

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ПРУЖНОЇ ГУМО-КОРДНОЇ АМОРТИЗАЦІЙНОЇ ПРОКЛАДКИ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Вступ. Експлуатація будівельних конструкцій часто супроводжується динамічними навантаженнями різної природи, які здатні викликати вібрації. Динамічний вплив на будівельні конструкції може мати сейсмічну природу, або бути викликаний наявністю (близьким розташуванням) до штучних джерел підвищеної вібрації, наприклад в спеціалізованих промислових будівлях (фундаменти та корпуси турбін, іншого габаритного вібраційного обладнання) або в транспортних спорудах (мости, естакади). Крім того близьке розташування навіть не спеціалізованих будівель до джерел вібрацій (споруди в районі залізничних колій, метро тощо) може призводити до виникнення в даних конструкцій небажаних високих рівнів вібрацій.

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є застосування амортизаційних прокладок, як прошарків між несучими елементами конструкцій та джерелом можливої вібрації, що дозволяє частково ізолювати та загасити динамічний вплив. В сучасній практиці в якості таких елементів застосовують гумові [1] та багатошарові гумово-сталеві прокладки [2–4], а також багатошарові гумові прокладки, що посилені наявністю внутрішнього жорсткого корду [4–6]. Очевидно, що забезпечення мінімальної передачі вібраційного впливу на будівельні споруди є важливою практичною задачею, яка дозволить підвищити довговічність конструкцій та зберегти кошти, що витрачаються на їх ремонт під час експлуатації.

Таким чином, актуальними є дослідження, що спрямовані на визначення характеристик гумової амортизаційної прокладки та формування обґрунтованих рекомендацій, щодо їх внутрішньої композитної будови, з точки зору підвищення амортизаційних властивостей.

Постановка задачі. В даній роботі досліджується композитний багатошаро-

вий амортизаційний елемент, що складається з гуми та має шари посилені текстильним армуванням. На рис. 1 представлено ескізне креслення даного елемента, а також фотографія натурального зразку.

Об'єктом який досліджувався була тривимірна конструкція, яка складалась з трьох елементів: верхній жорсткий шар (бетон), проміжний шар – гумокордна амортизаційна прокладка, нижній шар – тверда основа (бетон). Проводились дослідження, щодо формування сумарної динамічної реакції, яка виникає в жорсткій основі при дії імпульсного навантаження на протилежній частині конструкції.

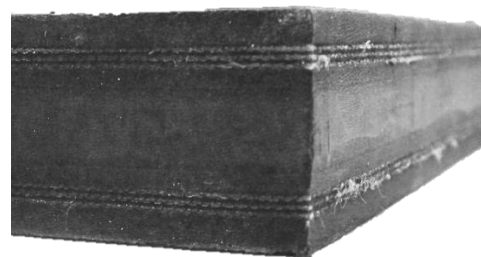
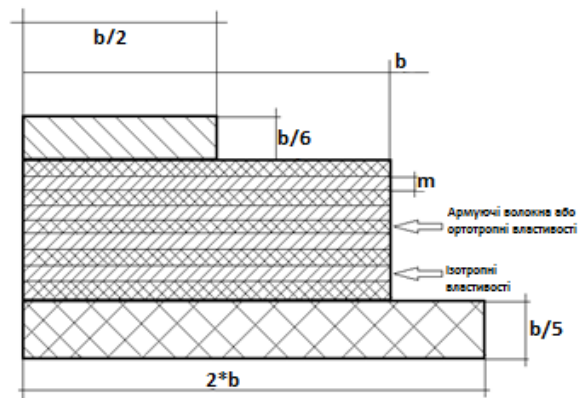


Рис. 1. Схематичне подання та фотографія конструкції гумової композитної амортизаційної прокладки

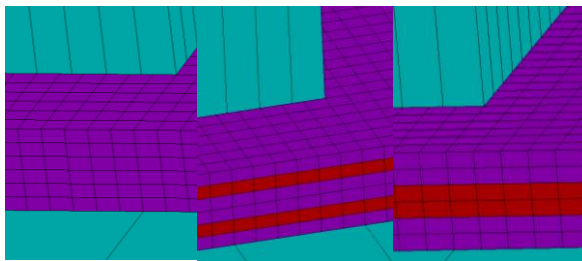
В роботі розглядалось три варіанти внутрішньої будови амортизаційної прокладки:

1. виконана з суцільної гуми (варіант 1);
2. прокладка має шари, що посилені текстильним кордом та які розташовані

симетрично по зовнішнім частинам прокладки (варіант 2);

3. прокладка має шари, що посилені текстильним кордом та які розташовані в середині прокладки (варіант 3).

Розрахунки проводились, на основі тривимірного комп'ютерного моделювання за допомогою методу скінчених елементів. На рис. 2. наведені розрахункові моделі, відповідно до варіантів внутрішньої будови амортизаційної прокладки, що розглядались в роботі.



(варіант 1) (варіант 2) (варіант 3)
Рис. 2. Варіанти конструкції, що розглядаються в роботі

Експериментальне визначення характеристик матеріалів амортизаційної прокладки. З літератури відомо, що рівні динамічного впливу, які можуть діяти на будівельні конструкції здатні призводити до суттєвих рівнів деформацій в гумових елементах амортизаційних прокладок [2, 7, 8] і в такому випадку моделювання процесів деформування гумових елементів необхідно проводити в нелінійній постановці з використанням відповідних моделей гіпер-в'язко-пружності. Для оцінки можливої поведінки гумової суміш, що використовується в амортизаційних прокладках було проведено експериментальні випробування.

Дослідження статичної міцності та визначення кривих деформування проводилось із використанням спеціалізованого вимірювального комплексу Zwick/Roell Z100 та синхронізованого з ним спеціалізованого програмного забезпечення testXpert II. Для досліджень було використано зразки геометрія яких відповідає вимогам стандартів, щодо механічних випробувань гумоподібних матеріалів ISO 527 1BA.

Зразки жорстко фіксувались у механічних затискачах, як показано на рис. 3. Задавалось жорстке навантаження, тобто задавались фіксовані значення деформації зразку, при цьому вимірювалось зусилля, що виникає у нижньому затискачі (використовувався стандартний сенсор даної машини із максимально можливим зусиллям у 10 кН ± 0.01 Н).

Навантаження прикладалось квазістатично із швидкістю завдання деформації 100 %/хв. Результати автоматично фіксувались по кожному тесту в реальному часі та з частотою запису 0.1 сек. Кожен експеримент проводився, щонайменше 3 рази з метою отримання статистичних показників, а також для перевірки на повторюваність результатів.

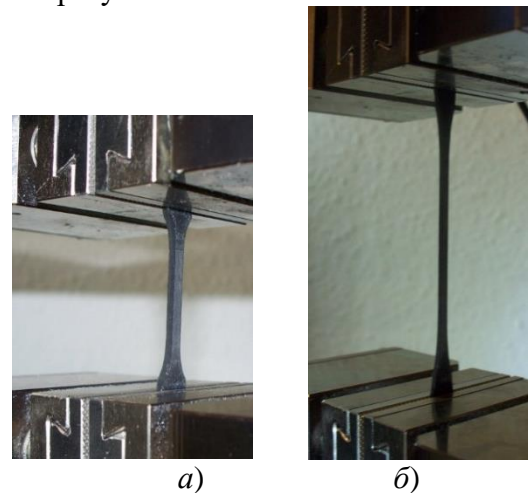


Рис. 3. Експериментальні випробування зразків гуми на розтяг
а) до початку експерименту; б) – зразок, який отримав розтяг на 25%

На рис. 4 наведено результати експериментальних випробувань на розтяг гумового зразку. Навантаження прикладалось на розтяг з амплітудою до 25% деформацій, а потім знімалось (швидкість навантаження та розвантаження було однаковою).

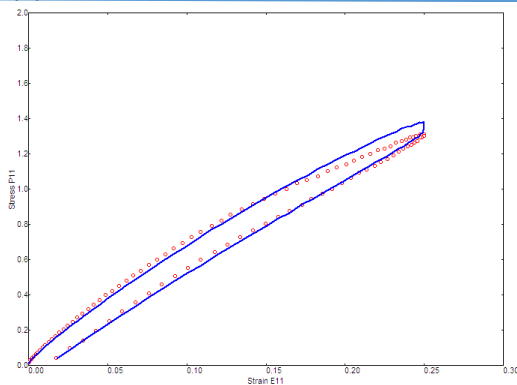


Рис. 4. Крива деформування гумової суміші амортизаційної прокладки

Для апроксимації отриманих експериментальних даних було використано нелінійну модель в'язко-пружності – Бергштром-Бойса. Константи апроксимації, які було визначено за допомогою методу найменших квадратів, представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри моделі Бергштром – Бойса для гуми

μ_0 , МПа	N_0	γ_0/τ^m	c	m
2.155	22.1	605.8	-0.11	2.4
μ_1 , МПа	N_1			
1762.89	13			

Аналогічні випробування було проведено із зразком композитного матеріалу. Зразки таких самих розмірів випробувались в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Враховуючи, що амплітуди деформацій в цьому випадку є значно меншими, а поведінка матеріалу майже лінійна, то доцільно для апроксимації кривих деформації застосувати узагальнений закон Гука, який дозволяє врахувати наявність суттєвої ортотропії у даного матеріалу. Для завдання ортотропних властивостей матеріалу в тривимірній скінчено-елементній постановці необхідно знати 9 незалежних констант: тири модуля пружності, три модуля зсуву та три коефіцієнта Пуассона. Експериментально було визначено лише два модуля пружності, решта констант була довизначена з міркувань симетрії матеріалу, а також з використанням додаткових теоретичних розрахунків, що було проведено автором в попередніх роботах [9]. Відповідні характеристики ортотропного матеріалу гумо-кордного шару

амортизаційної прокладки представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Властивості матеріалів гумо-кордних шарів амортизаційної прокладки

Модуль пружності, МПа		
E_x	E_y	E_z
11.8	11.8	43.8
Коефіцієнт Пуассона		
ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
0.44	0.0012	0.0012
Модуль зсуву, МПа		
G_{xy}	G_{yz}	G_{xz}
9.9	9.9	3.3

Комп'ютерне моделювання в'язко-пружного деформування гумо-кордної амортизаційної прокладки при імпульсному збудженні. В рамках даної роботи було побудовано тривимірні скінчено-елементні моделі. Для моделювання було використано умови симетрії і таким чином моделювалось $\frac{1}{4}$ частину амортизаційної прокладки, яка затиснута з двох сторін жорсткими тілами. Основа («нижнє» тіло) було жорстко зафіксовано по всім ступеням вільності, протилежне тіло було обмежене до можливості відтворювати лише вертикальні рухи. Навантаження прикладались на «верхнє» тіло як імпульс рівномірно розповсюдженого тиску за 0,5 мсек з амплітудою 10 МПа.

Для розрахунків використовувалась схема явного інтегрування в часі методом Ньютона-Рафсона. Визначення характеристик деформування проводилось на основі методу скінчених елементів з використанням тривимірних 8-вузлових гексадральних скінчених елементів в нелінійній постановці, що враховує лінійну ортотропію композитних шарів та нелінійну в'язко-пружну поведінку гумових шарів відповідно до моделі Бергштром-Бойса.

Результати розрахунків для трьох варіантів (див. рис. 2) представлені на рис. 7 та рис. 8. Так на рис. 7 наведені переміщення зовнішнього тіла (на яке прикладались навантаження), що збуджуються внаслідок дії імпульсу

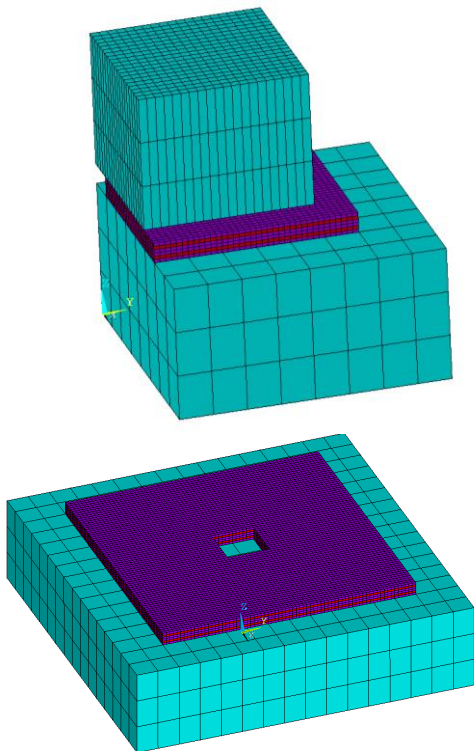
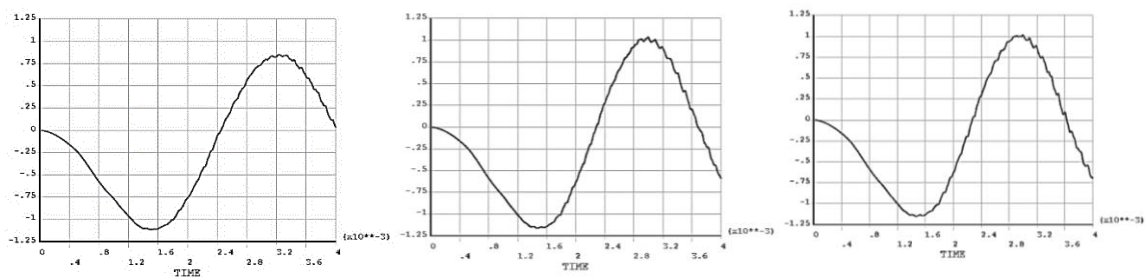


Рис. 6. Скінчено-елементні моделі

Аналіз результатів показує, що перші пікові амплітуди переміщень є однаковими в усіх варіантах конструктивного виконання амортизаційної прокладки, разом із тим амплітудні значення наступного піку відрізняються в межах 15% і є меншими для 1-го варіанту конструкції.

Передачі вібрацій від однієї частини конструкції до іншої відбувається через силову взаємодію, тобто аналіз віброізоляційних властивостей прокладки слід проводити по рівням динамічних реакцій, що виникають в зафіксовані основі при динамічному збудженні рухомої частини конструкції. Для даного аналізу було визначено сумарні вертикальні динамічні реакції основи, які було отримано в розрахунках (рис. 8).

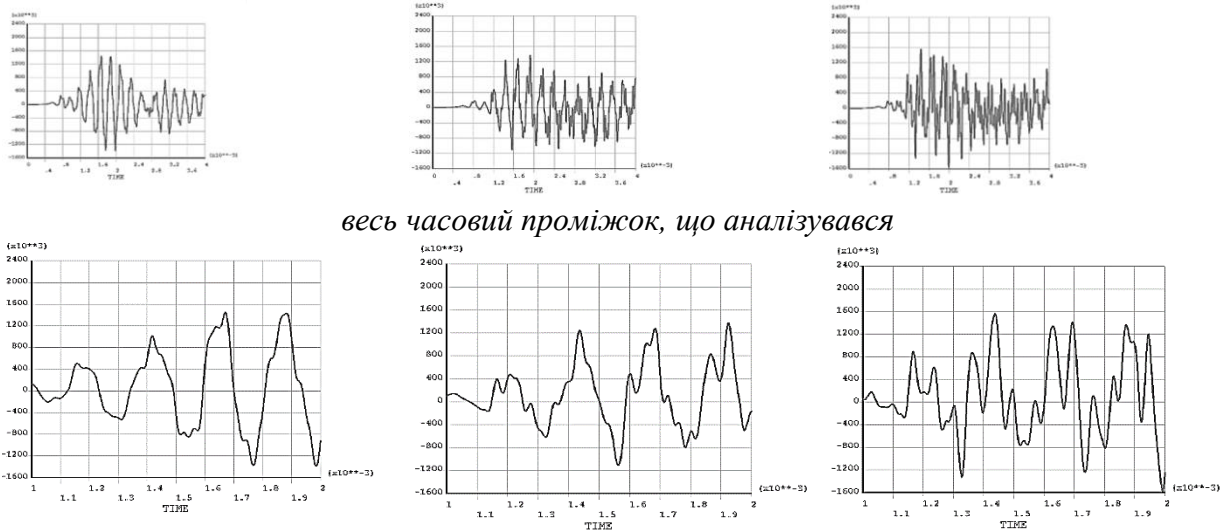


(варіант 1)

(варіант 2)

(варіант 3)

Рис. 7. Результати розрахунків відгуку системи на імпульсне збудження



весь часовий проміжок, що аналізувався

(варіант 1)

(варіант 2)

(варіант 3)

Рис. 8. Сумарні вертикальні динамічні реакції основи при імпульсному збудженні

Аналіз отриманих результатів показує, що 2-ий та 3-ій варіанти конструкцій призводять до більш високої частотної частоти реалізації динамічних реакцій в основі. Порівняння амплітуд пікових значень показує, що 2-ий варіант конструкції має на 15% менші значення в порівнянні до 1-го в той час як 3-ій варіант на 7% більші значення.

Висновки. В статті представлено результати чисельних розрахунків, щодо виникнення динамічних реакцій в основі, що виникають при імпульсному збудженні рухомої частини конструкції, яка встановлена на основі через гумо-кордну амортизаційну прокладку. Розглянуто три варіанти конструктивного виконання даної прокладки та показано, що з точки зору пікових значень динамічної реакції на імпульсне збудження варіант внутрішньої будови прокладки з наявністю двох симетрично розташованими шарів текстильного корду по периферії прокладки забезпечує на 15% кращі значення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Gjorgjiev I. A polynomial analytical model of rubber bearings based on series of tests / I. Gjorgjiev, M. Garevski // *Engineering Structures*, 2013. – Vol. 56. – Pp. 600–609.
2. Islam A. B. M. S. Nonlinear dynamically automated excursions for rubber-steel bearing isolation in multi-storey construction / A. B. M. S. Islam, R. R. Hussain, M. Z. Jumaat, M. A. Rahman // *Automation in Construction*, 2013. – Vol. 30. – Pp. 265–275.
3. Zordan T. Improved equivalent viscous damping model for base-isolated structures with lead rubber bearings / T. Zordan, T. Liu, B. Briseghella, Q. Zhang // *Engineering Structures*, 2014. – Vol. 75. – Pp. 340–352.
4. Mordini A. An innovative earthquake isolation system using fibre reinforced rubber bearings / A. Mordini, A. Strauss // *Engineering Structures*, 2008. – Vol. 30(10). – P. 2739–2751
5. Spizzuoco M. Innovative low-cost recycled rubber–fiber reinforced isolator: experimental tests and finite element analyses / M. Spizzuoco, A. Calabrese, G. Serino // *Engineering Structures*, 2014. – Vol. 76. – Pp. 99 – 111.
6. Strauss A. Experimental investigations of fiber and steel reinforced elastomeric bearings: shear modulus and damping coefficient / A. Strauss, E. Apostolidi, T. Zimmermann[et al.] // *Engineering Structures*, 2014. – Vol. 75. – Pp. 402–413.
7. Polukoshko S. Vibration damping using laminated elastomeric structures / S. Polukoshko, V. Gonca, J. Svabs // *Solid State Phenomena*, 2015. — Vol. 220-221. — P. 81–90.
8. Gonca V. Analytical and experimental research of compressive stiffness for laminated elastomeric structures / V. Gonca, S. Polukoshko, A. Boyko // *Procedia Engineering*, 2014. – Vol. 69. – Pp. 1388–1396.
9. Larin O. Two-scale approach to modelling of pneumatic tyres / O. Larin, Yu. Petrova, V. Mateichyk // *Systems and means of motor transport. Selected problems. – Monographia № 4. Seria: Transport. – Rzeszow: Politechnika Pzeszowska im. I. Lukasiewicza*, 2013. – Pp. 123-128