

## МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

UDC 539.3:624.041:678.4

DOI 10.31649/2311-1429-2021-1-52-64

Й. Й. Лучко<sup>1</sup>,  
М. Г. Мар'єнков<sup>2</sup>,  
К. М. Бабік<sup>2</sup>ВІБРОДИНАМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТУ ТА  
КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВЛАШТУВАННІ ШПУНТОВОГО  
ОГОРОДЖЕННЯ КОТЛОВАНУ В УМОВАХ ЩІЛЬНОЇ  
МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ<sup>1</sup>Львівський національний аграрний університет<sup>2</sup>Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

У даній роботі сформульована проблема і обґрунтована її актуальність. Наведено план розташування об'єктів та інженерно-геологічні умови будівельного майданчика. Представлено конструктивні рішення шпунтового огородження котловану і захисного екрану та характеристики технічного стану прилеглих будівель. Розглянуто вібродинамічне обладнання для вдавлення паль. Проведено аналіз і синтез науково-технічних джерел та нормативних документів. Сформульована мета досліджень. Представлено результати вібродинамічних обстежень та їх аналіз. Зокрема, згідно програми виконано записи вертикальних і горизонтальних прискорень ґрунту та конструкцій прилеглих будівель на рівні фундаменту при різних операціях з влаштування буронабивних паль. На рисунках наведені часові сигнали горизонтальних і вертикальних прискорень та амплітудні спектри. Також наведені дані про вертикальні і горизонтальні прискорення конструкцій будівлі №1 і будівлі №2 та порівняння їх з допустимими нормами SWD. Відзначено, що виконаний віброзахисний екран у ґрунті фундаменту існуючої будівлі дозволяє знизити горизонтальні віброприскорення ґрунту у 2-3 рази, вертикальні 1,2-1,3 рази. Зокрема, встановлено, що на прилеглих будівлях можуть впливати вібродинамічні навантаження при будівництві нової будівлі у густозабудованому місті. Наведені висновки досліджень та сформульовано рекомендації в яких описано весь технологічний процес з дотриманням нормативних вимог влаштування буронабивних паль під захистом обсадних труб із метою мінімізації вібродинамічного впливу на існуючі будівлі.

**Ключові слова:** вібромоніторинг ґрунту, вібродинамічні впливи, спектри прискорень, будівлі, ґрунт, коливання конструкцій.

## Вступ

При сучасному будівництві значну увагу слід приділяти впровадженню прогресивних технологій і матеріалів, як при проектуванні так і при зведенні будівель і споруд. Особливо, актуальна ця проблема для зведення будівель і споруд у густонаселених та забудованих містах, мегаполісах. Однією із найважливіших вимог будівельних і екологічних нормативів є мінімізація впливу при спорудженні будівлі чи споруди на існуючу інфраструктуру, зокрема, впливу вібродинамічних процесів на оточуючі житлові, адміністративні і сакральні споруди.

**План розташування об'єктів та інженерно-геологічні умови майданчика будівництва.** Гідрогеологічні умови обстеженого майданчика на період проведення вишукувань (жовтень-грудень 2019 р.) характеризуються наявністю безнапірного водоносного горизонту, який міститься в супіщаній товщі четвертинних відкладів. Усталений безнапірний рівень підземних вод зустрінутий на глибинах 7,8-9,0 м.

Прогнозована амплітуда коливань рівня підземних вод можлива на  $\pm 0,5 \dots 1,0$  м. Підземні води володіють слабоагресивними властивостями до бетонів марки W6 і середньоагресивними властивостями до бетонів марки W4. Схематичний план розміщення об'єктів дослідження наведено на рисунку 1, а.

**Характеристика інженерно-геологічних умов будівельного майданчика.** В геологічній будові майданчик вишукувань на розвідану глибину 15,0-35,0 м. приймають участь сучасні (техногенні), четвертинні та палеогенні відклади. Палеогенові відклади представлені харківською світою (рис. 1, б). Будівельний майданчик розташований у м. Києві у Печерському районі. Детально характеристики одинадцяти інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) наведені у звіті [1].

**Конструктивні рішення шпунтового огородження котловану і захисного екрану.** Шпунтове огородження [1] складається з 114 буронабивних паль Ø820 мм довжиною 16,3 та 18,4 м; 47 паль Ø1000 мм довжиною 16,3 та 18,4 м; 168 паль Ø300 мм та 26 паль Ø300 мм довжиною 3,8; 6,0 та 8,1 м.

Буронабивні палі Ø820 мм виконуються з бетону класу за міцністю С25/30 та армуються просторовими каркасами з 8(6)Ø25 А500С на всю довжину. Палі Ø1000 мм армуються просторовими каркасами з 8Ø25 А500С. Палі влаштовуються під захистом інвентарних обсадних металевих труб. З метою збереження технічного стану прилеглої адміністративної будівлі влаштовано захисний екран вздовж торцевої частини будівлі, який безпосередньо прилягає до майданчику будівництва, схема розташування елементів шпунтового огороження котловану наведено у звіті [1]. Проектом передбачено влаштування 77 палей захисного екрану, що заглиблюються методом статичного задавлювання з метою зменшення динамічного впливу. Палі складаються з металевої труби довжиною 12 м перерізом Ø159×5, яка заповнюється бетоном класу за міцністю С12/15. Відстань між віссю палей та гранню стіни прилеглої будівлі складає 900 мм; крок палей – 220 мм. Палі об'єднуються об'язочною балкою з швелера №18 довжиною 17 м. На відстані 1100 мм від грані стіни з кроком 2420 мм влаштовуються 7 додаткових палей аналогічної конструкції, які анкеряться в стіну будівлі по осі 8 з використанням двох балок зі швелера №18 на кожну палю.

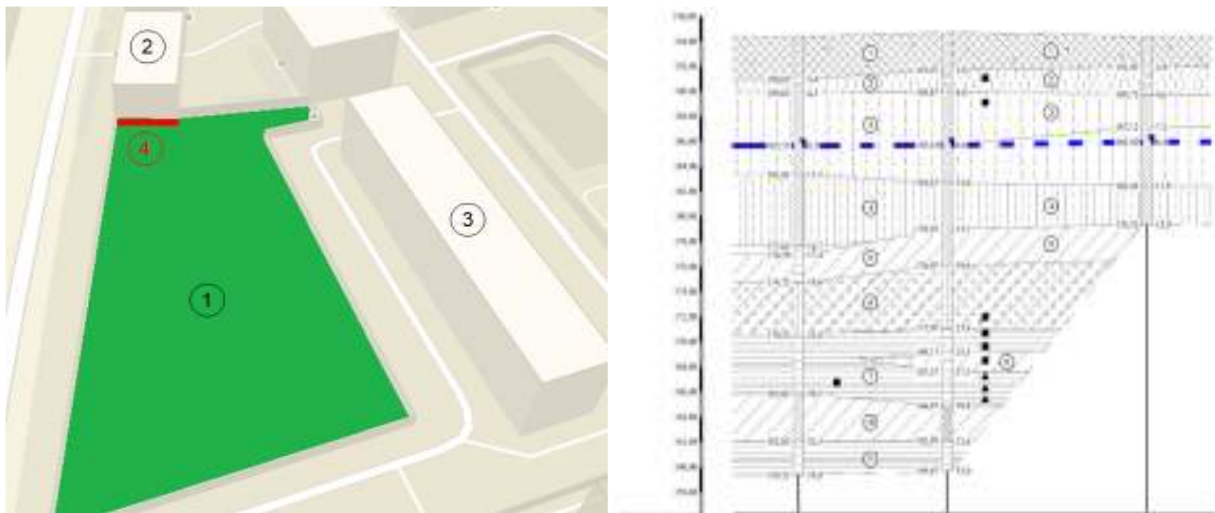


Рисунок 1 – Схематичний план розміщення об'єктів дослідження (а) та інженерно-геологічний розріз майданчика (б): 1 – будівельний майданчик; 2 – прилегла адміністративна будівля; 3 – прилегла житлова будівля; 4 – захисний екран з палей

**Конструктивні рішення шпунтового огороження котловану і захисного екрану.** Шпунтове огороження [1] складається з 114 буронабивних палей Ø820 мм довжиною 16,3 та 18,4 м; 47 палей Ø1000 мм довжиною 16,3 та 18,4 м; 168 палей Ø300 мм та 26 палей Ø300 мм довжиною 3,8; 6,0 та 8,1 м. Буронабивні палі Ø820 мм виконуються з бетону класу за міцністю С25/30 та армуються просторовими каркасами з 8(6)Ø25 А500С на всю довжину. Палі Ø1000 мм армуються просторовими каркасами з 8Ø25 А500С. Палі влаштовуються під захистом інвентарних обсадних металевих труб. З метою збереження технічного стану прилеглої адміністративної будівлі влаштовано захисний екран вздовж торцевої частини будівлі, який безпосередньо прилягає до майданчику будівництва, схема розташування елементів шпунтового огороження котловану наведено у звіті [1]. Проектом передбачено влаштування 77 палей захисного екрану, що заглиблюються методом статичного задавлювання з метою зменшення динамічного впливу. Палі складаються з металевої труби довжиною 12 м перерізом Ø159×5, яка заповнюється бетоном класу за міцністю С12/15. Відстань між віссю палей та гранню стіни прилеглої будівлі складає 900 мм; крок палей – 220 мм. Палі об'єднуються об'язочною балкою з швелера №18 довжиною 17 м. На відстані 1100 мм від грані стіни з кроком 2420 мм влаштовуються 7 додаткових палей аналогічної конструкції, які анкеряться в стіну будівлі по осі 8 з використанням двох балок зі швелера №18 на кожну палю.

**Характеристика технічного стану прилеглих будівель.** В об'ємно-планувальному відношенні адміністративна будівля (прилегла будівля №2) є триповерховою спорудою форми в плані, подібної до трапеції, що складається з одного блоку. Висота поверхів становить близько 3,0 м.

Будівля зведена на межі 19-20 сторіччя за «жорсткою» схемою з несучими поздовжніми та поперечними цегляними стінами. Просторова жорсткість забезпечується спільною роботою стін та перекриттів. За час експлуатації неодноразово була реконструйована із переплануванням та частковою заміною перекриттів з використанням будівельних матеріалів кожного періоду.

В конструкціях будівлі зафіксовані наступні характерні дефекти і пошкодження:

- локальні руйнування кладки фундаментів з розшаруванням і випаданням цегли в склепіннях;

- зволоження та просідання основи під фундаментами з утворенням тріщин;
- деформаційні тріщини у зовнішніх і внутрішніх поздовжніх і поперечних несучих стінах з розкриттям 0,5...2 мм; на окремих ділянках похилі тріщини переходять у горизонтальні;
- характерні деформаційні тріщини у надвіконних і підвіконних зонах, в кутових зонах перемичок, розкриттям 0,3...0,8 мм.

Характер пошкоджень свідчить, що найбільш імовірною причиною їх появи є нерівномірні деформації ґрунтів основи внаслідок замочування, спричиненого зміною гідрогеологічних умов за тривалий термін експлуатації, впливу техногенних факторів (протіканнями комунікацій).

Житлова будівля (прилегла будівля № 2) є трисекційною спорудою прямокутної форми в плані з розмірами 12,0×57,0 м. Будівля має 5 надземних, підвальный та технічний поверхи: в підвальному поверсі розміщені приміщення технічні та громадського призначення; на поверхах з першого по п'ятий – житлові приміщення гуртожитку.

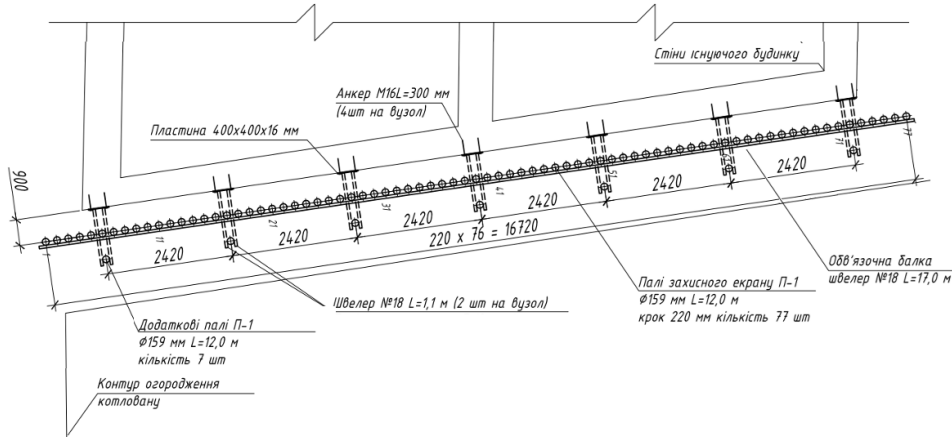


Рисунок 2 – Схема розташування елементів захисного екрану

Висота поверхів становить 3,0 м; загальна висота будівлі 17,0 м. Сполучення між поверхами забезпечується трьома сходовими клітинами, розміщеними в окремих блоках будівлі. Несучими конструкціями є поздовжні цегляні стіни, самонесучі поперечні стіни, залізобетонні збірні плити перекриття.

В несучих стінах зафіксовані дефекти і пошкодження, які ймовірно виникли внаслідок нерівномірних деформацій основи. Зокрема наскрізні вертикальні тріщини між блоками будівлі, ширина розкриття яких збільшується з висотою.

В процесі виконання бурових робіт виконувався геодезичний нагляд за планово-висотним положенням будівлі та розвитком зафіксованих дефектів за спеціально влаштованою мережею. Віброактивне обладнання наведені на рис. 3.



Рисунок 3 – Загальний вигляд бурового обладнання та місць встановлення датчиків вібрації: а – на ґрунті на різних відстанях від свердловини; б – в безпосередній близькості до прилеглої будівлі №1 (на ґрунті перед та за екраном, на фундаменти та стіні першого поверху)

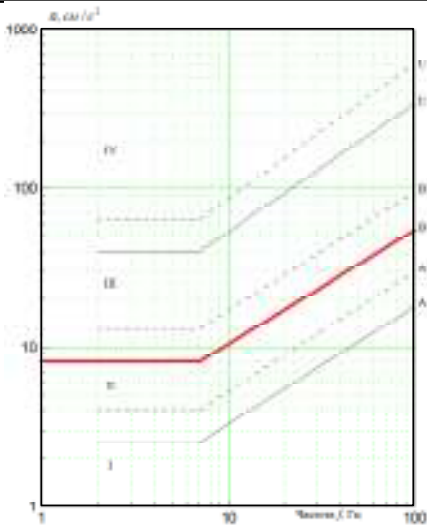


Рисунок 4 – Рівні допустимих прискорень відповідно до шкали SWD – II [10]

Показники нормативних рівнів вібрації

Характер вібрації, час доби, критерії вібрації	Нормативні рівні вібрації в октавних смугах з середньгеометричними значеннями частот, Гц						Лквр та Левк.квр, дБ
	2	4	8	16	31,5	63	
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Постійна, ніч (з 22.00 до 8.00)</b>							
Віброприскорення, дБ	74,5	74,5	74,5	80,5	86,5	92,5	84,1
Значення віброприскорення, мс <sup>-2</sup>	0,0053	0,0053	0,0053	0,0106	0,0212	0,0424	0,0160
<b>Постійна, день (з 8.00 до 22.00)</b>							
Віброприскорення, дБ	79,5	79,5	79,5	85,5	91,5	97,5	89,1
Значення віброприскорення, мс <sup>-2</sup>	0,0095	0,0095	0,0095	0,0189	0,0378	0,0754	0,0284
<b>Непостійна, ніч (з 22.00 до 8.00)</b>							
Віброприскорення, дБ	64,5	64,5	64,5	70,5	76,5	82,5	74,1
Значення віброприскорення, мс <sup>-2</sup>	0,0017	0,0017	0,0017	0,0034	0,0067	0,0134	0,0051
<b>Непостійна, день (з 8.00 до 22.00)</b>							
Віброприскорення, дБ	69,5	69,5	69,5	75,5	81,5	87,5	79,1
Значення віброприскорення, мс <sup>-2</sup>	0,0030	0,0030	0,0030	0,0060	0,0119	0,0238	0,0090

Примітка. Допустимі рівні вібрації в приміщеннях закладів охорони здоров'я менше представлених у таблиці на 3 дБ.

Вібрація яка виникає при роботі бурового обладнання носить непостійний характер та відбувається вдень.

**Аналіз відомих результатів досліджень.** У звіті [1] описано розташування будівельного майданчика, основні характеристики ґрунтів і стан прилеглих будівель, конструктивні рішення шпунтового огороження котловану і захисного екрану та характеристики віброактивного обладнання для виконання захисного екрану. У роботі [2] розглянуто питання визначення рівнів вібрації ґрунту та палі на будівельному майданчику і прогнозування коливань конструкцій у житлових приміщеннях будинків при їх проектуванні. Зокрема, експериментально-теоретичне обґрунтування необхідності віброзахисту будинків при впливах поїздів метрополітену, а у роботі [3] наведено результати досліджень віброзахисту будинків від динамічного впливу залізничного транспорту.

У роботі [4] проведено дослідження особливостей влаштування системи віброзахисту в існуючій будівлі колишньої міської садиби 18-19 століття.

У праці [5] описані результати досліджень оцінки ризиків експлуатаційного впливу вібрації від технічного обладнання на конструкції будівлі промислового корпусу. Дуже цікаві і потрібні результати дослідження наведені у праці [6] де визначено межі вібрації для історичних унікальних будівель.

Критерії допустимих рівнів динамічних впливів на будівлі, конструкції та ґрунт. Зокрема, для оцінки зовнішніх динамічних впливів на будівлі та прилеглий ґрунт у вітчизняній і світовій практиці керуються допустимими значеннями віброприскорень або віброшвидкостей для різних частотних діапазонів.

В Україні допустимі рівні віброприскорень регламентуються діючим нормативним документом [7], який в рамках цього дослідження використано як довідковий, оскільки в ньому не враховуються досягнення в галузі геотехніки за останні 30 років. Крім того, не враховується технічний стан конструкцій.

Аналіз стандартів європейських та інших країн [8, 9], багаторічний досвід використання в практиці лабораторії теорії сейсмостійкості та динамічних випробувань ДП НДІБК показав, що найбільш перевіреним і зручним у застосуванні на практиці та відповідним до цілей цього дослідження є нормативний документ Республіки Польща [10].

Згідно [10] допустимі значення прискорень конструкцій будівлі (нижнього поверху або фундаменту) приймаються відповідно до шкал SWD-I та SWD-II. При цьому враховується фактичний технічний стан конструкцій, тип ґрунту і фундаментів, тип матеріалів конструкцій, характер динамічних впливів.

Відповідно до рекомендацій досліджень Савінова О.А. та Кудрявцева І.А. [11, 12] для виключення осідання основ та фундаментів при динамічних впливах ґрунту допустиме віброприскорення в горизонтальних та вертикальному напрямках не повинно перевищувати 15 см/с<sup>2</sup>. Наведене значення близьке до значень, використаних у шкалі SWD-II в межах частот від 10 до 20 Гц. Отже, допустимим значенням віброприскорень для ґрунту, прилеглому до будівлі, є значення 15,0 см/с<sup>2</sup> в межах частот від 10 до 20 Гц.

Окремо розглянуті санітарні норми обмеження вібраційного впливу на мешканців будівлі, які відчувають цей вплив в житлових приміщеннях, та на працівників на робочих місцях. Відповідно до 14.6 [13] та додатку 17 [14] рівні вібрації в приміщеннях громадських і житлових будинків з урахуванням характеру, часу доби та тривалості впливу в октавних смугах не мають перевищувати показників, наведених в таблиці 1.

**Мета роботи.** Метою роботи є виконання вібродинамічних обстежень ґрунту та будівельних конструкцій при влаштуванні шпунтового огороження котловану на будівельному майданчику об'єкта, що зводиться в умовах щільної міської забудови [1], з метою контролю вібродинамічних впливів на ґрунт та конструкції прилеглих будівель.

**Результати дослідження.** Програмою вібродинамічних обстежень передбачено проведення записів коливань ґрунту та конструкцій прилеглих будівель при впливі мікросейсмічних коливань та при роботі віброактивного обладнання в процесі виконання робіт з влаштування шпунтового огороження котловану.

Відповідно до розробленої програми виконано записи вертикальних та горизонтальних прискорень ґрунту та конструкцій прилеглих будівель в рівні фундаменту, стіни першого та п'ятого поверхів при всіх операціях із влаштування буронабивних паль шпунтового огороження будівельного майданчика (рис. 4), зокрема:

- двох паль  $\varnothing 820$  мм на відстані  $\sim 67$ - $68$  м від фундаменту будівлі №1;
- двох буріоін'єкційних паль на відстанях 32 - 40 м від фундаменту будівлі №1;
- однієї палі  $\varnothing 820$  мм на відстані 9-10 м від фундаменту будівлі №1;
- чотирьох паль  $\varnothing 820$  мм на відстані  $\sim 2,5$  - 3,0 м від фундаменту будівлі №1;
- трьох паль  $\varnothing 1000$  мм на відстанях  $\sim 10,0$  - 12,0 м від фундаменту будівлі №2.

Значення вертикальних та горизонтальних прискорень ґрунту та будівельних конструкцій прилеглих будівель зафіксовані при різних операціях з влаштування буронабивних паль, зокрема:

- бурінні ґрунту на різних глибинах;
- монтажі та заглибленні секцій обсадної труби;
- заглибленні/ підйомі шнеку;
- очищенні шнеку від ґрунту;
- заглибленні арматурного каркасу;
- операцій з заглиблення/ підйому бетонолитної труби;
- заповненні свердловини бетоном;
- русі бурової установки;
- роботі екскаватора при вибиранні ґрунту та завантаженні на самоскиди.

На рис. 5 та 6 наведено залежності максимальних вертикальних та горизонтальних прискорень ґрунту від відстані та глибини, зафіксованих при бурінні ґрунту, при заглибленні обсадної труби; при заповненні свердловини бетоном.

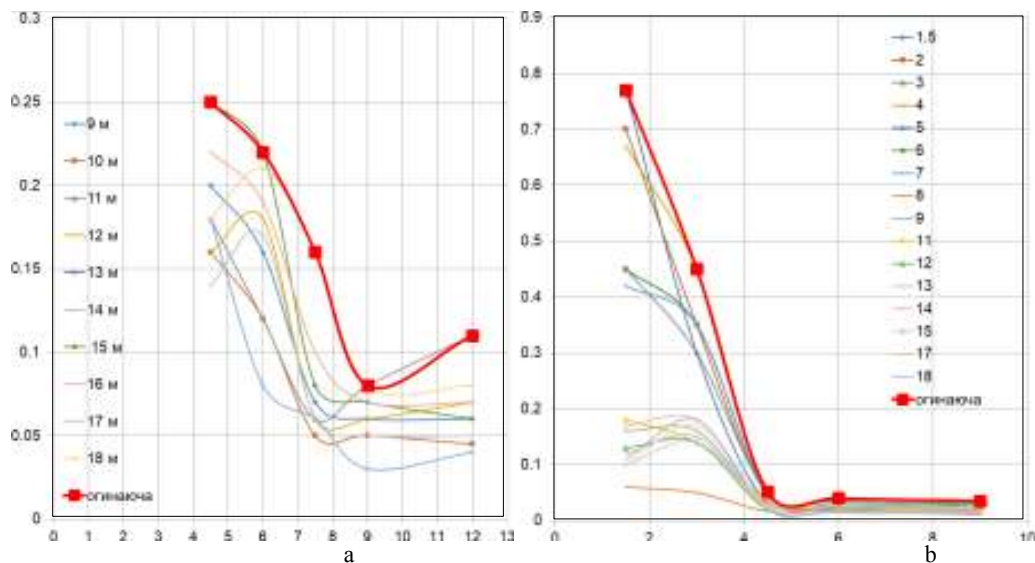


Рисунок 5 – Значення максимальних віброприскорень ґрунту: а – при вертикальних; б – при горизонтальних, в залежності від відстані до осі палі та глибини буріння

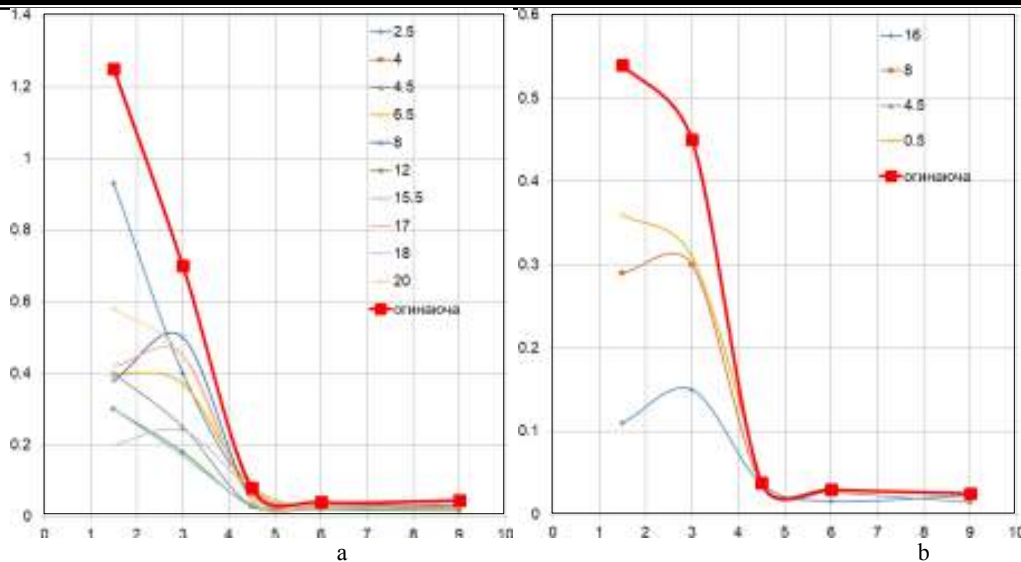
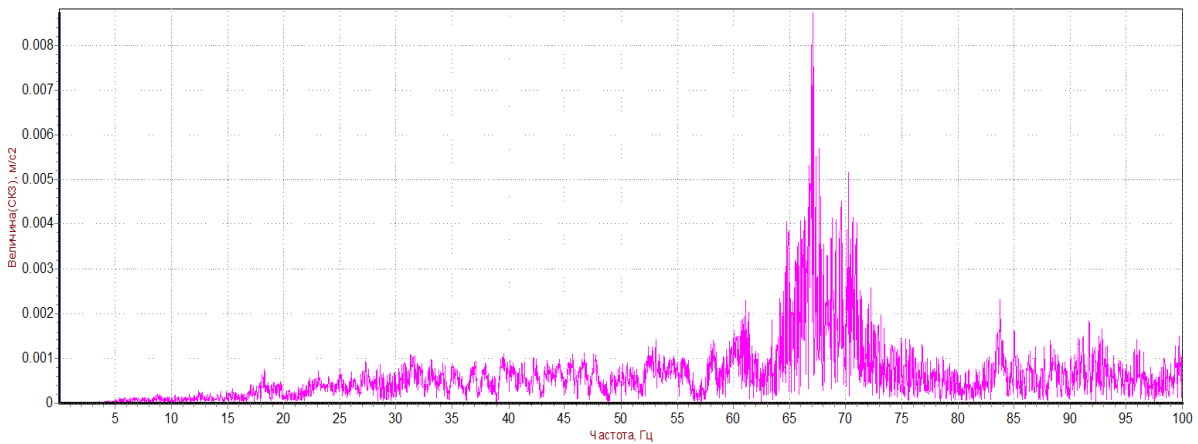


Рисунок 6 – Значення максимальних горизонтальних віброприскорень ґрунту в залежності від відстані до осі палі та глибини: а – при заглибленні обсадної труби; б – при заповненні свердловини бетоном

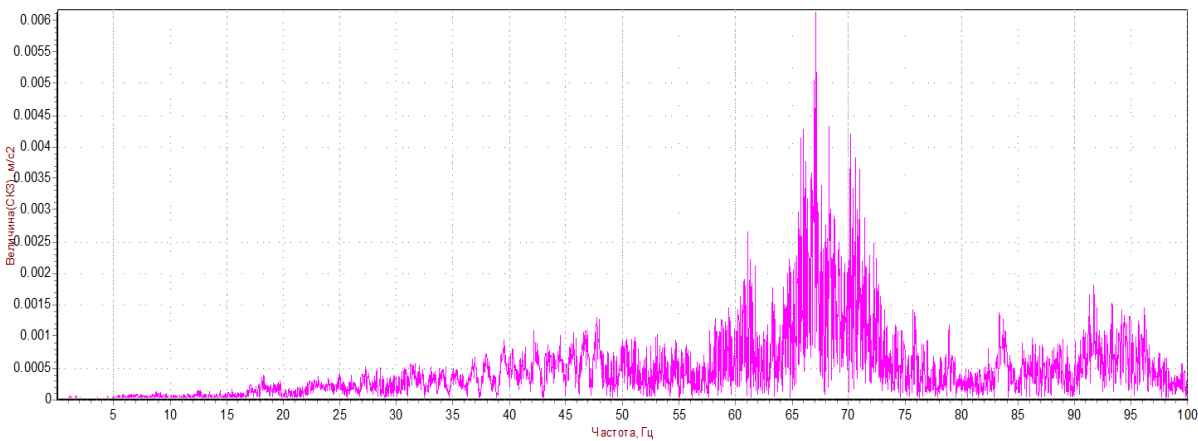
На рисунках 7, 8 наведені часові сигнали горизонтальних та вертикальних віброприскорень, а також амплітудні спектри віброприскорень ґрунту, фундаменту та стіни прилеглої будівлі №1 при влаштуванні палі на відстані ~3,0 м від фундаменту будівлі.

На рис. 9 – 12 наведені порівняння максимальних зареєстрованих вертикальних та горизонтальних прискорень конструкцій прилеглої будівлі №1 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] та у порівнянні із допустимими рівнями відповідно до санітарних вимог [14].

На рис. 13 – 14 наведені порівняння максимальних зареєстрованих вертикальних та горизонтальних прискорень конструкцій прилеглої будівлі №2 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] та у порівнянні із допустимими рівнями відповідно до санітарних вимог [14].



а



б

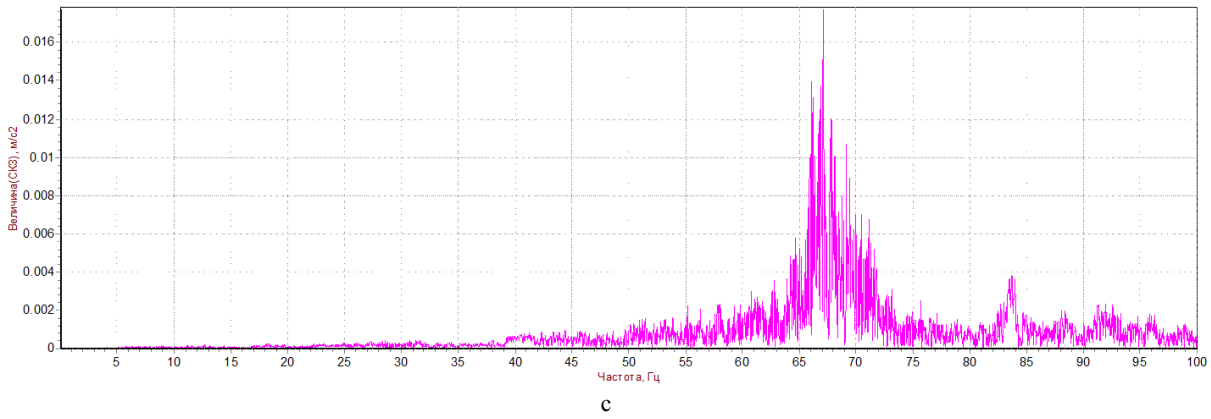


Рисунок 7 – Вузкосмугові спектри зареєстрованих сигналів вертикальних віброприскорень ґрунту перед а, за екраном б та на фундаменті с прилеглої будівлі №1 при бурінні свердловини на глибинах 0 – 2,0 м (в ґрунті присутні включення залишків старого фундаменту)

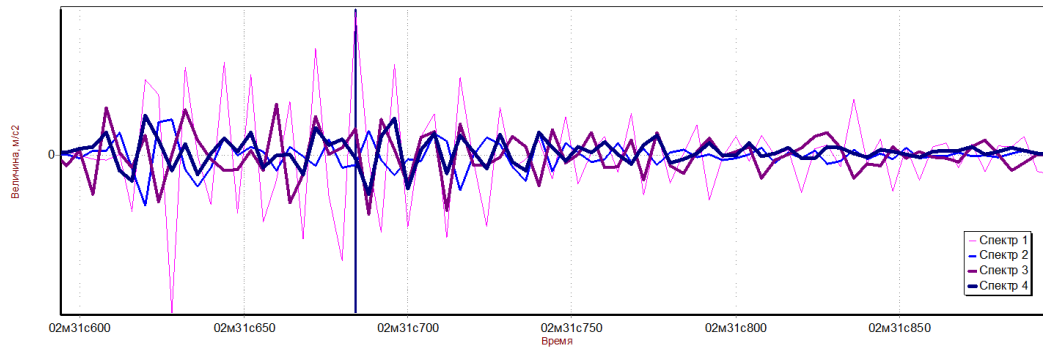


Рисунок 8 – Зареєстровані сигнали горизонтальних віброприскорень (спектр 1 - перед екраном та спектр 3 – за екраном) та вертикальних віброприскорень ґрунту (спектр 2 - за екраном та спектр – на фундаменті будівлі) при бурінні свердловини на глибинах 2,0 – 4,0 м (максимальне горизонтальне прискорення поверхні ґрунту перед екраном 0,97 м/с<sup>2</sup>)

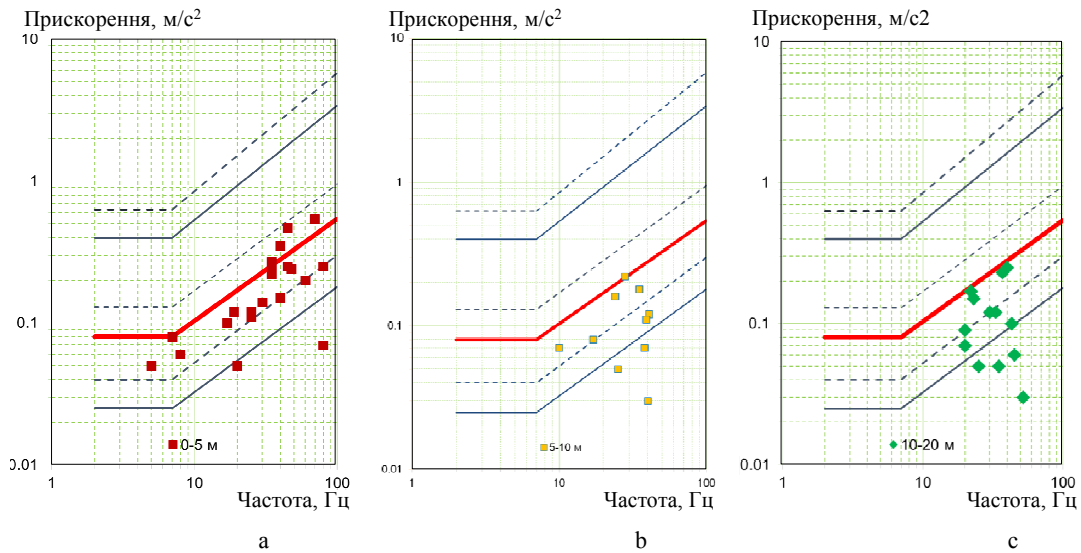


Рисунок 9 – Порівняння рівнів віброприскорень фундаменту будівлі №1 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] (червона лінія) при заглибленні обсадної труби на глибину: а – до 5 м; б – 5-10 м; с – 10-20 м

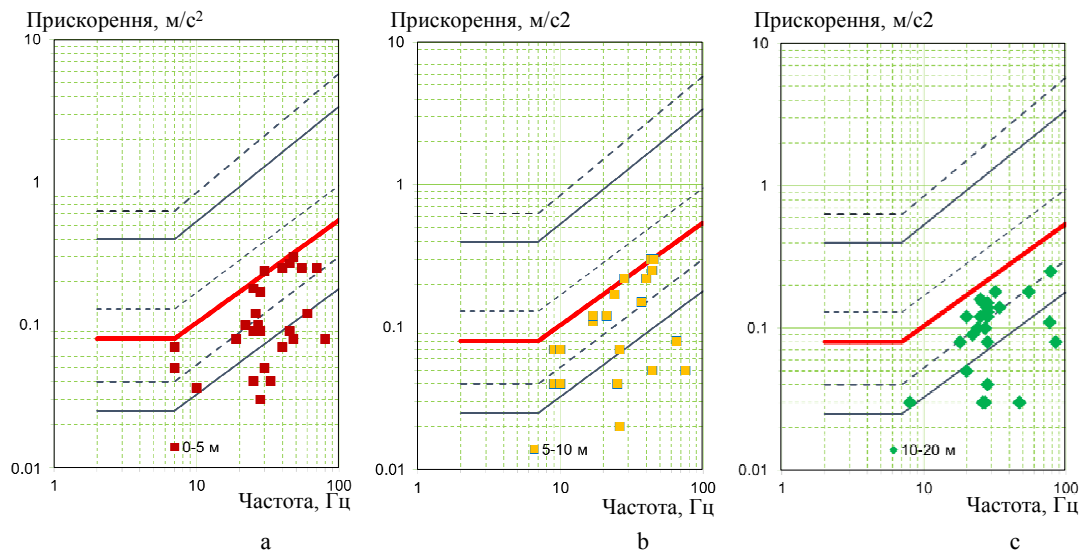


Рисунок 10 – Порівняння рівнів віброприскорень фундаменту будівлі №1 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] (червона лінія) при бурінні свердловин на глибині: а – до 5 м; б – 5-10 м; с – 10-20 м

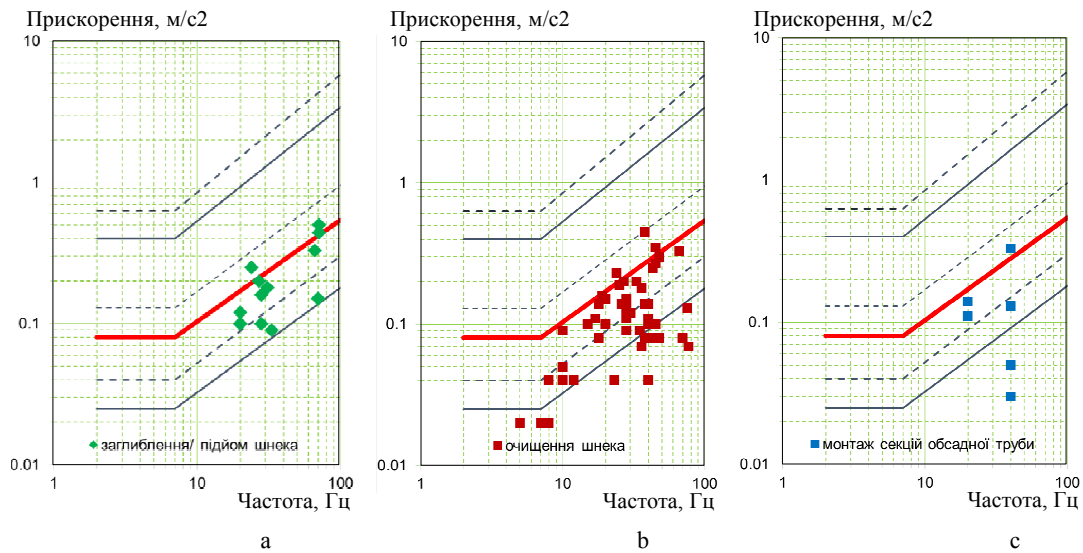


Рисунок 11 – Порівняння рівнів віброприскорень фундаменту будівлі №1 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] (червона лінія): а – при заглибленні-підйомі шнеку; б – очищенні шнеку; с – монтажі секцій обсадної труби

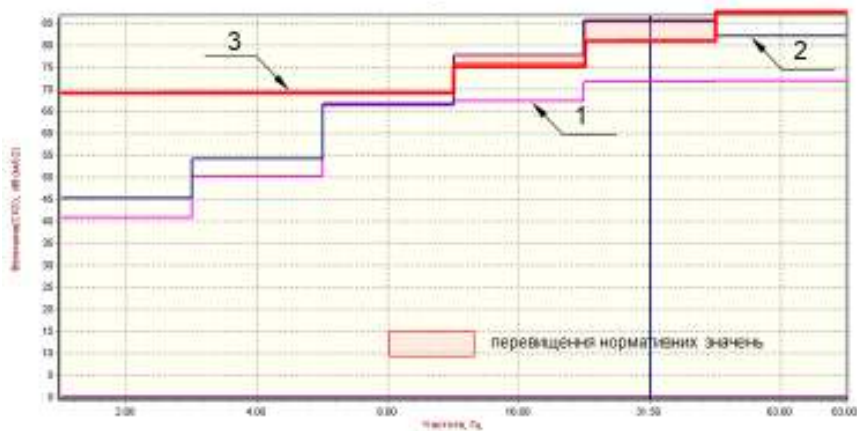


Рисунок 12 – Октавні спектри прискорень конструкцій будівлі №1, зафіксовані при влаштуванні паль: 1 та 2 – фундаменту у вертикальному та горизонтальному (вздовж осі Y) напрямках відповідно; 3 – допустимі рівні відповідно до [14]



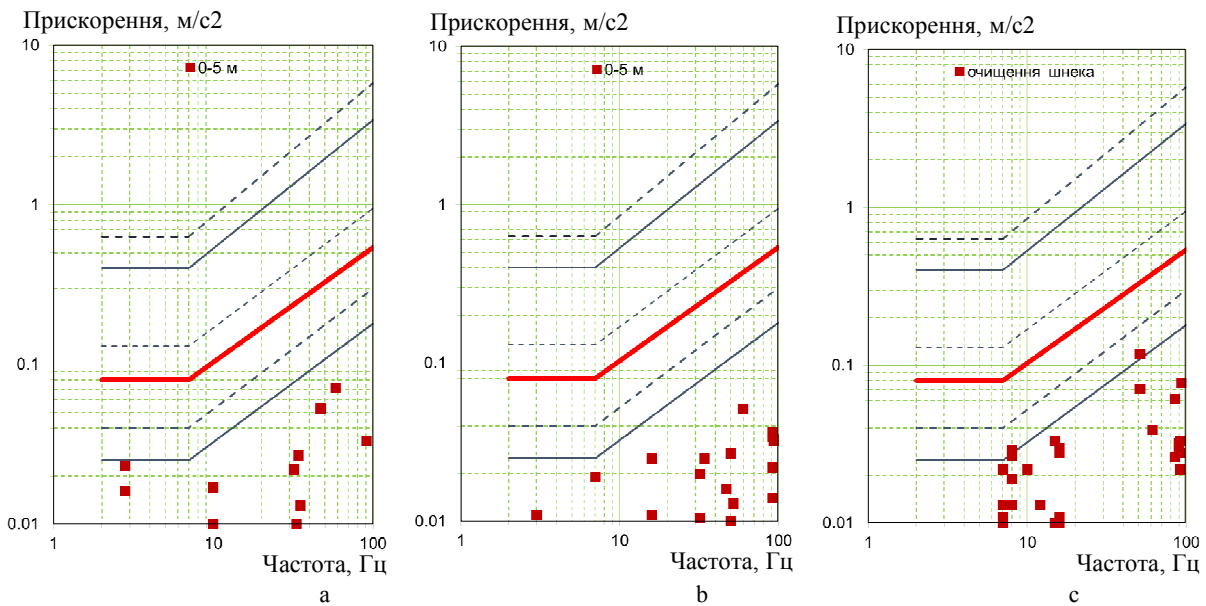


Рисунок 13 – Порівняння рівнів віброприскорень фундаменту будівлі №2 із допустимими рівнями відповідно до шкали SWD – II [10] (червона лінія): а – при заглибленні обсадної труби на глибину до 5 м; б – при бурінні свердловин на глибині до 5 м; с – при очищенні шнеку

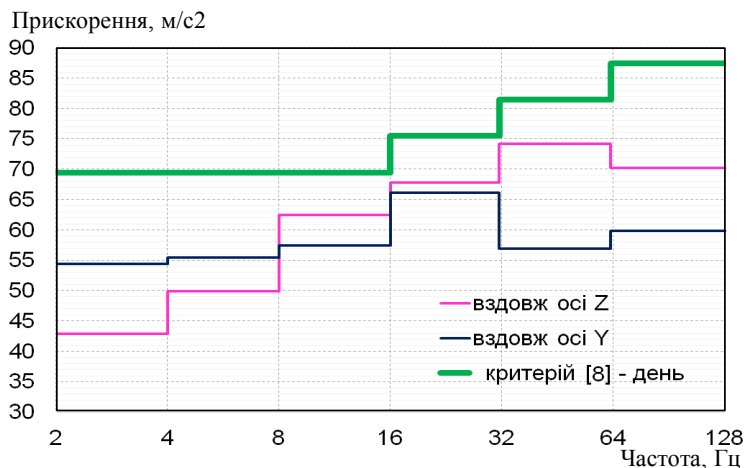


Рисунок 14 – Октавні спектри вертикальних (вздовж осі Z) та горизонтальних (вздовж осі Y) прискорень перекриття п'ятого поверху будівлі №2, зафіксовані при влаштуванні паль

### Наукова новизна та практична значимість

У даній статті, на підставі аналіз літературних джерел, характеристик технічного стану прилеглих будівель та аналізу критеріїв допустимих рівнів динамічних впливів, які наведені у нормативах різних країн на будівлі, конструкції і ґрунт було розроблено методику вібродинамічного моніторингу ґрунту та конструкцій при влаштуванні шпунтового огороження котловану в умовах щільної міської забудови.

Результати виконаних обстежень, наведених реальних значень максимальних віброприскорень вертикальних і горизонтальних у залежності від осі палі до будівлі та глибини та їх порівняння з відповідними нормами, показали, що вони знаходяться у допустимих межах. Також, запропоновано рекомендації з метою мінімізації вібродинамічного впливу на ґрунт та оточуючі будівлі, влаштування буронабивних паль та сформульовані умови, які потрібно дотримувати при виконанні вказаних робіт.

### Висновки

За результатами виконаних вібродинамічних обстежень і їх аналізу, та вібромоніторингу ґрунту, конструкцій фундаментів і стін прилеглих будівель при робочих режимах бурового обладнання під час влаштування буронабивних паль шпунтового огороження будівельного майданчика отримані наступні результати:

1. За результатами вимірювань віброприскорень ґрунту на різних відстанях від осі палі не зафіксовано перевищення допустимого значення віброприскорень ґрунту  $15,0 \text{ cm/s}^2$  на відстані більше

6,0 м від осі палі при всіх операціях з влаштування паль при повному дотриманні запропонованої технології буріння із заходами зменшення динамічного впливу.

2. Встановлено, що виконаний віброзахисний екран у ґрунті біля фундаменту існуючої будівлі дозволяє знизити горизонтальні віброприскорення ґрунту у 2,0 – 3,0 рази та вертикальні віброприскорення ґрунту у 1,2 – 1,3 рази.

3. Зареєстровані частоти власних коливань конструкцій прилеглої будівлі №1 складають 3,5; 7,5 та 11,3 Гц вздовж осі Х та 3,1; 6,4 Гц – вздовж осі Y.

4. За результатами вібраційного моніторингу при влаштуванні буронабивних паль на мінімальних відстанях 2,5 - 3,0 м від фундаменту прилеглої будівлі №1 встановлено наступне:

- зареєстровані максимальні значення віброприскорень ґрунту біля фундаменту ( $27 - 30 \text{ см/с}^2$ ) перевищують до двох разів допустиме значення ( $15 \text{ см/с}^2$ ) відповідно до [11, 12] при бурінні свердловини на глибині від 0,0 м до 2,0 м. Підвищені значення віброприскорень ґрунту та фундаменту будівлі обумовлені наявністю твердих включень (залишків старого фундаменту тощо) на глибинах від 0,5 до 2,0 м;
- зареєстровані незначні перевищення віброприскореннями фундаментів прилеглої будівлі допустимих значень відповідно до шкали SWD-II [10] в частотному діапазоні 30-70 Гц. Зареєстровані перевищення виникають при ударах шнеку та обсадної труби при його заглибленні-підйомі; заглиблені обсадної труби, що обумовлено наявністю твердих включень в ґрунті, та імпульсними впливами на початку та завершенні операцій бурової установки;
- прискорення фундаментів прилеглої будівлі №1, зареєстровані при заглибленні обсадної труби та заглибленні-підйомі шнеку, до 4 дБ (в 1,6 рази) перевищують допустимі рівні в октавах «16 Гц» – «31,5 Гц», встановлені для непостійної вібрації в громадських будівлях (офісних приміщеннях) відповідно до санітарних норм [14].

5. Зареєстровані частоти власних коливань конструкцій прилеглої будівлі №2 у складають 2,7–2,8; 6,2 Гц у горизонтальному напрямку (вздовж осі Х) та 9,0; 13,1 Гц – вертикальних коливань перекриття.

6. За результатами вібраційного моніторингу при влаштуванні буронабивних паль на відстанях 10,0–12,0 м від фундаменту прилеглої будівлі №2 встановлено наступне:

- віброприскорення фундаментів прилеглої будівлі №2 не перевищують допустимих значень відповідно до шкали SWD-II [10] при всіх операціях із влаштування паль;
- зареєстровані прискорення перекриття п'ятого поверху будівлі не перевищують допустимі рівні, встановлені для непостійної вібрації в житлових будівлях відповідно до санітарних норм [14];
- максимальні зареєстровані значення віброприскорень перекриття п'ятого поверху будівлі в октаві «31,5 Гц» складають 80,9 Гц, що є досить близьким до граничного значення 81,5 Гц відповідно до [14]. Наведені значення зареєстровані при ударних впливах, які виникали на майданчику при роботі екскаватора, і можуть викликати дискомфорт у мешканців будівлі.

### Рекомендації

З метою мінімізації вібродинамічного впливу на ґрунт та оточуючі будівлі, влаштування буронабивних паль під захистом обсадних труб повинно виконуватись з дотриманням наступних вимог:

- обертання бурового інструмента при бурінні свердловини має виконуватись повільно без ривків та ударів; швидкість опускання бурової штанги повинна бути підібрана таким чином, щоб мінімізувати динаміку удару при контакті з демпфером на роторі бурової установки;
- послідовність влаштування паль, а також організація зони робіт повинна забезпечувати мінімальне пересування техніки при бурінні та бетонуванні в зоні влаштування вказаних паль;
- не допускається скидання вибуреного ґрунту зі шнеку з шляхом швидкого обертання бурової штанги в обидва напрями та різкого гальмування; для очищення від ґрунту шнек має повільно закручуватись в ґрунт в зоні складування вибуреного ґрунту поруч з буровою установкою;
- в першу чергу виконуються палі, найбільш віддалені від існуючої будівлі, при цьому влаштування паль повинно супроводжуватись заміром вібрацій на рівні поверхні ґрунту та по стіні будівлі, а також геодезичним моніторингом переміщень будівлі в режимі реального часу по світловідбивних марках та висотних реперах. У випадку фіксації значень переміщень та вібраційних параметрів, які перевищують попередньо встановлені допустимі величини, роботи необхідно призупинити до прийняття комісією рішення про відновлення робіт;

- при влаштуванні паль двома буровими установками одночасно, відстань між ними повинна складати не менше 30 м;
- для забезпечення допустимих рівнів вібрації ґрунту біля фундаменту та конструкцій існуючих будівель рекомендовано видаляти тверді включення у ґрунті шляхом відкопування на глибину 1,5 - 2,0 м;
- при влаштуванні буронабивних паль шпунтового огороження котловану рекомендується вжити заходи з мінімізації вібраційного впливу на ґрунт та конструкції прилеглих будівель та виконувати вібраційний моніторинг при влаштуванні паль на мінімальних відстанях від фундаментів прилеглих будівель.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт за результатами вібродинамічних обстежень ґрунту та конструкцій прилеглої будівлі на вул. Московська, 5 з метою контролю вібраційних впливів при влаштуванні шпунтового огороження котловану на будівельному майданчику об'єкту: «Будівництво житлово-офісного комплексу з торгівельними приміщеннями та паркінгом по вул. Московська, у Печерському районі м. Києва». – Київ: ДП НДІБК-2020. -80 с.
2. Експериментально - теоретичне обґрунтування необхідності віброзахисту будинків при впливах потягів метрополітену / М. Г. Мар'єнков, Ю. І. Калюх, В. А. Дунін, А. М. Мар'єнков // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2016. – Вып. 91. – С. 77-89.
3. Віброзахист житлових будинків від динамічного впливу залізничного транспорту / А. Ф. Булат, А. С. Кобець, В. І. Дирда, М. Г. Мар'єнков, М. І. Лисиця, Г. М. Агальцов, В. В. Немченко // Геотехнічна механіка. - 2019. - Вип. 144. - С. 137-145.
4. Особенности устройства системы виброзащиты в существующем здании бывшей городской усадьбы XVIII-XIX вв., входящих в комплекс зданий ГМИИ им. А. С. Пушкина /Дашевский, М. А., Мондрус, В. Л., Шутовкий, С. Н., & Калашникова, Н. К.// Строительство и реконструкция, - 2014. Вип. 5. – С. 3-7.
5. Результаты оценки рисков эксплуатационного воздействия вибрации от технологического оборудования на конструкции здания производственного корпуса /Захаров, К. А.// Academy, – 2018. – Вип. 1(6 (33)).
6. Vibration limits for historic buildings and art collections. /Johnson, A. P., & Hannen, W. R. // APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, . – 2015. – Vol. 46(2/3), – P. 66-74.
7. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. - К.: Мінрегіон України, 2008.
8. ВСН 490-87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. - Минмонтажспецстрой. М.-1988.
9. Нормирование вибрации сооружений в СССР и за рубежом/ под ред. Цейтлина А.И. Строительство и архитектура. Серия «Инженерно-теоретические основы строительства»// Обзор. – М., ВНИИТПИ. – 1990. – 60 с.
10. PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwosci drgań przekazywanych przez podloze na budynki (Оцінка шкідливого впливу вібрації ґрунту на будівлі)
11. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. - Л.: Стройиздат, 1979.
12. Кудрявцев И.А. Влияние вибрации на основания сооружений. - Гомель: БелГУТ, 1999.
13. ДБН В.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. – К.: Мінрегіон України, 2019. – 179 с.
14. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів.

## REFERENCES

1. Zvit za rezultatamy vibrodynamichnykh obstezhen ґрунту та konstruktсии prylehloi budivli na vul. Moskovska, 5 z metoiu kontroliu vibratsiinykh vplyviv pry vlashtuvanni shpuntovoho ohorodzhennia kotlovanu na budivelnomu maidanchyku ob'iektu: «Budivnytstvo zhytlovo-ofisnoho kompleksu z torhivel'nymy prymishchenniamy ta parkinhom po vul. Moskovska, u Pecherskomu raioni m. Kyieva». – Kyiv: DP NDIBK-2020. – 80 p.
2. Marienkov M. H., Kaliukh Yu. I., Dunin V. A., & Marienkov A. M. (2016). Eksperymentalno - teoretychne obhruntuvannia neobkhdnosti vibrozakhystu budynkiv pry vplyvakh potiahiv metropolitenu. Stroitelstvo. materialovedeniye. mashinostroeniye: sb. nauch. tr. / Pridnep. gos. akad. str-va i arkhitektury. – Dnepr. – Vol. 91. – P. 77-89.
3. Bulat A. F., Kobets A. S., Dyrda V. I., Marienkov M. H., Lysytsia M. I., Ahaltsov H. M., & Niemchenko V. V. (2019) Vibrozakhyst zhytlovykh budynkiv vid dynamichnoho vplyvu zaliznychnoho transportu. Heotekhnichna mekhanika. Vol. 144. - P. 137-145.
4. Dashevskiy. M. A., Mondrus. V. L., Shutovkiy. S. N., & Kalashnikova. N. K. (2014) Osobennosti ustroystva sistemy vibrozashchity v sushchestvuyushchem zdaniy byvshey gorodskoy usadby XVIII-XIX vv.. vkhodyashchikh v kompleks zdaniy GMII im. A. S. Pushkina. Stroitelstvo i rekonstruktsiya. Vol. 5. – p. 3-7.
5. Zakharov. K. A. (2018) Rezultaty otsenki riskov ekspluatatsionnogo vozdeystviya vibratsii ot tekhnologicheskogo oborudovaniya na konstruktсии zdaniya proizvodstvennogo korpusa. Academy. Vol. 1(6 (33)).
6. Johnson, A. P., & Hannen, W. R. (2015) Vibration limits for historic buildings and art collections. APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology, Vol. 46(2/3), – P. 66-74.
7. DBN V.1.2-12-2008. (2008) Budivnytstvo v umovakh ushchilnenoi zabudovy. Vymohy bezpeky. Minrehion Ukrainy, Kiev.
8. VSN 490-87. (1988) Proektirovaniye i ustroystvo svaynykh fundamentov i shpuntovykh ograzhdeniy v usloviyakh rekonstruktsii promyshlennykh predpriyatiy i gorodskoy zastroyki. Minmontazhspetsstroy.
9. Tseytlin A. I. (1990) Normirovaniye vibratsii sooruzheniy v SSSR i za rubezhom. Stroitelstvo i arkhitektura. Seriya «Inzhenerno-teoreticheskiye osnovy stroitelstva» Obzor. VNIINTPI. 60 p.
10. PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwosci drgań przekazywanych przez podloze na budynki
11. Savinov O. A. (1979) Sovremennyye konstruktсии fundamentov pod mashiny i ikh raschet. Stroyizdat.
12. Kudryavtsev I. A. (1999) Vliyaniye vibratsii na osnovaniya sooruzheniy. Gomel: BelGUT.

13. DBN V.2.2-12:2019. (2019) Planuvannia i zabudova terytorii. Minrehion Ukrainy, Kiev. 179 p.

14. DSP 173-96 Derzhavni sanitarni pravyla planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv.

**Лучко Йосип Йосипович** – доктор технічних наук, професор. Кафедра будівельних конструкцій, Львівський національний аграрний університет, ORCID 0000-0002-3675-0503

**Мар'єнков Микола Григорович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), ORCID: 0000-0001-8613-877X

**Бабік Костянтин Миколайович** – кандидат технічних наук. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК), ORCID: 0000-0002-8763-510X

**И. И. Лучко<sup>1</sup>,  
М. Г. Марьенков<sup>2</sup>,  
К. М. Бабик<sup>2</sup>**

## ВИБРОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВЫ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УСТРАНЕНИИ ШПУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ КОТЛОВАНА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО ГОРОДСКОГО ЗАВЕДЕНИЯ

<sup>1</sup>Львовский национальный аграрный университет

<sup>2</sup>Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций»

*В данной работе сформулирована проблема и обоснована ее актуальность. Приведен план размещения объектов и инженерно-геологические условия строительной площадки. Представлены конструктивные решения шпунтового ограждения котлована и защитного экрана и характеристики технического состояния близлежащих зданий. Рассмотрено вибродинамическое оборудование для вдавливания свай. Проведен анализ и синтез научно-технических источников и нормативных документов. Сформулирована цель исследований. Представлены результаты вибродинамических обследований и их анализ. В частности, согласно программе выполнены записи вертикальных и горизонтальных ускорений грунта и конструкций близлежащих зданий на уровне фундамента при различных операциях по устройству буронабивных свай. На рисунках приведены сигналы горизонтальных и вертикальных ускорений и амплитудные спектры. Также приведены данные о вертикальных и горизонтальных ускорениях конструкций здания №1 и здания №2 и сравнение их с допустимыми нормами SWD. Отмечено, что выполненный виброзащитный экран в грунте фундамента существующего строения позволяет снизить горизонтальные виброускорения грунта в 2-3 раза, вертикальные 1,2-1,3 раза. В частности, установлено, что на близлежащие здания могут оказывать влияние вибродинамические нагрузки при строительстве нового здания в густозастроенном городе. Приведены выводы исследований и сформулированы рекомендации, в которых описан весь технологический процесс с соблюдением нормативных требований устройства буронабивных свай под защитой обсадных труб с целью минимизации вибродинамического воздействия на существующие здания.*

*Ключевые слова: вибромониторинг почвы, вибродинамические воздействия, спектры ускорений, строения, почва, колебания конструкции.*

**Лучко Йосиф Йосифович** – доктор технічних наук, професор. Кафедра строительных конструкций, Львовский национальный аграрный университет, ORCID 0000-0002-3675-0503

**Мар'єнко Николай Григорьевич** – доктор технических наук, старший научный сотрудник. Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» (ГП НИИСК), ORCID: 0000-0001-8613-877X

**Бабик Константин Николаевич** – кандидат технических наук. Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» (ГП НИИСК), ORCID: 0000-0002-8763-510X

**J. Luchko<sup>1</sup>,  
M. Marienkov<sup>2</sup>,  
K. Babik<sup>2</sup>**

## VIBRODYNAMIC MONITORING OF SOIL AND STRUCTURES IN THE ARRANGEMENT OF SHUNTED FENCE OF THE DITCH IN CONDITIONS OF DENSITY URBAN BUILDING

*In this work the problem is formulated and its urgency is substantiated. The plan of location of objects and engineering-geological conditions of the construction site are given. Structural solutions of sheet piling of the pit and protective screen and characteristics of the technical condition of adjacent buildings are presented. Vibrodynamic equipment for pile pressing is considered. The analysis and synthesis of scientific and technical sources and normative documents is carried out. The purpose of research is formulated. The results of vibrodynamic examinations and their analysis are presented. In particular, according to the program, records of vertical and horizontal accelerations of the soil and structures of adjacent buildings at the level of the foundation during various operations on the installation of bored piles. The figures show the time signals of horizontal and vertical accelerations and amplitude spectra. Data on vertical and horizontal accelerations of structures будівля 1 and building №2 and their comparison with admissible SWD norms are also given. It is noted that the made vibration protection screen in the soil of the foundation of the existing building allows to reduce horizontal vibration accelerations of the soil by 2-3 times, vertical 1.2-1.3 times. In particular, it was found that the adjacent buildings may be affected by vibrodynamic loads during the construction of a new building in a densely built-up city. The conclusions of researches are resulted and recommendations in which all technological process with observance of normative requirements of the device of bored piles under protection of casings for the purpose of minimization of vibrodynamic influence on existing buildings are formulated.*

**Key words:** soil vibromonitoring, vibrodynamic influences, acceleration spectra, buildings, soil, structural oscillations.

**Luchko J.** – Dr. Department of Building Structures, Lviv National Agrarian University, ORCID 0000-0002-3675-0503  
**Marienkov M.** – Dr., Head of Department, SE «The State Research Institute of Building Constructions», ORCID: 0000-0001-8613-877X  
**Babik K.** – PhD, SE «The State Research Institute of Building Constructions», ORCID: 0000-0002-8763-510X