



УДК 624.15:699.841



НЕМЧИНОВ Ю.І.

Д-р технічних наук, проф.,
перший заступник директора
інституту з наукової роботи,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: yu.nemch@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (050) 469-35-77,
ORCID: 0000-0002-6618-125X



МАР'ЄНКОВ М.Г.

Д-р технічних наук, зав. від.,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: n.maryenkov@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (050) 415-36-03,
ORCID: 0000-0002-7246-845X



КАЛЮХ Ю.І.

Д-р технічних наук, стар-
ший наук. співробітник,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: y.kalyukh@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (050) 415-35-91,
ORCID: 0000-0001-7240-4934



БАБІК К.М.

Канд. технічних наук, зав.
лаб., ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна, e-mail: k.babik@
ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (050) 415-37-58,
ORCID: 0000-0002-8763-510X



ДИРДА В.І.

Д-р технічних наук, проф.,
зав. від., Інститут геотехнічної
механіки ім. М.С. Полякова
НАН України,
м. Дніпро, Україна,
e-mail: vita.igtm@gmail.com,
тел.: +38 (067) 560-98-73,
ORCID: 0000-0002-1975-8511

ЗАХИСТ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ ВІД СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

АНОТАЦІЯ

В статті представлені результати експериментально-теоретичних досліджень щодо вирішення проблеми віброізоляції багатоповерхових житлових будинків у рівні пальового ростверку від потягів залізниці. Результати виконаних робіт дозволили отримати акселерограми поверхні ґрунту на будівельному майданчику; здійснити розроблення розрахункових динамічних моделей віброізолюваних 6, 10 та 13-поверхових секцій житлового будинку для проведення розрахунків та розроблення рекомендацій з конструювання вузлів влаштування віброізоляторів та системи сейсмо- та віброзахисту секцій будинку з метою зниження до допустимих за Санітарними нормами динамічних впливів від потягів залізниці.

Для захисту від динамічних впливів потягів залізниці за результатами чисельних досліджень та випробувань гумових віброізоляторів, проведених в ДП НДІБК та ІГТМ НАНУ, згідно патенту на оголовок кожної палі перед бетонуванням плити ростверку встановлюється гумовий ізолятор та влаштовується система віброзахисту будинку у рівні підшви плити ростверку та стін підвалу. За результатами розрахунків просторових моделей будинків обґрунтовані параметри гумових ізоляторів для віброзахисту 6, 10 та 13-поверхових секцій. Виконані випробування двох типів гумових віброізоляторів вітчизняного виробництва з зовнішнім діаметром 340 мм і товщиною 40 і 50 мм з доведенням максимального вертикального навантаження до 3200 кН. Середня жорсткість



гумового ізолятора діаметром 340 мм та товщиною 50 мм на стиск (при розрахункових навантаженнях на палі до 800 кН) дорівнює $K_z = 67000$ кН/м; ізолятора товщиною 40 мм $K_z = 105000$ кН/м (при розрахункових навантаженнях на палі до 1200 кН). Розрахункові коефіцієнти запасу проти перекидання секцій висотою 13, 10 та 6 поверхів дорівнюють від 5,4 до 16,5 при інтенсивності сейсмічних впливів 6 балів. При вітрових впливах коефіцієнти запасу дорівнюють від 101,6 до 196,6.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: житловий будинок, система сейсмо- та віброзахисту, віброприскорення ґрунту та перекриття, випробування ізоляторів, розрахунків на акселерограми, рекомендації з віброзахисту

ЗАЩИТА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

НЕМЧИНОВ Ю.И. Д-р технических наук, проф., первый заместитель директора института по научной работе, «ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина, e-mail: yu.nemch@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (050) 469-35-77, ORCID: 0000-0002-6618-125X

МАРЬЕНКОВ Н.Г. Д-р технических наук, зав. отд., ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина, e-mail: n.maryenkov@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (050) 415-36-03, ORCID: 0000-0002-7246-845X

КАЛЮХ Ю.И. Д-р технических наук, старший научный сотрудник, ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина, e-mail: y.kalyukh@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (050) 415-35-91, ORCID: 0000-0001-7240-4934

БАБИК К.М. Канд. технических наук, зав. лаб., ГП «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», г. Киев, Украина, e-mail: k.babik@ndibk.gov.ua, тел.: +38 (050) 415-37-58, ORCID: 0000-0002-8763-510X

ДЫРДА В.И. Д-р технических наук, проф., зав. отд., Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины, г. Днепр, Украина,

e-mail: vita.igtm@gmail.com,
тел.: +38 (067) 560-98-73,
ORCID: 0000-0002-1975-8511

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты экспериментально-теоретических исследований по решению проблемы сейсмоизоляции и виброизоляции многоэтажных зданий в уровне свайного ростверка при воздействиях железнодорожных поездов. Результаты выполненных работ позволили получить акселерограммы поверхности грунта на строительной площадке; выполнить разработку расчетных динамических моделей виброизолированных 6, 10 и 13-этажных секций жилого дома для проведения расчетов и разработки рекомендаций по конструированию узлов устройства виброизоляторов и системы сейсмо- и виброзащиты секций дома с целью снижения до допустимых по Санитарным нормам динамических воздействий от железнодорожных поездов.

Для защиты от динамических воздействий железнодорожных поездов по результатам многочисленных исследований и испытаний резиновых виброизоляторов, проведенных в ГП НИИСК и ИГТМ НАНУ, согласно патента на оголовки каждой сваи перед бетонированием плиты ростверка устанавливается резиновый изолятор и устраивается система виброзащиты зданий на уровне подошвы плиты ростверка и стен подвала. По результатам расчетов пространственных моделей зданий обоснованы параметры резиновых изоляторов для виброзащиты 6, 10 и 13-этажных секций. Выполнены испытания двух видов резиновых виброизоляторов отечественного производства с внешним диаметром 340 мм и толщиной 40 и 50 мм с доведением максимальной вертикальной нагрузки до 3200 кН. Средняя жесткость резинового изолятора диаметром 340 мм и толщиной 50 мм на сжатие (при расчетных нагрузках на сваи до 800 кН) равняется $K_z = 67000$ кН/м; изолятора толщиной 40 мм $K_z = 105000$ кН/м (при расчетных нагрузках на сваи до 1200 кН). Расчетные коэффициенты запаса против опрокидывания секций высотой 13, 10 и 6 этажей равняются от 5,4 до 16,5 при интенсивности сейсмических воздействий 6 баллов. При ветровых воздействиях коэффициенты запаса равняются от 101,6 до 196,6.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жилой дом, система сейсмо- и виброзащиты, виброускорение грунта и перекрытия, испытания изоляторов, расчет на акселерограммы, рекомендации по виброзащите

RESIDENTIAL BUILDINGS PROTECTION AGAINST SEISMIC LOADS AND RAIL TRANSPORT DYNAMIC ACTIONS

NEMCHYNOV Iu.I. Dr., Prof., First Deputy Director for Scientific Work, State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine,



e-mail: yu.nemch@ndibk.gov.ua,
тел.: +38 (050) 469-35-77,
ORCID: 0000-0002-6618-125X

MARIENKOV N.H. Dr., Head of Department, State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions»,
Kyiv, Ukraine,
e-mail: n.maryenkov@ndibk.gov.ua,
tel.: +38 (050) 415-36-03,
ORCID: 0000-0002-7246-845X

KALIUKH Iu.I. Dr., Senior Researcher, State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions»,
Kyiv, Ukraine,
e-mail: y.kalyukh@ndibk.gov.ua,
tel.: +38 (050) 415-35-91,
ORCID: 0000-0001-7240-4934

BABIK K.M. PhD, Head of Laboratory, State Enterprise «The State Research Institute of Building Constructions»,
Kyiv, Ukraine,
e-mail: k.babik@ndibk.gov.ua,
tel.: +38 (050) 415-37-58

DYRDA V.I. Dr., Prof., Head of Department, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine,
e-mail: vita.igtm@gmail.com,
tel.: +38 (067) 560-98-73,
ORCID: 0000-0002-1975-8511

ABSTRACT

The paper presents the results of experimental and theoretical research on solving the problems of seismic and vibration isolation in the multi-storey buildings pile grillages level under the influences of rail trains and motor vehicles. The performed works allowed to receive of the construction site soil surface accelerograms and to carry out the calculation dynamic models development for the vibro-insulated residential building with 6-, 10- and 13-storey sections for the calculations and recommendations elaboration for the design of vibration insulators and seismic and vibration protection systems in building sections in order to reduce the rail trains dynamic impacts up to sanitary norms permitted under the Sanitary norms.

Based on the rubber vibroinsulators numerous surveys and tests carried out at the SE NDIBK and IGTM NASU, for a building protection against the rail trains dynamic impacts, in compliance with the applied patent, prior to the grillage slab concreting, the rubber protector is installed on each pile head and the building vibration protection system is arranged at the grillage slab bottom and

basement walls level. The parameters of rubber insulators for the vibration protection of 6-, 10- and 13-storey sections are substantiated based on the building spatial models calculations. The tests of two types of domestic rubber vibroinsulators with a 340-mm external diameter and 40-mm and 50-mm thicknesses were performed with the maximum vertical loading increase up to 3200 kN. The average compressive stiffness is Dnipro, $K_z = 67000$ kN/m for the rubber vibroinsulator of a 340-mm diameter and 50-mm thickness (under pile design loads up to 800 kN) and Dnipro, $K_z = 105000$ kN/m for the insulator with 40 mm thickness (under pile design loads up to 1200 kN). The design safety factors for the 13, 10 and 6 floors high sections overturning have values from 5.4 to 16.5 at the 6 points seismic intensity. The safety factors are from 101.6 to 196.6 under the wind influences.

KEY WORDS: residential building, seismo- and vibroprotection system, soil and floor vibroacceleration, insulators tests, accelerograms design, vibroprotection recommendations

ВСТУП

Комфортбельний 3-х секційний (6, 10 та 13 поверхів) житловий комплекс будується по вул. Під Дубом в м. Львові з системою сейсмо- та віброзахисту від потягів залізниці. Розрахункова сейсмічність майданчику будівництва складає 6 балів за діючими нормами [1]. Будівельний майданчик розташований біля залізничних колій. Під час руху потягів і автотранспорту вібрації ґрунту передаються конструкціям будівлі. Переважаючі частоти динамічних дій від потягів залізниці і автотранспорту знаходяться в діапазоні 10-80 Гц. Частоти власних вертикальних коливань перекриттів в житлових кімнатах будинків складають від 20 до 50 Гц. Тому, динамічні впливи потягів є причиною підвищених (близьких до резонансних) коливань перекриттів будинків, які розташовані вздовж колій.

При перевищенні рівнів вібрації перекриттів в житлових приміщеннях будинків допустимих рівнів за Санітарними нормами у людей може проявлятися (під час тривалого впливу вібрації) вібраційна хвороба. Тому, для забезпечення допустимих рівнів вібрацій, у багатьох країнах використовується виброізоляція і сейсмоізоляція будівель. Система сейсмозахисту також забезпечує зниження сейсмічних навантажень на конструкції будівель і сприяє підвищенню сейсмостійкості конструкцій [1].

Застосування систем віброзахисту на основі еластомерних віброопор (віброізолятори 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: потягів метрополітену, трамваю, залізничного та автомобільного транспорту).

У багатьох країнах пройшли випробування сильними землетрусами системи сейсмоізоляції будівель і споруд на основі еластомерних сейсмоопор. Системи вібро- і сейсμοзахисту на основі розроблених 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 [1-18].

РОЗГЛЯД НЕВИРІШЕНИХ ПРОБЛЕМ

Віброізоляція будівель від вібрацій потягів залізниці здійснюється шляхом встановлення гумових або гумово-металевих віброізоляторів між фундаментною плитою і стінами будівлі підвального поверху. Також побудовано у різних країнах багато будівель з встановленням вібро- і сейсмоопор над підземними поверхнями.

Для пальового ростверку ефективність системи віброзахисту шляхом установки гумових віброізоляторів на оголовках паль потребує додаткових досліджень. Залізобетонний монолітний ростверк спирається на гумові віброопори і здійснюється як функція вібро- і сейсμοзахисту, так і підвищується стійкість будівлі проти перекидання під час вітрових і сейсмічних навантажень (за рахунок зниження центру ваги віброізолюваної верхньої будови). Крім цього, збільшується довговічність гумових віброопор, у зв'язку з експлуатацією гуми в умовах вологого середовища.

Важливим також є повне вирішення проблеми вогнезахисту гумових віброопор, які захищені зверху монолітною залізобетонною плитою, а з боків - ґрунтом зворотної засипки. До недоліків даної системи вібро- і сейсμοзахисту будівель можна віднести витрати під час заміни віброопор (у разі необхідності). 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 та стін підземних поверхів та ґрунтом зворотної засипки.

ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Майданчик будівництва трьох секцій житлового будинку з системою сейсмічного та вібраційного захисту на вул. Під Дубом у м. Львів знаходиться в зоні щільної забудови, прилеглих автотранспортних шляхів та залізниці. Рух автотранспорту біля будівельного майданчика необмежений протягом доби. Двосторонній

рух залізничних потягів як пасажирських, так і вантажних на ділянці залізниці Київ – Львів біля будівельного майданчика також здійснюється без будь-яких обмежень. Залізнична колія розташована на відстані 20-30 м від будинку.

Житловий будинок за проектом складається з трьох секцій, які відрізняються як поверховістю, так і розмірами в плані. Секція 3 має 13 поверхів, секція 2 – 6 поверхів, секція 1 – 10 поверхів. Кожна секція будинку побудована на власному віброізолюваному пальовому фундаменті.

Конструктивна схема житлових 6, 10 та 13-поверхових будинків – безригельний монолітний залізобетонний каркас [3]. Несучими вертикальними конструкціями є колони, пілони та ядра жорсткості. Висота типового поверху – 3,0 м. Перекриття поверхів та покриття – монолітні залізобетонні плити товщиною 200 мм, які об'єднують вертикальні елементи і забезпечують просторову жорсткість будівлі. Фундаменти будинків – монолітні залізобетонні ростверки на пальовій основі [3, 4, 10-12]. Палі прийнято перерізом 350×350 мм.

Пальові ростверки 6-поверхового будинку запроектовано товщиною 600 мм; 10 та 13-поверхових будинків – товщиною 800 мм. Для захисту від динамічних впливів потягів залізниці за результатами чисельних досліджень та випробувань гумових віброізоляторів, проведених в ДП НДІБК та ІГТМ НАНУ, рекомендовано на оголовок кожної палі перед бетонуванням плити ростверку встановити гумовий ізолятор діаметром 340 мм та влаштувати систему віброзахисту будинків у рівні підосви плити ростверку згідно патенту [18].

Слід відмітити, що запропоноване рішення системи сейсμο- та віброзахисту пройшло перевірку на житлових 10 та 27-поверхових будинках у м. Києві. У побудованих дев'яти будинках у м. Києві рівні вібрації перекиртів не перевищують допустимі значення за Санітарними нормами під час динамічних впливів руху потягів метрополітену [15, 16].

МЕТА РОБОТИ – обґрунтування використання системи сейсμο- та віброзахисту трьох секцій житлового будинку (6, 10 та 13 поверхів) під час сейсмічних та динамічних впливів потягів залізниці.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ – динамічні обстеження поверхні ґрунту на будівельному майданчику; розроблення просторових динамічних моделей трьох секцій; випробування гумових ізоляторів; виконання розрахунків секцій на сейсмічні навантаження інтенсивністю 6 балів та динамічні впливи вантажних та пасажирських потягів залізниці; обґрунтування ефективності системи віброзахисту будинку за результатами розрахунків та контрольних вимірювань рівнів прискорень плит перекиртів під час будівництва трьох секцій.



РЕЗУЛЬТАТИ ДИНАМІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ ТА ПЕРЕКРИТТЯ ПІД ЧАС ВПЛИВУ ВАНТАЖНИХ ТА ПАСАЖИРСЬКИХ ПОТЯГІВ

Нормування рівнів віброприскорень, віброшвидкості та вібропереміщень в житлових приміщеннях запроваджено з метою забезпечення безпеки та комфортного проживання у будинках [15, 16]. Для непостійної вібрації від потягів в нічний час допустимі рівні вібрації перекриттів у приміщеннях житлових будинків приведені в табл. 1. Граничне значення віброприскорення при визначенні його рівня (у дБ) прийнято рівним $1 \times 10^{-6} \text{ м/с}^2$.

Для виконання вимог [15, 16] необхідно передбачати відповідну відстань між житловими

будівлями та джерелами вібрації, або застосування на джерелах та будівлях засобів віброзахисту. Аналіз зареєстрованих у 2016 р. на будівельному майданчику по вул. Під Дубом сигналів та їх спектрів (рис. 1, 2) показав наступне. При динамічних впливах вантажних потягів перевищення допустимих рівнів віброприскорень перекриттів проєктованих будинків при відсутності системи віброзахисту прогнозується від 6 дБ до 12 дБ (у 2 – 4 рази) в октавах «8 Гц», «16 Гц», «31,5 Гц» та «63 Гц» (рис. 1, 2). При проїзді пасажирських потягів перевищення допустимих рівнів віброприскорень перекриттів прогнозується на 2 – 5 дБ в октавах «31,5 Гц» та «63 Гц».

З метою зниження рівнів вібрації конструкцій

Таблиця 1. Допустимі рівні вібрації (дБ) в житлових будинках

Параметри	Середньо-геометричні частоти октавних полос, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Віброшвидкість	69	63	57	57	57	57
Віброприскорення	65	65	65	71	77	83
Вібропереміщення	133	121	109	108	97	91

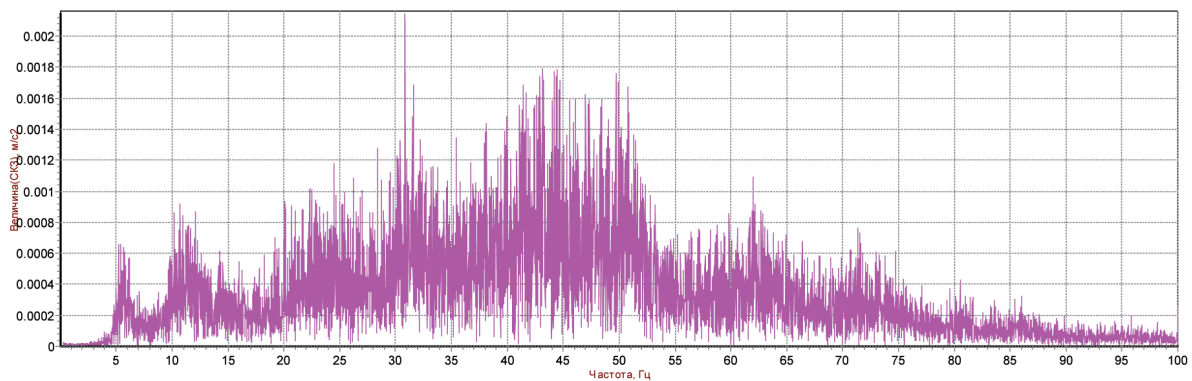


Рис. 1. Вузкосмуговий спектр вертикальних віброприскорень ґрунту (вісь Z) на відстані 22 м від колії при впливах вантажного потягу

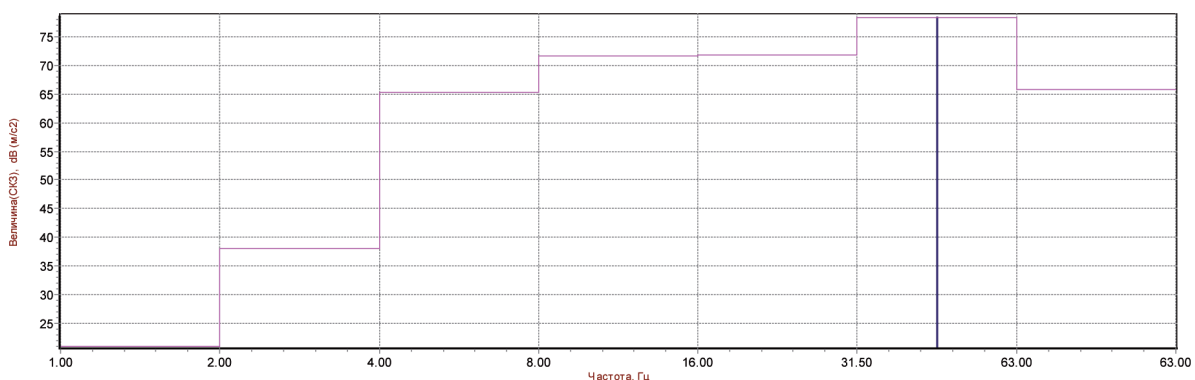


Рис. 2. Октавний спектр вертикальних віброприскорень ґрунту (вісь Z) на відстані 22 м від колії при впливах вантажного потягу



проектованих 6, 10 та 13-поверхових будинків до допустимих значень були виконані розрахунки параметрів гумових ізоляторів та проведені випробування ізоляторів діаметром 340 мм. Визначені за результатами випробувань, фактичні жорсткості ізоляторів (рис. 3, 4, 5) були використані під час розрахунків просторових моделей будинків на динамічні впливи потягів залізниці.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ КОЛИВАНЬ 13-ПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

Розрахунки коливань просторової моделі будинку виконано на динамічні впливи вантажних та пасажирських потягів з врахуванням системи віброзахисту (гумові віброопори, на які спирається ростверк) та при її відсутності.

Розрахункова модель 13-поверхового будинку була розрахована на вплив акселерограм, зареєстрованих біля фундаменту секції під час руху потягів залізниці. Виконане порівняння частот, періодів та суми модальних мас за формами коливань будинку на віброопорах та при їх відсутності. Частота вертикальних коливань будинку на віброопорах (ізоляторах жорсткістю на стиск $K_z = 105000$ кН/м) дорівнює 3,8 Гц.

Отримані дані дозволили зробити висновок, що сума модальних мас досягає 59,2% вже на 7-й формі коливань будинку на віброопорах. При відсутності віброопор сума модальних мас досягає 68,9 % на 108-й формі коливань. Тому при влаштуванні системи віброзахисту будинку його коливання на віброопорах будуть на частотах з меншими значеннями, у результаті чого розрахункові рівні коливань перекриттів будинку отримані значно меншими: 0,013 мм та

0,031 мм, тобто у 2,4 рази менше. Максимальне розрахункове вертикальне прискорення плити ростверку 13-поверхового будинку з системою віброзахисту дорівнює $4,7$ см/с², що нижче прискорення ґрунту 22 см/с² у 4,6 рази.

Порівняльний аналіз ізополей вертикальних амплітуд переміщень перекриттів 13-поверхового будинку з системою віброзахисту та при її відсутності показано на рис. 6, 7, що як при впливах вантажних потягів, так і при проїзді пасажирських потягів розрахункові (прогнозовані) рівні вібрацій конструкцій перекриттів не перевищують допустимі значення.

РОЗРАХУНКОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ЗАПАСУ БУДИНКІВ ПРОТИ ПЕРЕКИДАННЯ ПІД ЧАС ВІТРОВИХ ТА СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Коефіцієнт запасу будинків проти перекидання під час вітрових та сейсмічних навантажень визначається за формулою:

$$K_{opr} = M_{yd} / M_{opr},$$

де M_{yd} – мінімальний утримуючий момент від постійного навантаження відносно крайнього ряду віброізоляторів; M_{opr} – максимальний перекидний момент від вітрових або сейсмічних навантажень (при 6 балах згідно [1] при значенні коефіцієнта $k_l = 1,0$).

Результати розрахунків коефіцієнтів запасу проти перекидання секції 3 будинку наведені у табл. 2. При сейсмічних впливах розрахункові коефіцієнти запасу дорівнюють від 5,4 до 16,5 для секцій висотою від 13 до 6 поверхів, при вітрових впливах – від 101,6 до 196,6.

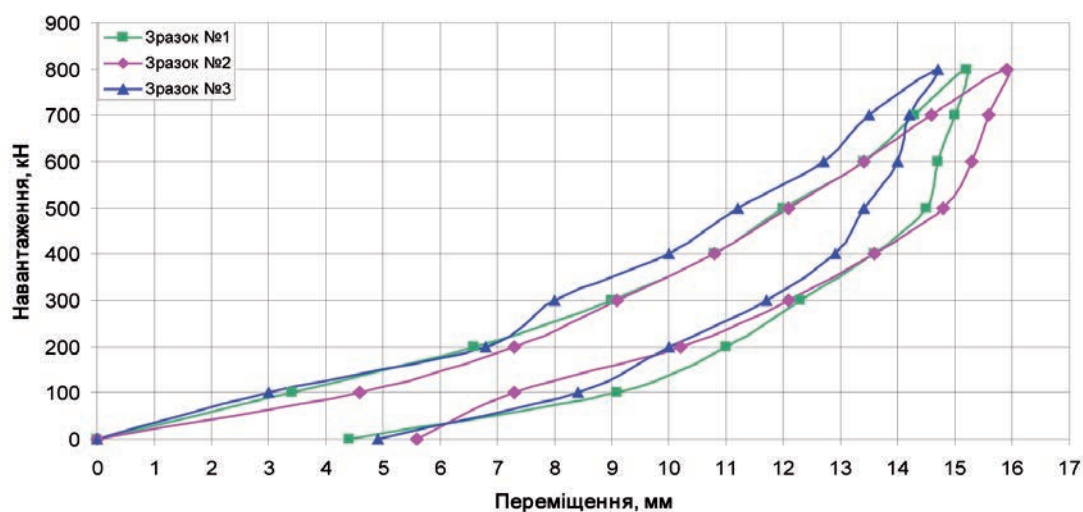


Рис. 3. Залежність вертикального переміщення від навантаження (до 800 кН) гумових ізоляторів діаметром 340 мм (система віброзахисту від потягів залізниці 6, 10 та 13 поверхових секцій житлового будинку по вул. Під Дубом у м. Львів)

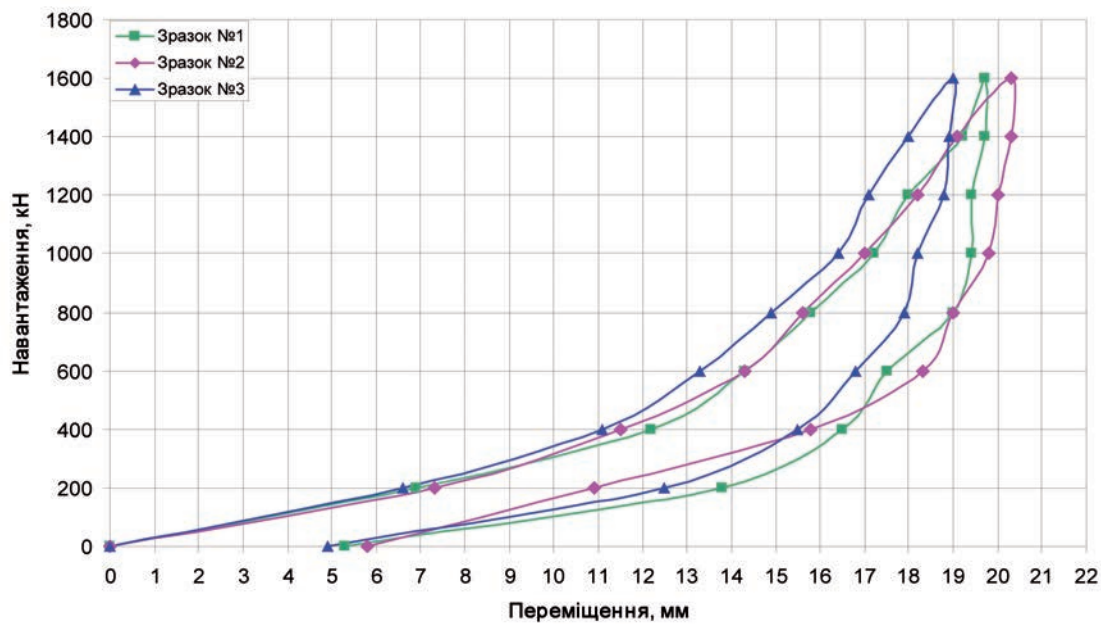


Рис. 4. Залежність вертикального переміщення від навантаження (до 1600 кН) гумових ізоляторів діаметром 340 мм (система віброзахисту від потягів залізниці 6, 10 та 13-поверхових секцій житлового будинку по вул. Під Дубом у м. Львів)

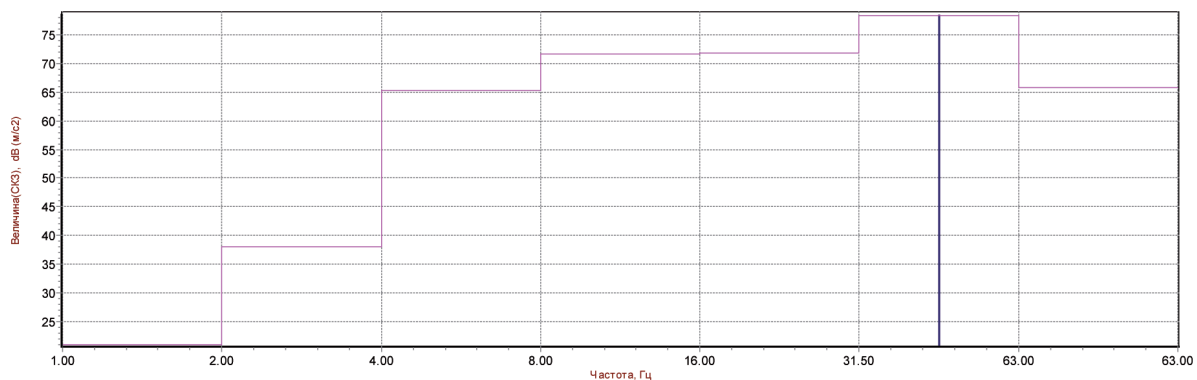


Рис. 5. Октавні спектри вертикальних віброприскорень перекриття (спектр 1 – датчик вібрації № 1 встановлено на перекритті 2 поверху секції 3; спектр 2 – датчик № 2 – на перекритті 2 поверху секції 1) при проїзді вантажного потягу (час запису о 13 год 54 хвилини 16.09.2017 р.)

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ВІБРООПОР БУДИНКІВ ТА СИСТЕМИ ВІБРОЗАХИСТУ

За результатами багаторічних експериментально – теоретичних досліджень [14, 17, 19] було запатентовано спосіб [18] і розроблено практичні рекомендації з влаштування системи віброзахисту 6, 10 та 13-поверхових житлових будинків в рівні підшви ростверку.

Схема системи віброзахисту будинку з гумовим віброізолятором діаметром 340 мм та товщиною 50 мм, який встановлюється на оголовку палі, приведена на рис. 8. Розрахункове вертикальне навантаження на ізолятор і палю дорівнює

800 кН. Слід відмітити, що випробування гумових ізоляторів товщиною 50 мм було виконано з максимальними навантаженнями до 3200 кН.

Для захисту конструкцій ростверку та підвалу будинків від горизонтальних та вертикальних коливань ґрунту було передбачено віброзахист ростверків та усіх зовнішніх стін підвалу до зворотної засипки ґрунту. Рекомендовано влаштування віброізоляції за допомогою податливого матеріалу (пінополістиролу щільністю 25...30 кг/м³ у вигляді плит товщиною 100 мм), що розміщується між усіма зовнішніми поверхнями фундаментної плити та стінами підземних поверхів і ґрунтом зворотної засипки.

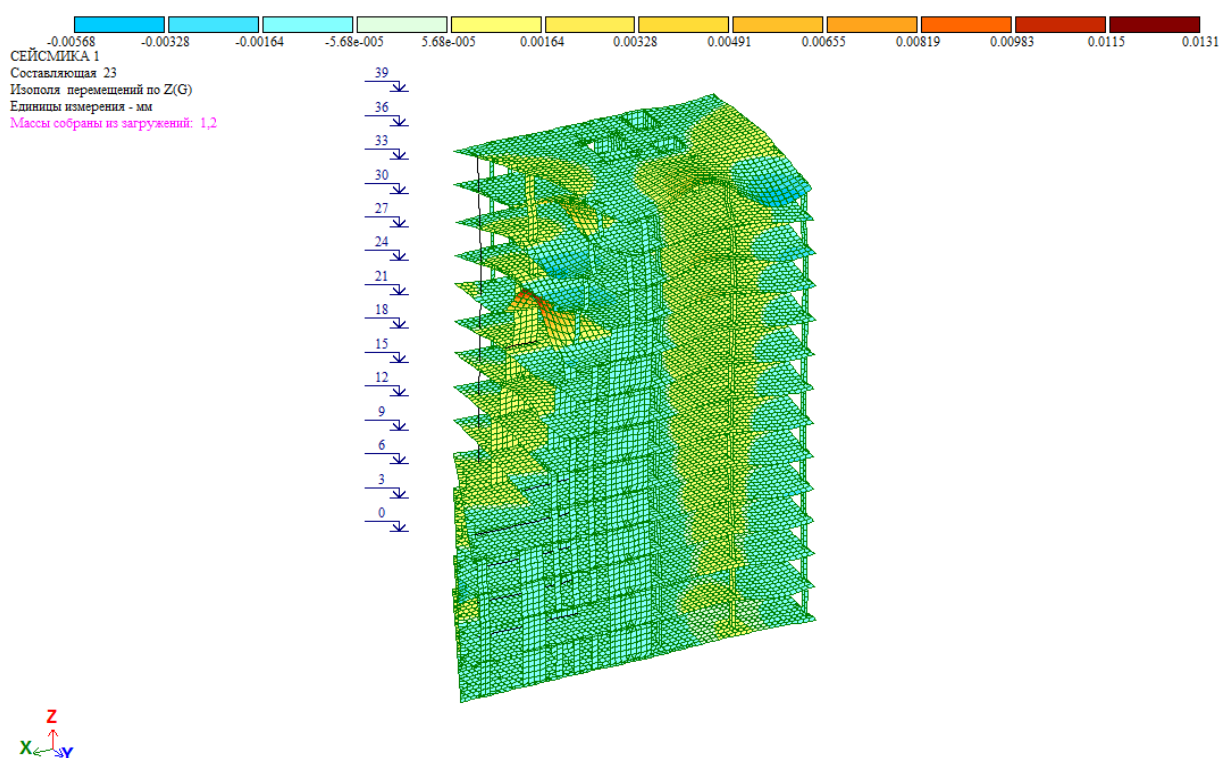


Рис. 6. Розрахункові вертикальні амплітуди переміщень перекриттів 13-поверхового будинку з системою віброзахисту при впливах вантажного потягу (23 форма коливань)

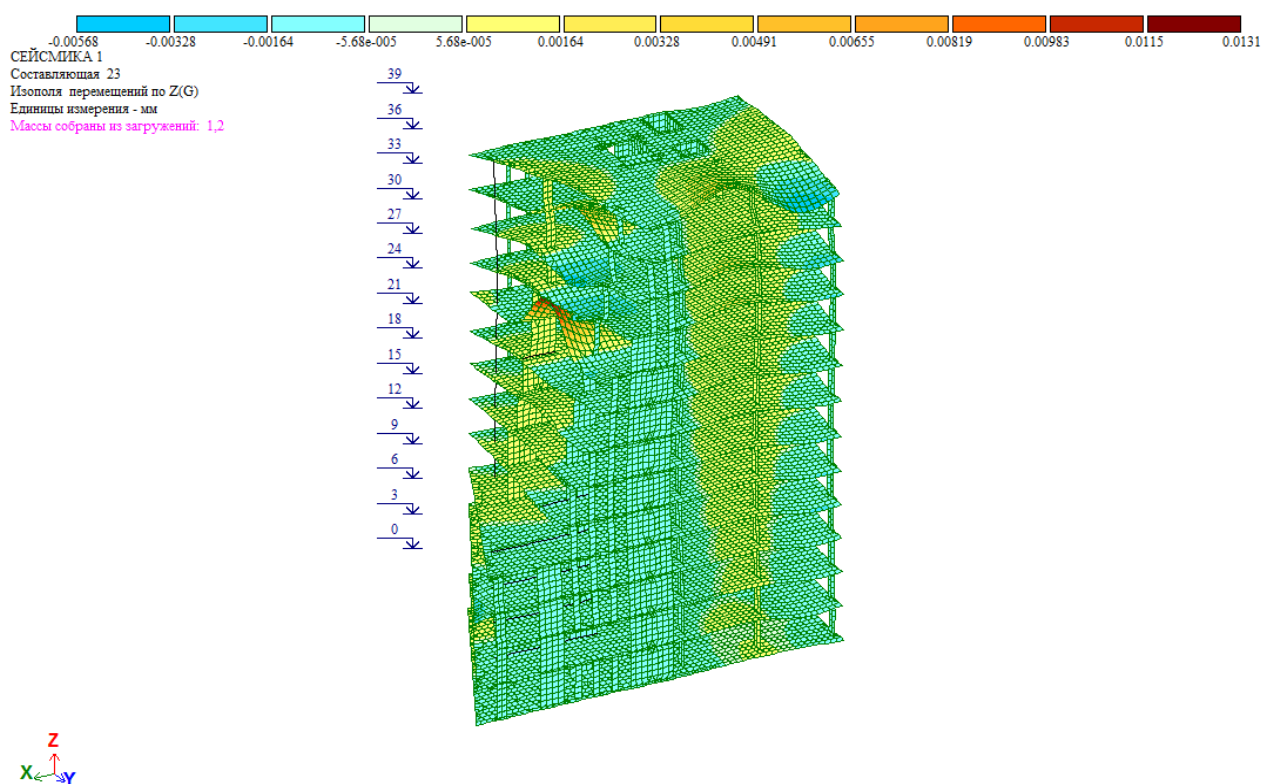


Рис. 7. Розрахункові вертикальні амплітуди переміщень перекриттів 13-поверхового будинку при відсутності віброзахисту при впливах вантажного потягу (39 форма коливань)



Таблиця 2. Результати розрахунків стійкості 13-поверхового будинку (секція 3) проти перекидання при сейсмічних навантаженнях інтенсивністю 6 балів

№ вузла	Моменти, що утримують, кНм.10 ⁻¹		Моменти, що перекидають, кНм.10 ⁻¹		Коефіцієнти стійкості	
	M_x	M_y	M_x	M_y	K_x	K_y
При сейсмічних впливах за напрямком Y						
1	64019	96912	921	13102	69.5	7.4
28	67762	137676	922	13188	73.5	10.4
71	71577	71126	871	13164	82.2	5.4
137	71577	96912	871	13102	82.2	7.4
При сейсмічних впливах за напрямком X						
1	64019	96912	11699	800	5.5	121.1
28	67762	137676	11697	927	5.8	148.5
71	71577	71126	11772	891	6.1	79.8

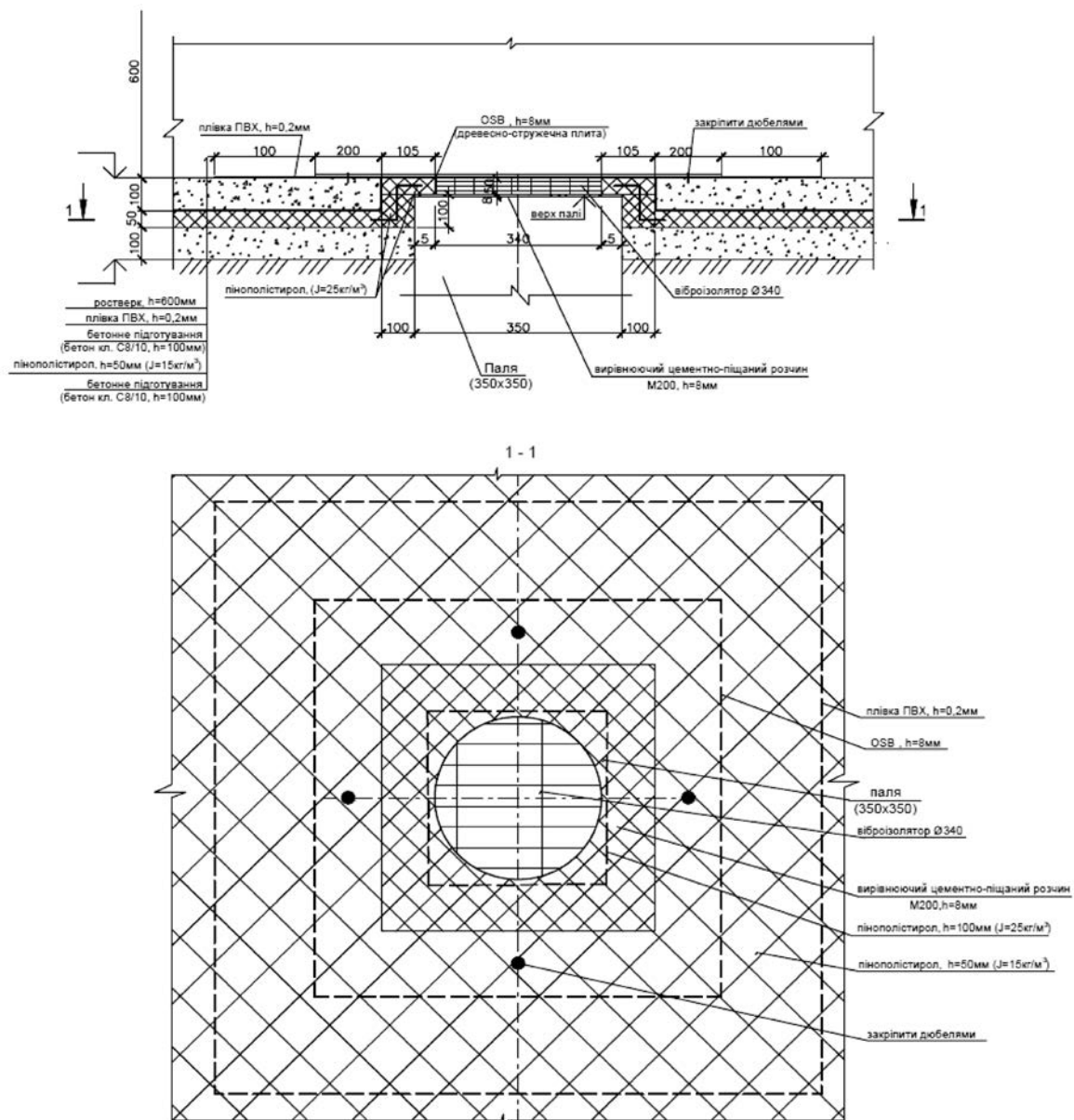


Рис. 8. Система віброзахисту житлового будинку в рівні пального ростверку з використанням гумових віброізоляторів



ВИСНОВКИ

1. Співставлення дослідних значень рівнів віброприскорень з допустимими показав, що при впливах потягів залізниці рівні вібрації ґрунту перевищують допустимі значення для житлових будинків [15, 16] на 6...12 дБ (від двох до чотирьох разів). Це підтверджує необхідність влаштування системи віброзахисту пальового ростверку та стін підвалу, що дозволить знизити рівні вібрації конструкцій і забезпечити комфортні умови проживання у будинках.
2. Виконані чисельні дослідження просторової моделі секцій будинку та розроблені рекомендації з влаштування системи віброзахисту запроектованого житлового будинку.
3. З метою забезпечення комфортних умов проживання у будинку розроблена схема застосування та порядок встановлення гумових віброізолюючих опор системи віброзахисту будинку в рівні пальового фундаменту. Розрахункова частота власних вертикальних коливань будинків на віброопорах дорівнює 3,8 - 4,7 Гц, що у 3...12 разів менше частот вимушених коливань ґрунту (15 - 80 Гц) при впливах потягів залізниці. Аналіз розрахункових даних показав, що при влаштуванні віброізоляції рівні вібрації перекриттів не перевищують допустимих за Санітарними нормами для житлових будинків [15, 16]. При відсутності віброзахисту будівлі розрахункові рівні вертикальних вібрацій перекриттів перевищують допустимі значення в 1,5...4 рази (від 2,9 дБ до 13,0 дБ).
4. При сейсмічних навантаженнях (визначались при 6 балах згідно [1] при значенні коефіцієнта $k_I = 1,0$) розрахункові коефіцієнти запасу проти перекидання секцій висотою 13, 10 та 6 поверхів дорівнюють від 5,4 до 16,5. При вітрових впливах коефіцієнти запасу дорівнюють від 101,6 до 196,6.
5. Обґрунтовані параметри гумових ізоляторів для віброзахисту 6, 10 та 13-поверхових секцій будинку. Виконані натурні випробування двох типів гумових віброізоляторів з зовнішнім діаметром 340 мм і товщиною 50 мм і 40 мм з доведенням максимального вертикального навантаження до 3200 кН. Середня жорсткість гумового ізолятора діаметром 340 мм та товщиною 50 мм на стиск (при розрахункових навантаженнях на палі до 800 кН) дорівнює $K_z = 67000$ кН/м; ізолятора товщиною 40 мм $K_z = 105000$ кН/м (при розрахункових навантаженнях на палі до 1200 кН).

6. За результатами експлуатації гумових віброізоляторів під час дії статичних та динамічних навантажень гарантійний строк експлуатації системи віброзахисту будинку не менше сімдесяти п'яти років. При цьому необхідно відмітити, що вологе середовище сприяє подовженню строку експлуатації гумових віброізоляторів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.1.1-12-2014 Будівництво у сейсмічних районах України. – Чинні від 2014-10-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2014. – VI, 110 с.
2. ДБН В.1.2.-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – Чинні від 2008-01-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2007. – II, 14 с.
3. Робочий проект. Багатоквартирний житловий будинок з вбудованими автостоянкою та громадськими приміщеннями по вул. Під Дубом, 26, № 2 по генплану. Архітектурні рішення. А-15-21-АР/2. ПП «АВР Девелопмент». – Львів, 2016.
4. Технічний звіт. Інженерно-геологічні вишукування на об'єкті: Багатоквартирний житловий будинок з вбудованими автостоянкою та громадськими приміщеннями по вул. Під Дубом, 26 у м. Львові. – ФОП С. Добриницький, 2015.
5. ПК «Лира», версія 9.4. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. академика АИН Украины А. С. Городецкого. – Киев – М., 2003. – 464 с.
6. ДСТУ ГОСТ 12.1.012-2008. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – Дата введения 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
7. ДБН В.1.2-14-2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Чинні від 2019-01-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – III, 30 с.
8. Руководство пользователя. «Сейсмониторинг». «Диатос», НТУ «КПИ», г. Киев, 2009.
9. ДБН В.2.1-10-2018 Основи та фундаменти споруд. – Чинні від 2019-01-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – IV, 36 с.
10. ДСТУ Б В.2.1-27:2010 Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. – Чинні від 2011-07-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – III, 11 с.



11. ДСТУ Б В.2.1-1-95 Грунти. Методи польових випробувань палями. – Чинні від 1996-01-01. – Київ: Укрархбудінформ, 1997. – IV, 58 с.
12. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – М., 1988.
13. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Чинні від 2011-06-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – II, 71 с.
14. Проектирование зданий с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости / [Ю.И. Немчинов, Н.Г. Марьенков, А.К. Хавкин, К.Н. Бабик. Под ред. Немчинова Ю.И.]. – Киев, 2012. – 384 с.
15. СН 1304-75 Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах. – М.: Минздрав СССР, 1975.
16. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій. – Чинні від 2018-09-01. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – IV, 179 с.
17. Булат А.Ф. Вибросейсмозащита тяжелых машин, зданий и сооружений с помощью резинометаллических блоков / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Н.И. Лисица [и др.] // Автоматизация производных процессов у машиностроения и приборостроения: Украинский міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: Львівська політехніка, 2011. – Вип. 45. – С. 460-464.
18. Пат. 117896 Україна. МПК: E04B 1/62 (2006.01), E04B 1/98 (2006.01), E04H 9/02 (2006.01). Спосіб шумо- і віброзахисту будівель і споруд від підземного та наземного залізничного і автомобільного транспорту / Дирда В.І., Бабік К.М., Калганков Є.В., Лисиця М.І., Мар'єнков М.Г., Немчинов Ю.І.; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.
19. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Lysytsya, M.I. & Grebenyuk, S.M. Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. Strength of Materials. – 2018. – N. 3 (50). – P. 387-395.

REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine. (2014). DBN V.1.1-12-2014 from 01st October 2014. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
2. Scientific and technical support of construction projects. (2007). DBN V.1.2.-5:2007 from 01st January 2008. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].

3. Apartment residential building with built-in parking area and public premises at 26 Pid Dubom St, № 2 in compliance with the development plan. Architectural solutions. A-15-21-AP/2. Working Design. (2016). Lviv: PE «AVR Development» [in Ukrainian].
4. Engineering and geological surveys at the site: Apartment residential building with built-in parking area and public premises at 26 Pid Dubom St, Lviv. Technical report. (2015). – Individual entrepreneur S.Dobrynetskyi [in Ukrainian].
5. Horodetskyi A.S. (Ed.) Theoretical reference book: SW «LIRA», version 9.4. Software package for structures calculation and design. (2003). K. – M. [in Russian].
6. Vibrationsafety.Generalrequirements.(1990). DSTU GOST 12.1.012-2008. OSSS from 01st July 1990. – M.: Standards Publishers [in Russian].
7. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works. (2018). DBN V.1.2-14-2018 from 01st January 2019. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
8. «Seismonitoring»: User's manual. (2009). «Diatos», NTU «KPI», K. [in Russian].
9. Bases and foundations of buildings and structures. (2018). DBN V.2.1-10-2018 from 01st January 2019. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
10. Ground and foundations structures. Pile. Calculation of bearing capacity on results of field tests. (2011). DSTU BV.2.1-27:2010 from 01st July 2011. – K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
11. Soils. Methods of field tests by piles. (1997). DSTU B V.2.1-1-95 from 01st January 1996. – K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
12. Foundations of machines with live load. (1988). SNiP 2.02.05-87. M. [in Russian].
13. Concrete and reinforced concrete structures. Basic principles. (2018.) DBN V.2.6-98:2009 from 01st June 2011. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
14. Nemchynov, Iu.I., Marienkov, N.H., Khavkin, A.K. & Babik, K.N. (2012). Designing buildings with a given level of seismic resistance. Iu.I. Nemchynov (Ed.). K. [in Russian].
15. Sanitary norms of permissible vibrations in residential buildings. (1975). SN 1304-75. M.: Minzdrav SSSR [in Russian].
16. Planning and development of territories. (2018). DBN V.2.2-12:2018 from 01st September 2018. K.: SE «Ukrarkhbuildinform» [in Ukrainian].
17. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Lysytsya, M.I. et al. (2011). Vibroseismic protection of



- heavy machines, buildings and structures using rubber-metal blocks. Automation of production processes in machine and instrument engineering industries: Ukrainian Interdepartmental Col. of Scientific and Technical Papers, Iss. 45, 460-464. Lviv: Lviv polytechnic [in Ukrainian].
18. Dyrda, V.I., Babik, K.M., Kalhankov, Ye.V., Lysytsya, M.I., Marienkov, M.H. & Nemchynov Iu.I. (2017). The method of the buildings and structures noise and vibration protection against underground and surface rail and road transport. Pat. 117896 of Ukraine. IPC: E04B 1/62 (2006.01), E04B 1/98 (2006.01), E04H 9/02 (2006.01), publ. 10.07.2017. Official Bul., № 13 [in Ukrainian].
 19. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Lysytsya, M.I. & Grebenyuk, S.M. (2018). Numerical Simulation of the Stress-Strain State of Thin-Layer Rubber-Metal Vibration Absorber Elements Under Nonlinear Deformation. Strength of Materials, 3 (50), 387-395.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2018 р.