



ДИРДА

Віталій Ілларіонович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу механіки еластомерних конструкцій гірничих машин Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА ВІБРОЗАХИСТ ВАЖКИХ ГІРНИЧИХ МАШИН

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 23 жовтня 2019 року

У доповіді розглянуто напрями фундаментальних і прикладних досліджень у галузі механіки пружно-спадкових середовищ та впровадження отриманих результатів у будівельній галузі та гірничовидобувній промисловості. Дослідження систем вібросейсмосахисту є актуальними з огляду на те, що розробки в цій галузі спрямовані на зменшення природних і техногенних навантажень на будівлі й споруди, а також на підвищення віброзахисту важких гірничих машин.

Високошановний Борисе Євгеновичу!
Шановні учасники зібрання!

У своїй доповіді я розповім про роботи, які виконувалися в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України у співпраці з ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ) та низкою вітчизняних промислових підприємств.

За даними ЮНЕСКО, жертвами сильних і катастрофічних землетрусів на планеті щороку стають від 15 до 30 тис. чоловік. Лише за останні 60 років унаслідок землетрусів загинуло близько 1,5 млн осіб, а економічні збитки сягають понад 990 млрд доларів США. Історичний аналіз руйнівних землетрусів за останні 100 років, проведений Національним інформаційним центром землетрусів (NEIC) при Геологічній службі США, свідчить про те, що на Землі щороку відбувається в середньому 120 сильних землетрусів (магнітудою 6,0–6,9), 18 – дуже сильних (магнітудою 7,0–7,9) і приблизно раз на рік трапляється катастрофічний землетрус (магнітудою понад 8,0). У таблиці наведено перелік руйнівних землетрусів, які сталися у світі впродовж останнього року (з вересня 2018 р. по вересень 2019 р.).

З проблемою сейсмоізоляції будівель та споруд людство зіткнулося ще на початку розвитку цивілізації і протягом ти-

сячолить намагалося знайти рішення. Мабуть, найстарішою сейсмоізолюваною будівлею, яка збереглася до наших днів, є усипальниця перського царя Кира II Великого (VI ст. до н.е.), розташована на території сучасного Ірану. Верхня частина мавзолею відокремлена від постаменту сейсмоізолюючим шаром — сумішшю піску та попелу. У зводі законів Хаммурапі, одному зі збережених законодавчих кодексів стародавнього Вавилону (1750 р. до н.е.), є § 228, який регламентує будівництво і вказує на наслідки для будівельника, якщо він виконає свою роботу неякісно і будівля завалиться.

Генеральний секретар ООН Антоніу Гутереш на відкритті саміту з питань клімату, який відбувся наприкінці вересня 2019 р. в Нью-

Руйнівні землетруси за період з вересня 2018 р. по вересень 2019 р.

Країна	Дата	Магнітуда
Японія	06.09.2018	6,7
Аргентина	29.10.2018	6,3
США (Аляска)	30.11.2018	7,0
Китай	16.12.2018	5,4
Іран	06.01.2019	5,8
Китай	28.03.2019	5,3
Японія	10.05.2019	6,3
Перу	26.05.2019	8,0
РФ (Сахалін)	08.06.2019	4,5
Нова Зеландія	16.06.2019	7,2
Японія	18.06.2019	6,8
Франція	21.06.2019	5,1
Польща	01.07.2019	2,7
Киргизія	05.07.2019	5,7
США (Каліфорнія)	06.07.2019	7,1
Індонезія	16.07.2019	5,7
Греція (Афіни)	19.07.2019	5,1
Греція (о. Крит)	31.07.2019	5,2
Албанія	21.09.2019	5,8
Пакистан	24.09.2019	5,6
Туреччина (Стамбул)	26.09.2019	5,6
Індонезія	28.09.2019	5,6
Філіппіни	28.09.2019	5,4
Україна (Закарпаття)	28.09.2019	2,0

Йорку, акцентував увагу на швидкому настанні негативних наслідків кліматичних змін. «Природа по всьому світу з люттю завдає удару у відповідь, і ми маємо бути готовими до будь-яких несподіванок», — заявив він, нагадавши, що останні п'ять років і, зокрема, липень поточного року стали найспекотнішим періодом в історії. Папа Римський Франциск у своєму зверненні до учасників саміту ООН підкреслив, що зміни клімату нерозривно пов'язані з проблемами занепаду етики, моралі, духу рівності і соціальної справедливості, назвавши це «одним з найсерйозніших і найтривожніших явищ нашого часу».

Наслідки руйнівних землетрусів стають дедалі тяжчими, а соціальні та матеріальні збитки набувають глобальних масштабів. Насамперед це пов'язано зі збільшенням техногенного навантаження на довкілля, через що навіть невеликі землетруси можуть призвести до значних руйнувань і серйозних технологічних аварій.

Як приклад наведу дані щодо людських жертв та економічних збитків лише від окремих потужних землетрусів, що сталися за останні роки.

Землетрус на Гаїті 12 січня 2010 р. магнітудою 7,0; оцінки кількості загиблих коливаються від 100 до 250 тис. осіб, 300 тис. поранених, понад 1 млн людей залишилися без даху над головою, 3 млн — без питної води та їжі. За оцінками уряду країни, 250 тис. житлових будинків і 30 тис. комерційних споруд було зруйновано або серйозно пошкоджено.

Землетрус у Чилі 27 лютого 2010 р. магнітудою 8,8; 525 людей загинули, 25 осіб зникли безвісти, близько 9% населення в постраждалих регіонах втратили свої будинки, економічні збитки оцінюються в 15–30 млрд дол. США. Землетрус спричинив цунамі, яке зруйнувало кілька прибережних міст.

Землетрус в Японії біля східного узбережжя о. Хонсю 11 березня 2011 р. магнітудою 9,0–9,1; загинуло 15 898 чоловік, поранено — 6 157, зникло безвісти — 2531 особа, економічні збитки оцінено в 235 млрд дол. США. Землетрус супроводжувався потужним цунамі, що спричинило аварію на АЕС «Фукусіма»; понад

300 тис. будівель було зруйновано, близько 700 тис. — частково пошкоджено.

Землетрус на Філіппінах 15 жовтня 2013 р. магнітудою 7,2; загинуло 222 особи, поранено — 976, зникло безвісти — 8 людей. Землетрус супроводжувався численними афтершоками, з яких 6 були магнітудою 5,0–5,5, спричинив масштабні зсуви ґрунту і повені, близько 350 тис. чоловік втратили свої домівки.

Землетрус у Непалі 25 квітня 2015 р. магнітудою 7,8; загинуло 8 964 особи, поранено — 21 952, майже 3,5 млн людей залишилися без даху над головою; економічні збитки оцінено в 10 млрд дол. США, що становить приблизно половину номінального ВВП країни. Землетрус супроводжувався серією потужних афтершоків (найбільший, магнітудою 7,3, стався 12 травня) і спричинив сходження лавин.

Землетрус на о. Сулавесі в Індонезії 28 вересня 2018 р. магнітудою 7,5; загинуло 4340 чоловік, поранено — 10 679, зникло безвісти — 667 людей; пошкоджено понад 70 тис. будинків. Землетрус супроводжувався потужним цунамі і спричинив масштабні зсуви ґрунту та сходження селевих потоків.

Україна входить у зону сейсмічного ризику: небезпечні території охоплюють близько 120 тис. км² (20% території країни), на яких проживає 10,9 млн осіб, що становить 22% загальної кількості населення. У цих сейсмонезбезпечних районах є ймовірність виникнення землетрусів з інтенсивністю від 6 до 9 балів за шкалою MSK-64. У зоні, де можливі 6-бальні землетруси, мешкає 7,98 млн чоловік (15,5% населення), у 7-бальній зоні — 2,23 млн чоловік (4,3% населення), у 8–9-бальній зоні — 0,79 млн осіб (1,5% населення).

За останні сто років найбільш руйнівний землетрус стався в Криму в 1927 р. Перший поштовх магнітудою 6,0 було зафіксовано на Південному березі Криму 26 червня, але він не спричинив жертв чи будь-яких помітних руйнувань. Другий землетрус магнітудою 6,7 стався 12 вересня і мав більш серйозні наслідки: 3 особи загинули, 65 зазнали поранень, було пошкоджено багато будівель, у горах трапилися зсуви. Слід також згадати землетрус

4 березня 1977 р., епіцентр якого з магнітудою 7,2 знаходився в Румунії у зоні Вранча, але поштовхи відчувалися по всій території України. Останній землетрус магнітудою 2,0 було зафіксовано у вересні 2019 р. на Закарпатті.

До сейсмічно небезпечних районів України належать територія Автономної Республіки Крим, частина Одеської і Чернівецької областей, Карпатський регіон, Кіровоградська, Вінницька, Львівська, Тернопільська області і деякі райони Донбасу. Найбільшу загрозу для України становлять вогнища підкорових землетрусів у сейсмоактивній зоні Вранча та локальні неглибокі землетруси Криму, Закарпаття і Передкарпаття.

Крім природних землетрусів в Україні також трапляються землетруси техногенного походження. Так, у Криворізькому басейні в районах інтенсивного видобутку корисних копалин практикують вибухи, що спричинюють локальні землетруси і активізують такі небезпечні природно-техногенні процеси, як зсуви, обвали порід, гірські удари тощо. Найсильніший із криворізьких землетрусів магнітудою 4,9 стався 7 травня 2008 р.

Отже, землетруси нерідко призводять до руйнування житлових будівель та промислових споруд. Останнім часом у різних країнах світу все більше уваги приділяють сейсμοзахисту будівель, одним з найефективніших засобів якого є сейсмоізоляція. Цей вид сейсμοзахисту найбільш інтенсивно розвивається в Японії, Китаї, США, Новій Зеландії, Італії, Росії та інших країнах. Наприклад, в Японії після руйнівного землетрусу в Кобе 1995 р. було побудовано понад 1000 сейсмоізольованих будівель та мостів. В Україні, на жаль, цей напрям розвивається поки що недостатніми темпами.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України займається проблемою вібросейсμοзахисту будівель та споруд починаючи з 2002 р., і далі я розповім про наші нові розробки в галузі створення методів та способів захисту будівель і споруд від дії природних та техногенних динамічних впливів.

Спільно з Державним науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій було роз-

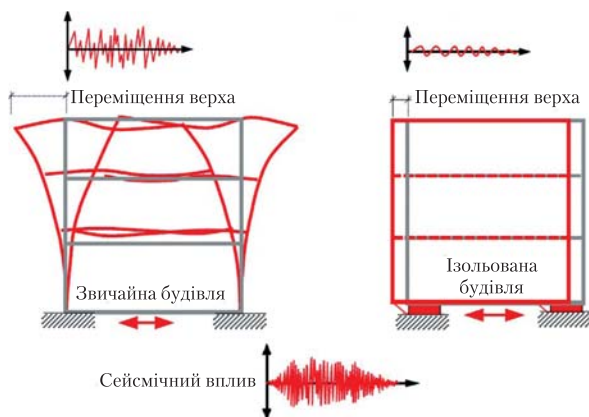


Рис. 1. Відмінність у поведінці під дією сейсмічного впливу звичайних і сейсмоізованих будівельних конструкцій

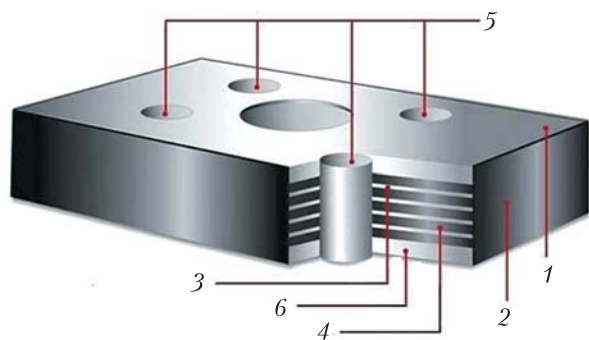


Рис. 2. Загальний вигляд гумометалевих сейсмоізовлюючих опор: 1 – верхня плита; 2 – гумове покриття; 3 – сталеві пластини; 4 – шари гуми; 5 – свинцеві осердя; 6 – нижня плита

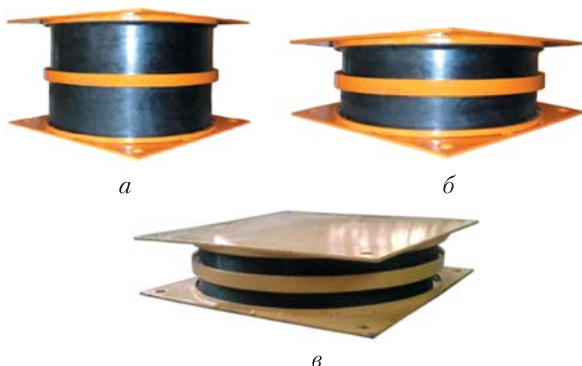


Рис. 3. Експериментальні зразки конструкцій сейсмозахисних блоків: а – 1-й тип (2×120 мм, діаметр 400 мм); б – 2-й тип (2×70 мм, діаметр 400 мм); в – 3-й тип (2×50 мм, діаметр 480 і 500 мм)

роблено національні нормативні документи, зокрема ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України», гармонізовані з європейськими стандартами, насамперед з Єврокодом 8 «Проектування сейсмостійких конструкцій» (EN 1998-1:2004 Eurocode 8), що передбачають проектування сейсмостійких конструкцій із заданим рівнем забезпечення безпеки і містять розділ «Проектування систем сейсмоізоляції». Крім того, створено оригінальні системи сейсмо- та віброзахисту.

Сейсмічний захист – це підвищення сейсмостійкості будівель та споруд з використанням спеціальних конструктивних елементів для посилення здатності протистояти розрахунковому сейсмічному впливу без повного руйнування і з мінімальними людськими жертвами. Сейсмічний захист дозволяє:

- забезпечити збереження будівель і споруд при землетрусах і техногенних впливах;
- знизити кошторисну вартість будівництва; зменшити матеріаломісткість будівель і споруд;
- знизити трудомісткість будівництва;
- розширити сферу застосування типових серій шляхом забудови районів з підвищеною сейсмічністю, збільшити висоту будівлі при використанні тих самих конструкцій.

Для сейсмічного захисту будівель та споруд використовують спеціальні сейсмовіброізолятори – еластомерні елементи, які встановлюють між фундаментною плитою і стінами будинку підвального поверху. Звичайна будівля і сейсмоізована будівля при сейсмічному навантаженні демонструють різну поведінку (рис. 1). Основна відмінність між ними полягає у відносних горизонтальних переміщеннях перекриттів верхніх поверхів унаслідок дії землетрусу – для сейсмоізованих будівель вони значно менші.

Найпоширеніші стаціонарні системи пасивної сейсмоізоляції об'єктів – це гумометалеві сейсмоізовлюючі опори (рис. 2). Гумометалева опора складається з багатошарової вулканізованої гуми і сталевих пластин. Для поліпшення демпфівувальних властивостей як матеріал для осердя використовують свинець. Такі опо-

ри зі свинцевим осердям комплексно виконують три функції: приймають на себе вертикальне навантаження, забезпечують горизонтальну піддатливість і гістерезисне загасання.

Ми розробили сейсмовіброізолятори — гумовошаруваті сейсмозахисні блоки зі спеціальних марок еластомерів для 10- та 27-поверхових будівель (рис. 3). Лабораторні випробування зразків проводили в нашому Інституті, а також у Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій. Приклад запису динамічних коливань імітаційного блока на еластомерних елементах наведено на рис. 4.

Експериментальні випробування еластомерних елементів на стиск проводилися на спеціальних стендах. Приклад отриманих експериментальних залежностей навантаження—переміщення показано на рис. 5. Результати випробувань засвідчили важливу роль, яку відіграє свинцеве осердя, підвищуючи жорсткість і дисипацію енергії. Конструкцію розроблених еластомерних елементів захищено патентом.

Результати експериментальних випробувань було використано для динамічного розрахунку будівель і корекції фізико-механічних властивостей еластомерних сейсмовіброізоляторів.

В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України було проведено також теоретичні дослідження. Розв'язок нелінійної задачі осадки суцільного циліндра з урахуванням особливостей посилення на торцях було знайдено чисельним методом Рунге—Кутта четвертого порядку точності. Для цього необхідно було розв'язати задачу Коші за певних граничних умов. В результаті було отримано значення осадки сейсмоізолятора, яке добре збігається з експериментальними даними. Задачу було також реалізовано на основі моментної схеми скінченних елементів у рамках обчислювального комплексу MIRELA+. В результаті розроблено методику розрахунку параметрів вібросейсморобоків при одновісних лінійних та нелінійних деформаціях для випадків, коли є достовірні експериментальні дані.

Разом з фахівцями Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій

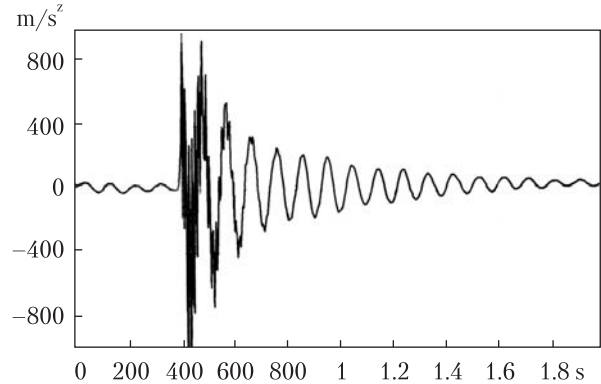


Рис. 4. Приклад запису коливань у вертикальній площині залізобетонного блока на чотирьох гумометалевих сейсмоізолюючих опорах

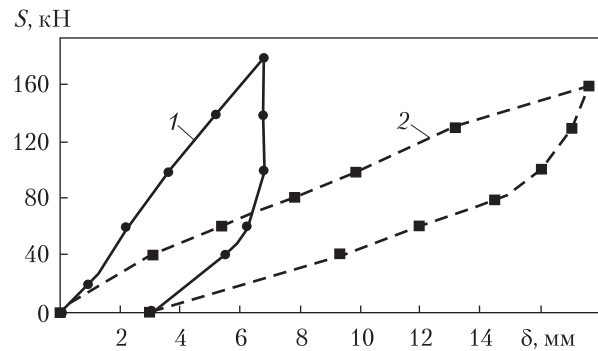


Рис. 5. Приклад отриманої експериментальної залежності горизонтальне навантаження — переміщення для гумометалевого сейсмоізолюючого блока діаметром 500 мм

ми розробили рекомендації щодо конструктивних рішень системи вібросейсмозахисту для випадку пальового ростверку і запропонували порядок монтажу такої системи.

У разі пальового ростверку віброізолятори встановлюють на оголовках паль. При цьому залізобетонний монолітний ростверк спирається на віброізолятори і не лише виконує функції вібро- та сейсмозахисту, а й підвищує стійкість будівлі проти перекидання при вітрових і сейсмічних навантаженнях завдяки зниженню центру мас.

Загальний вигляд сейсмовіброізолятора діаметром 500 мм з нової марки еластомерного матеріалу на оголовку палі наведено на рис. 6.



Рис. 6. Загальний вигляд гумового віброізолятора діаметром 500 мм на оголовку пали

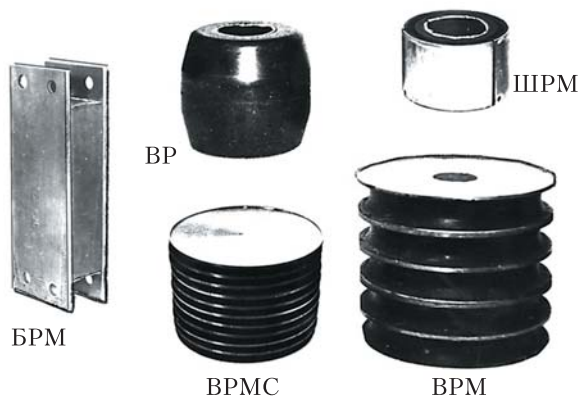


Рис. 7. Різні конструкції еластомерних елементів для віброзахисту важких гірничих машин

Фотографію зроблено на будівельному майданчику 27-поверхового будинку на Оболонському проспекті в м. Київ.

Експериментальні дослідження динамічного впливу від метро, залізниці та автомобільного транспорту на житлові будинки, побудовані з використанням сейсмовіброізоляторів, засвідчили істотне зниження рівня шкідливої вібрації. Так, на 5-му поверсі 27-поверхової будівлі (Оболонський проспект, м. Київ) вібрація зменшилася у 5–7 разів. Для всіх сейсмовізованих будівель вібрація спостерігалася на рівнях, нижчих за санітарні норми.

Коротко розглянемо нові розробки в галузі створення систем віброізоляції важких гірничих машин, що працюють при тривалих циклічних навантаженнях. Здебільшого це вібраційні машини — грохоти, живильники, конвеєри, віброзмішувачі тощо, призначені для видобутку, перероблення та збагачення мінеральної сировини.

Віброзахистом таких машин наш Інститут займається вже близько 40 років. Було створено та серійно впроваджено у виробництво різні типи конструкцій еластомерних елементів (рис. 7). За цей час було виготовлено і поставлено підприємствам — замовникам вібраційної техніки понад 200 тис. еластомерних елементів.

На основі детальних теоретичних і експериментальних досліджень було створено алгоритм розрахунку машин, розроблено методи комплексного розрахунку еластомерних елементів на довговічність, експериментально отримано реологічні, теплофізичні та втомні характеристики еластомерних елементів у широкому діапазоні зміни амплітуд і частот навантаження.

Деякі результати, наприклад щодо старіння і довговічності натуральних еластомерних елементів у промислових умовах, ми маємо за досить тривалий період безперервних спостережень — від 16 до 40 років. Такі експерименти навряд чи можна повторити не лише з економічних міркувань, а й виходячи з часового фактора. Крім того, цінність таких результатів полягає в тому, що дослідження проводилися на натуральних зразках, що важливо для інженерної практики проектування нових машин.

Основні результати в галузі віброзахисту важких гірничих машин, отримані нами до 2013 р., вже було оприлюднено під час доповіді на засіданні Президії НАН України в 2014 р. Я згадав їх зараз лише для того, щоб підкреслити спадкоємність формату досліджень. Новизна ж робіт останніх років (2015–2019 рр.) полягає в такому:

- створено методи розрахунку важких гірничих машин з урахуванням впливу радіаційних потоків, пов'язаних з видобутком, перероблен-

ням та збагаченням уранових руд (СхідГЗК, м. Жовті Води);

- запропоновано нові еластомерні матеріали, виготовлені за допомогою сучасних нанотехнологій з використанням нових типів технічного вуглецю та фулеренів. Застосування фулерену C_{60} збільшує дисипацію енергії в середньому на 25% (що досить важливо для систем сейсмовіброзахисту машин і споруд) поліпшує на 30% зносостійкість і приблизно на 30–35% зменшує старіння.

Отже, в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України було вирішено важливе науково-технічне завдання з підвищення безпеки функціонування будівель, споруд і важких гірничих машин завдяки використанню систем сейсмосахисту на основі еластомерних елементів.

В Україні побудовано і частково здано в експлуатацію 16 будівель із сейсмовіброзахистом: 13 будівель у м. Київ (десять 10-поверхових будівель із захистом від вібровпливу метрополітену неглибокого залягання по вул. Кіквідзе 17/19 (нині — вул. Михайла Бойчука); три 27-поверхових будівлі із захистом від вібровпливу автомобільного транспорту на Оболонській набережній); 3 будівлі в м. Львів (житловий комплекс по вул. Під дубом, 26) із захистом від вібровпливу залізничного транспорту. Експериментальні випробування довели, що амплітуда віброприскорення на всіх поверхах будинків зменшилася порівняно з амплітудами на фундаменті в 5–7 разів і перебуває в межах, регламентованих санітарними нормами.

Розроблено та впроваджено у серійне виробництво 64 типорозміри гірничих машин (загалом близько 24 тис. шт.); тільки гірничих живильників розроблено і впроваджено понад 18 тис. шт. 14 типорозмірів; для потреб СхідГЗК сьогодні виготовляється щороку приблизно 25–40 машин.

Економічний ефект від впровадження наших розробок, зокрема збагачувального обладнання з еластомерною футерівкою, за період 2003–2018 рр. становить приблизно 240 млн грн. Соціальний ефект полягає у захисті людей від шкідливих динамічних навантажень (переважно шуму та вібрацій) та створенні комфортних умов проживання в мегаполісах.

Результати робіт за цей період опубліковано у 175 друкованих працях, в тому числі 10 монографіях (4-томне видання «Прикладна механіка пружно-спадкових середовищ» та ін.), і захищено 25 патентами. Розроблено також низку галузевих та державних стандартів, зокрема ДБН В.1.1-12:14.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик