструкций и оснований промышленных зданий и сооружений: ДБН В.3.1-1-2002. – Офіц. вид. – [Чинні від 01.07.2003]. – К.: Госстрой Украины, 2003. – 82 с.
18. Патент № 58418 на корисну модель. Антисейсмічна опора. / [В. І. Дирда, Ю.І. Немчинов, М. І. Лисица, М. Г. Мар'єнков та ін.] (Україна). - №58418; заявл. 30.09.2010; дата публ. 11.04.2011, бюл. №
19. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Ю. И. Немчинов, Н. Г. Мар'єнков, А. К. Хавкин, К. Н. Бабик. Под ред. Немчинова Ю. И.]. –К.: Гудименко С. В., 2012.-384 с.14.
20. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий.-М.: ЦНИИСК.- 1988.-170 с.
21. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О.А. Савинов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. – 200 с.
22. Фундаменты машин с динамическими нагрузками: СНиП 2.02.05-87. – [Взамен СНиП II-19-79; Введ. 01.07.88]. – М.: Стройиздат, 1987. – 48 с.
23. Чернов Ю. Т. Вибрации строительных конструкций.- Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.-2006.-288 с.

REFERENCES

1. Abdurashidov K.S. (1974). *Naturnye issledovanija kolebanij zdaniij i sooruzhenij i metody ih vosstanovlenija* [Field observations of buildings and structures and methods of their regeneration]. Tashkent: Fan [in Russian].
2. Banakh, V.A. (2013). Rozvytok statyko-dynamichnykh rozrakhunkovykh modelei budivel i sporud u skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh [Development of static-dynamic calculation models of buildings and structures in difficult engineer-geological conditions]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Dnipropetrovsk: PSACEA [in Ukrainian].

3. Bazhenov V.A. Imovirnisni methodological rozrahunku konstruksiy. Vipadkovi Oscillations pruzhnyh systems: The Teaching posibnik / VA Bazhenov, C.S. Dehtyaryuk. - K. KNUBA, 2005. - 420 p.
4. Birbraer, A.N. (1998). *Raschet konstrukcij na sejsmostojkost' [Seismic analysis of structures]*. Saint Petersburg: Nauka [in Russian].
5. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy [Construction in seismic regions of Ukraine]. (2014). *DBN V.1.1-12:2014 from 1st October 2014*. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
6. Budynky i sporudy na pidrobliuvanykh terytoriiakh i prosidaiuchykh hruntakh [Buildings and structures on undermined territories and slumping soils]. (2000). *DBN V.1.1-5-2000 from 1st July 2000*. Kyiv: Derzhavnyi komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy [in Ukrainian].
7. Bulat AF Experimental study of seismic isolation systems of buildings on the basis of rubber-metal Seismic blocks / AF Bulat, VI Dyrda, N. Fox [et al.] // *Geotekhnichna mehanika: Mizhgaluzevy ST. Sciences. Prace. - Dnipropetrovs'k: Institut geotekhnichnoï mehaniki NASU, 2012. - Vip. 106.- pp 30-37*.
8. Bulat AF Vibroseymozaschita heavy machinery, buildings and structures with the help of rubber blocks / AF Bulat, V. Dyrda, NI Fox [and others.] // *Automation virobnichih protsesiv in mashinobuduvanni that priladobuduvanni: Ukrainsky mizhvidomchy NAUKOVO-tehnichny zbirnik. - Lviv: Lviv politehnika, 2011. - Vip. 45. - P. 460-464*.
9. Gorodeckij, A.S., Evzerov, I.D. (2007). *Komp'yuternye modeli konstrukcij [Computer models of structures]*. – Kyiv: Fakt [in Russian].
10. Evrokod - Basics proektuvannya sporud: to EN 1990: 2002E Evropeysky standard. On zaminu ENV 1991-1: 1994. (Ukr.pereklad anglo-movnoï versii) / NDIBK, 2007. - 87 p.
11. Residential buildings, the basic situation: DBN V.2.2-15-2005. / Derzhbud Ukraine, publishing house DC "Ukrarhbudinform", 2005. - 36 p.
12. Fences VI Handbook of Noise and vibration protection of residential and public buildings / VI Fences, M.I. Mogilevsky, V.N. Myakshin - K. : Budivelnik, 1989. - 160 p.
13. R. Clough Dynamics constructions / Clough P. ; per. from English. - M.: Stroyizdat, 1979. - 320 p. - (Translation ed.: Dynamics of Structures / Ray W. Clough, Joseph Penzien -. New York, 1975).
14. Maryenkov, M.G., Khokhlin, D.O. (2015). Vrakhuvannya hruntovoi osnovy, shcho nerivnomirno deformuietsia, pry rozrakhunku sejsmostiïkosti budivel [Accounting of non-uniform deformable soil base in seismic resistance analysis]. *Budivelni konstruksii – Building constructions, 82, 335-345* [in Ukrainian].
15. Maryenkov N.G. Assessment of the impact of the base, seismic, vibration absorbers in the non-linear movement of buildings during earthquakes / NG Maryenko // *News Odeskoï derzhavnoï Academy budivnitstva that arhitekturi - Odes: Zovnishreklamservis, 2012 Key infrastructure number 47, Chastina 2 S. 215-224*.
16. Kamennye i armokamennye konstrukcii [Masonry and reinforced masonry structures]. (1983). *SNiP II-22-81 from 1st January 1983*. Moscow: Strojizdat [in Russian].
17. Remont i usilenie nesushhih i ograzhdajushhih stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij promyshlennyh zdanij i sooruzhenij [Rehabilitation and strengthening of bearing and enclosure constructions and soil bases of industrial buildings and structures]. (2003). *DBN V.3.1-1-2002 from 1st July 2003*. Kyiv: Gosstroj Ukrainy [in Russian].
18. Patent number 58418 in the korisnu model. Antiseismichna support. / [AT. I. Dearden, YU.I. Nemchinov, M. I. Foxes, MG Mar'enkov that in.] (UKRAINE). - № 58418; appl. 30.09.2010; publ date. 11.04.2011, Bull. Number 10.
19. Designing buildings with a predetermined level to ensure seismic resistance / [Y. I. Nemchinov, N.G. Maryenkov, A.K. Khavkin, K.N. Babik. Ed. Nemchinov Y.I.]. -K. : Gudimenko S.V., 2012.-384 with.
20. Guidelines for vibration protection of load-bearing structures of production buildings.- M.: TSNIISK., 1988.- 170 p.
21. Savinov O.A. (1979). *Sovremennye konstrukcii fundamentov pod mashiny i ih raschet [Modern constructions of foundations for machines and their analysis]*. Leningrad: Strojizdat. Leningr. otd-nie [in Russian].
22. Fundamenty mashin s dinamicheskimi zagruzkami [Foundations for machines with dynamic loads]. (1987). *SNiP 2.02.05-87 from 1st July 1988*. Moscow: Strojizdat [in Russian].
23. Chernov Y.T. Vibration stroitelnih konstruksiy.- Moscow: Publishing Association stroitelnih vuzov.-2006.- 288 p.

Статья поступила в редколлегию 25.08.2016