**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

Булат А. Ф.

Дирда В. І.

Пухальський В. М.

Волошин О. І.

Надуть В. П.

Морус В. Л.

Лисиця М. І.

*Інститут  
геотехнічної механіки  
ім. М.С. Полякова  
НАН України*

Bulat A. F.

Dyrda V. I.

Pukhal'skiy V. N.

Voloshin A. I.

Naduty V. P.

Morus V. L.

Lisitsa N. I.

***M.S. Polyakov Institute of  
Geotechnical Mechanics  
under the NAS of Ukraine***

УДК 622.539.375:678

**ДОСЯГНЕННЯ ІНСТИТУТУ  
ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ  
ІМ. М.С. ПОЛЯКОВА НАН  
УКРАЇНИ В СТВОРЕННІ  
ВІБРАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ТА  
ТЕХНОЛОГІЙ З  
ВИКОРИСТАННЯМ  
ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ  
ДЛЯ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ  
ТА ЗБАГАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ  
СИРОВИНИ**

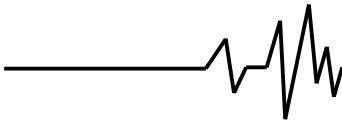
*Розглядається важлива науково-технічна проблема створення принципово нового класу машин з еластомерними елементами – пружними ланками і зносостійкими поверхнями, – які дозволили створити і реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки, що відповідає вимогам щодо технічних і технологічних характеристик та безпеки функціонування. Розроблено наукові засади і методологію розрахунку гірничих машин з еластомерними елементами, створено фундаментальну теорію деформування та руйнування еластомерних матеріалів як пружно-спадкових середовищ. Створені науково-технічні розробки та технології дозволяють забезпечити підвищення ефективності та безпеки експлуатації таких машин в особливо складних технологічних процесах видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини. Про сучасний рівень свідчать захищені патентами нові конструкції гірничих машин з еластомерними елементами та створені на їх основі нові ресурсо- та енергозберігаючі технології видобутку, переробки та збагачення мінеральної сировини.*

**Ключові слова:** *гірничі машини, еластомерні елементи, методи розрахунку пружно-спадкових середовищ, нові технології.*

**Вступ.** В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України починаючи з сімдесятих років минулого століття виконано повний цикл фундаментальних наукових досліджень - теоретичних, стендових і промислових, результати яких дозволили створити й реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної, в тому числі вібраційної, техніки із застосуванням еластомерних

конструкцій, що відповідають вимогам щодо технічних характеристиках і безпеки функціонування в технологіях видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини, а саме руд чорних і кольорових металів, вугілля, нерудних матеріалів, марганцевих руд, дорогоцінних металів тощо.

На першому етапі такі машини були створені й застосовувалися при видобутку й



переробці урановмісних руд, а далі вони набули широкого застосування і в інших галузях промисловості.

Застосування еластомерних матеріалів, крім створення нових вібраційних машин, дозволило також суттєво поліпшити технологічні характеристики й показники роботи існуючих машин і устаткування, зменшити їх шум, вібрацію, ліквідувати запиленість, різко знизити викиди в навколишнє середовище.

Більшість розроблених машин успішно застосовуються в гірничих технологіях, як в Україні, так і в країнах СНД, в основному Росії, Казахстані й Узбекистані.

**Еластомери як конструкційний матеріал.** Інтенсифікація робіт у вугільній і гірничорудній промисловості України вимагала безперервного вдосконалення існуючих і створення нових технологій, що у свою чергу приводить до необхідності модернізації старих і створення принципово нових машин для реалізації цих технологій. З урахуванням специфіки технологій ведення гірничих робіт у різних галузях промисловості ці завдання вирішувалися різними методами, у тому числі й з використанням нових конструкційних матеріалів. Однак, усе більше визнання одержувала концепція, що припускає введення в структурну схему машин пружних ланок з еластомерів.

Саме еластомерні елементи, введені в структурні схеми машин, сприяють зниженню вібронавантаженості, звукового тиску, підвищенню довговічності, надійності й безпеки. Усі досягнення в галузі гірничого машинобудування, вібраційної техніки і т.інш. тією чи іншою мірою пов'язані із застосуванням еластомерів як конструкційних матеріалів.

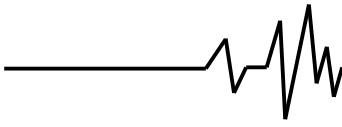
Наявні роботи із прикладної механіки еластомерів присвячені майже винятково питанням, пов'язаним з урахуванням нелінійності співвідношень між зусиллями й переміщеннями при великих деформаціях. Релаксація й демпфування розглядалися, у кращому випадку, як малі й несуттєві поправки, для урахування яких вводилися емпіричні поправкові коефіцієнти.

У той же час релаксаційні ефекти й дисипація енергії в навантажених еластомерних елементах настільки істотні, що вони в більшості випадків визначають поведінку машин, їх довговічність і надійність.

Представлена робота присвячена усуненню зазначеного вище пробілу. Поєднання фундаментальних дослідження в галузі механіки деформування і руйнування еластомерних матеріалів з новими методами розрахунку конструкцій дало можливість сформулювати новий науковий напрям – механіку

пружно-спадкових середовищ. Були розроблені методи розрахунків і одержані експериментальні дані, що забезпечують урахування як нелінійних ефектів в еластомерних елементах, так і ефектів релаксації й демпфування. Використання методів спадковості дозволили побудувати математичні моделі й ефективні методики їх ідентифікації на базі унікального комплексу експериментальних даних про механічну реакцію гуми в різних умовах. Під час виконання теоретичних і експериментальних досліджень в галузі механіки деформування й руйнування еластомерних матеріалів як пружно-спадкових середовищ на основі побудованих структурно-синергетичних моделей розроблено три критерії руйнування пружно-спадкових середовищ: енергетичний критерій дисипативного типу, ентропійний критерій, критерій з пошкодженості структури. Встановлено невідомі раніше закономірності теплового старіння гум в умовах циклічного деформування; стрибкоподібного фазового переходу метастабільного стану еластомерів до лабільного, що передує їх руйнуванню від втоми при циклічному навантаженні; руйнування еластомерів при тривалому циклічному навантаженні. Розроблено методи розрахунків лінійних і нелінійних динамічних систем з еластомерними елементами, параметри яких змінюються в часі та залежать від дії зовнішнього агресивного середовища. Створено методики комплексних розрахунків еластомерних конструкцій важких гірничих машин, що працюють в екстремальних умовах, з метою підвищення їх довговічності, надійності і якості. Запропоновано методи розрахунків (у тому числі довговічності) еластомерних конструкцій, що працюють при втомно-абразивному зношуванні. Реалізовано способи безпечного функціонування критично важливих об'єктів, інфраструктури і безпеки праці обслуговуючого персоналу при екстремальних навантаженнях. В цілому була створена прикладна механіка деформування та руйнування еластомерів як пружно-спадкових середовищ. Розроблені також методи комплексних розрахунків гумових елементів на довговічність, методики й рекомендації щодо прогнозування поведінки машин з гумовими ланками в умовах тривалого навантаження та під впливом різних агресивних середовищ [1, 2].

Слід підкреслити, що дослідження з динаміки машин і механіки еластомерів проводилися тривалий час – більше 45 років. У результаті були отримані унікальні результати в лабораторних і промислових умовах по реологічних, теплофізичних і втомлювальних характеристиках еластомерних матеріалів. Деякі



дані (по старінню й довговічності еластомерів у промислових умовах) напрацьовувалися протягом від 16 до 40 років безперервних спостережень. Такі експерименти не можуть бути повторені ще раз не тільки з економічних міркувань, але й через фактор часу.

Цінність таких результатів полягає також у тому, що в більшості випадків вони проводилися на натурних зразках, що важливо для інженерної практики при проектуванні й розрахунках сучасних машин.

Результати досліджень особливо актуальні в наш час, коли при вдосконалюванні технологій потрібне створення нових високоефективних машин. При цьому наявність розроблених методів розрахунків і даних про параметри еластомерних конструкцій значно полегшують цей процес.

У результаті виконання великого обсягу науково-дослідних робіт і промислових випробувань були створені й впроваджені у виробництво різні конструкції еластомерних елементів (пружні ланки, віброізолятори, захисні футеровки тощо); з їхнім застосуванням була розроблена високоефективна техніка (віброживильники, віброгрохоти, віброконвеєри, скрубер-бутари і т.інш.) і на її базі створені нові енерго- і ресурсозберігаючі технології видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини.

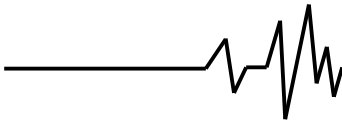
**Створення машин з еластомерними елементами.** Практична реалізація вищезазначених науково-технічних розробок здійснювалась в інтересах гірничої та гірничорудної промисловості України, в основному при створенні техніки та технології видобутку, підготовки та збагачення мінеральної сировини (залізних та урановмісних руд, нерудних матеріалів, вугілля тощо).

Зокрема, розроблено і впроваджено у серійне виробництво параметричні ряди еластомерних елементів: блоки, шарніри, віброізолятори, сейсмоізолятори, герметизатори, гумові футеровки тощо.

На базі фундаментальних теоретичних, експериментальних і промислових досліджень створено принципово новий клас машин різного технологічного призначення з широким застосуванням еластомерних конструкцій, які дозволили створити і реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки, що відповідає вимогам щодо технічних і технологічних характеристик та безпеки функціонування в нових технологіях видобутку, переробки і збагачення мінеральної сировини [3].

В цьому напрямку були отримані наступні результати:

- на рівні винаходів розроблені конструкції пружних еластичних елементів для різних машин (живильників, грохотів, дробарок, млинів) з метою підвищення їх терміну служби, технологічних і ергономічних показників; починаючи з кінця ХХ століття по теперішній час було виготовлено і поставлено підприємствам-замовникам гірничої техніки більше як 200 тисяч еластомерних конструкцій;
- на рівні винаходів з використанням еластомерних елементів і вузлів розроблені нові машини для переробки гірничої маси (віброгрохоти, віброживильники, барабанні грохоти, окомкувачі, скрубер-бутари, закладні машини тощо), які пройшли тривалий строк промислової апробації й успішно експлуатуються на різних гірничих підприємствах України й зарубіжжя; розроблено 64 типорозміри вібраційних гірничих машин різного технологічного призначення; всі машини відрізняються високими техніко-експлуатаційними показниками, надійністю, довговічністю, екологічною чистотою: до санітарних норм знижені шум і вібрація, практично немає просипу і пилу хімічно шкідливих речовин; виготовлено й впроваджено у виробництво: гірничих живильників 14 типорозмірів понад 18000 шт., гірничих машин різного призначення, в тому числі і вібраційних, 50 типорозмірів понад 1450 шт.; у цей час більшість машин виготовляються й впроваджуються різними фірмами на Україні, в Росії, Казахстані тощо;
- застосування еластомерних матеріалів, крім створення нових машин, дозволило також суттєво поліпшити технічні та технологічні характеристики існуючих машин та устаткування, зменшити їх шум, вібрацію, ліквідувати запиленість, різко знизити викиди в навколишнє середовище;
- в методичному плані: розроблені інженерні методики розрахунків динамічних систем з еластомерними елементами, параметри яких змінюються в часі й від дії зовнішнього агресивного середовища; розроблені інженерні методики розрахунку й прогнозування довговічності еластомерних елементів машин, що працюють при тривалих циклічних навантаженнях і абразивно-втомному зносі; розроблені методи оцінки безпечного функціонування критично важливих об'єктів, інфраструктури й обслуговуючого персоналу.



Створене обладнання відрізняється високими техніко-експлуатаційними показниками, надійністю, довговічністю, екологічною чистотою (до санітарних норм знижено шум і вібрацію, практично усунуто проблеми, пов'язані з просипанням і пилом шкідливих хімічних речовин).

За результатами наукових досліджень розроблено інженерні методи розрахунку вібраційних машин і апаратів різного технологічного призначення, державні і міждержавні стандарти, опубліковано узагальнюючу монографію «Прикладна механіка упруго-наслідственних сред» у 4-х томах. Створено і впроваджено у виробництво України нові конструкції гірничих машин (в тому числі і вібраційних) з еластомерними елементами, нові ресурсо- і енергозберігаючі технології видобутку, переробки і збагачення мінеральної сировини, технології вібро- і сейсмосахишту важких машин, технічних і житлових споруд. Всі розробки захищені багатьма патентами та за своїми характеристиками відповідають найкращим зразкам світового рівня [4].

Отримані результати в сфері механіки еластомерів і динаміки машин з еластомерними елементами дозволили вийти на новий рівень вимог до гірничої техніки, які дають можливість підвищити безпеку та продуктивність праці, забезпечити комфортні умови роботи операторів та значно збільшити довговічність, надійність і ефективність використання гірничих машин.

**Розробка й впровадження ресурсо- і енергозберігаючих технологій для видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини. Розробка й впровадження підземної циклічно-потокової технології випуску й доставки руди.** Створений і масово впроваджений у виробництво параметричний ряд віброживильників, призначених для всього різноманіття технологічних схем випуску, доставки й навантаження гірничої маси при видобутку рудних покладів від жильних до досить потужних, дозволив уперше розробити й впровадити підземну маловідходну циклічно-потокову технологію (ЦПТ) без постійної присутності людей у забої (рис. 1).

До 1992 р. на гірничодобувних підприємствах Мінсередмашу СРСР щорічно перебувало в експлуатації 800-1000 машин і з їхнім застосуванням добувалося 95 % руди; на підприємствах Мінчормету й Мінкольчормету відповідно 150-200 машин і 60-75 % руди. Віброживильники постачались також закордонним гірничорудним підприємствам.

Усього було виготовлено й впроваджено понад 18000 вібраційних машин й комплексів різного технологічного призначення.

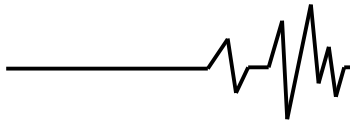
На сьогоднішній день ЦПТ успішно застосовується на СхідГЗК; щорічно виготовляється й експлуатується у виробництві 25-30 машин [5].

**Розробка й впровадження технологій збагачення вугілля.** Комплексна переробка вугілля в рамках усього технологічного циклу видобутку вугілля реалізована на ОП «Шахта ім. О.Ф. Засядька», де застосована схема переробки рядового вугілля до товарних крупностей з виділенням класів: 0-3,0 мм, 3,0-13,0 мм і 13,0-100,0 мм. Для такої попередньої переробки створені й впроваджені високопродуктивні барабанні грохоти (рис. 2) у вигляді параметричного ряду з використанням еластичних робочих поверхонь, які впроваджені на ЦЗФ «Київська». Аналогічними барабанними грохотами оснащені ЦЗФ «Жовтнева», ЦЗФ «Добропольська», ЦЗФ «Моспинська» компанії ДТЕК. Для вирішення завдання обґрунтування, знешламлювання, скидання пульпоносіїв у вузлах завантаження відсаджувальних машин і попереднього зневоднювання концентратів відсаджувальних машин створені й впроваджені дугові грохоти на ЦЗФ «Кондратьєвська», ЦЗФ «Павлоградська», «Моспинське УПП». Основою конструкції цих грохотів є еластичні сита. Для зневоднювання після відсадження створені й впроваджені грохоти «Пережат» для ЦОФ «Жовтнева», підприємства «Енергоресурс», ЦЗФ «Моспинська», ГП «Свердловскантрацит». Для зневоднювання серійних грохотів розроблена еластична робоча поверхня «Вібропережат».

Розробка, створення й впровадження технології герметичного транспортування й обробки сипучих і хімічно активних речовин.

На основі вібраційних машин і апаратів створена унікальна технологія герметичного транспортування й обробки сипучих, токсичних, тих що порашать, радіоактивних та інших шкідливих для здоров'я обслуговуючого персоналу речовин. Технологія відрізняється універсальністю й дозволяє поряд з механічними процесами (транспортування, змішування, подрібнювання, грохочення) здійснювати також тепломасообмінні процеси обробки мінеральної сировини: сушіння, охолодження, розчинення, екстракцію тощо. Технологія широко використовується при збагаченні урановмісних руд, а також в інших галузях промисловості: хімічній, біологічній, обробки харчових матеріалів тощо.

Створення ефективної технології вібро- і сейсмосахишту.

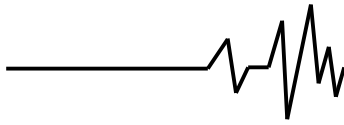


**Рис. 1. Випуск уранової руди віброживильником ВПР-4М**



**Рис. 2. Промивальний комплекс з скруббер-бутарми (ВАТ «Нижньо-Ленське»)**

На базі розроблених гумових і будинків і споруд. Розроблені, створені й гумометалевих вібростейсмоізоляторів створені впроваджені у виробництво віброзахисні ефективні системи захисту важких машин, системи таких машин і



обладнання: вентиляторів різних типів у т.ч. у вибухозахищеному виконанні; окомкувачів-змішувачів; вихрових змішувачів; конусних інерційних дробарок типу КИД; молоткових дробарок різного типу.

Впровадження віброзахисних систем дозволило зменшити амплітуди віброприскорень опорних конструкцій перекриттів цехів в 10-12 разів, зменшити шум і довести рівні шуму й вібрацій до вимог санітарних норм, як для будинків, так і для обслуговуючого персоналу.

Віброзахисні системи машин і обладнання пройшли Державні приймальні випробування.

Розроблена номенклатура перспективних способів захисту критично важливих об'єктів (КВО) (будинків і споруд) від аварій і катастроф природного, техногенного й терористичного характеру, які можуть забезпечити захист КВО від шуму, вібрацій, сейсмоударів і вибухової хвилі; розроблений і випробуваний параметричний ряд вібросейсмоізоляторів із жорсткістю на стиск від 10 до 300 т/см.

#### Список використаних джерел

1. Прикладная механика упруго-наследственных сред. В 3-х томах / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, В.Г. Карнаухов, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Киев: Наукова думка, 2014. – Т. 4 (дополнительный). Вынужденные колебания и диссипативный разогрев неупругих тел. – 2014. – 448 с.

2. Булат, А.Ф. Фракталы в геомеханике: 2-е изд. / А.Ф. Булат, В.И. Дырда. – Киев: Наукова думка, 2005. – 372 с.

3. Вибродоставочные комплексы в технологиях разработки рудных месторождений / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.К. Поддубный [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.

4. Вибрационные машины для выпуска и доставки руды / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, О.К. Авдеев, И.К. Поддубный, В.П. Надутый [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1981. – 152 с.

5. Вибрационные машины для выпуска и доставки ураносодержащих руд / А.Ф. Булат, В.Н. Пухальский, В.И. Дырда, Ю.И. Кошик, А.Х. Дудченко, Н.И. Лисица // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2011. – Вып. 96. – С. 155-162.

#### Список джерел в транслітерації

1. Prikladnaya mekhanika uprugonasledstvennykh sred. V 3-kh tomakh / A.F. Bulat, V.I. Dyrda, V.G. Karnaukhov, Ye.L. Zvyagil'skiy, A.S. Kobets. – Kiyev: Naukovadumka, 2014. – T. 4

(dopolnitel'nyy). Vynuzhdennyye kolebaniya i dissipativnyya zogrev neuprugikh tel. – 2014. – 448 s.

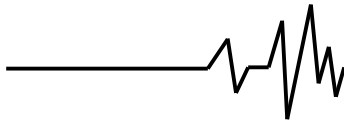
2. Bulat, A.F. Fraktaly v geomekhanike: 2-ye izd. / A.F. Bulat, V.I. Dyrda. – Kiyev: Naukovadumka, 2005. – 372 s.

3. Vibrodostavochnyye komplekсы v tekhnologiyakh razrabotki rudnykh mestorozhdeniy / V.N. Poturayev, V.I. Dyrda, I.K. Poddubnyy [idr.]. – Kiyev: Naukovadumka, 1989. – 168 s.

4. Vibratsionnyemashinydlyavypuskaidostavki uranosoderzhashchikh rud / A.F. Bulat, V.N. Pukhal'skiy, V.I. Dyrda, Yu.I. Koshik, A.Kh. Dudchenko, N.I. Lisitsa // Geotekhnicheskaya mekhanika: Mezhd. sb. nauchn. tr. – 2011. – Вып. 96. – С. 155-162.

#### ДОСТИЖЕНИЯ ИНСТИТУТА ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ИМ. Н.С. ПОЛЯКОВА НАН УКРАИНЫ В СОЗДАНИИ ВИБРАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

**Аннотація.** *Рассматривается важная научно-техническая проблема создания принципиально нового класса машин с эластомерными элементами – упругими звеньями и износостойкими поверхностями, – которые позволили создать и реализовать широкомасштабное внедрение высокоэффективной техники, которая соответствует требованиям по техническим и технологическим характеристикам и безопасности функционирования. Разработаны научные основы и методология расчета горных машин с эластомерными элементами, создана фундаментальная теория деформирования и разрушения эластомерных материалов каупруго-наследственных сред. Созданные научно-технические разработки и технологии позволяют обеспечить повышение эффективности и безопасности эксплуатации таких машин в особенно сложных технологических процессах добычи, переработки и обогащения минерального сырья. О современном уровне свидетельствуют защищенные патентами новые конструкции горных машин с эластомерными элементами и созданные на их основе ресурсы- и энергосберегающие*



технологии добычи, переработки и обогащения минерального сырья.

**Ключевые слова:** горные машины, эластомерные элементы, методы расчета упруго-наследственных сред, новые технологии.

**ACHIEVEMENTS OF M.S. POLYAKOV  
INSTITUTE OF GEOTECHNICAL MECHANICS  
UNDER THE NAS OF UKRAINE IN TECHNICS  
AND TECHNOLOGIES CREATION USING  
ELASTOMERIC MATERIALS FOR MINING,  
PROCESSING AND MINERAL PROCESSING**

**Annotation.** We consider an important scientific and technical problem of creating a fundamentally new class of machines with elastomeric elements - elastic links and wear-resistant surface - which helped to create and realize large-scale implementation of high

technology, which complies with the technical and technological characteristics and safety of operation. The scientific bases and methodology of mining machines with elastomeric elements are developed, a fundamental theory of deformation and fracture of elastomeric materials such as elastic-hereditary media is created. Created scientific and technological developments and technologies allow to provide increasing the efficiency and safety of operation of these machines in a particularly complex processes of mining, processing and mineral processing. Patented new design of mining machines with elastomeric elements and based on them new resource- and energy-saving technologies mining, processing and mineral processing indicate the modern level.

**Key words:** mining machines, elastomeric elements, methods for calculating the elastic-hereditary media, new technologies.