

З КАФЕДРИ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ



ДИРДА

Віталій Іларіонович — доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

СТВОРЕННЯ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ ТА ЗБАГАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

За матеріалами наукової доповіді
на засіданні Президії НАН України
12 листопада 2014 року

Розглянуто важливу науково-технічну проблему створення принципово нового класу машин з еластомерними елементами — пружними ланками і зносостійкими поверхнями, що дало змогу реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки, яка відповідає вимогам до 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. Запропоновані науково-технічні розробки і технології забезпечують підвищення ефективності й безпеки експлуатації таких машин в особливо складних технологічних процесах видобування, перероблення й збагачення мінеральної сировини.

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

Вступ

На початку 70-х років минулого століття гірничі і гірничорудна промисловість України зіткнулася з необхідністю розв'язання цілої низки проблем, пов'язаних з видобуванням, переробленням і збагаченням мінеральної сировини. Процеси транспортування, сегрегації, подрібнення та ін. були високоенергозатратними. Застаріле обладнання не дозволяло нарощувати темпи виробництва через велику металомісткість, низьку надійність та недостатню безпеку. Забезпечення санітарних норм за такими показниками, як вібрація, шум, запиленість

та ін., можна було досягти лише ціною значних енергетичних і економічних затрат. Традиційні машини й устаткування дедалі більше вичерпували свої технологічні можливості. Постала потреба у нових, нестандартних рішеннях. Як один із найперспективніших шляхів виходу з цієї ситуації розглядалася можливість, а у разі отримання позитивних результатів і широке застосування нових конструкційних матеріалів, серед яких особливе місце посідали еластомери (гуми й поліуретани). Проте на той час не лише у вітчизняній, а й у світовій гірничій науці ще не було достатньої кількості достовірних результатів фундаментальних теоретичних, стендових і промислових досліджень фізико-механічних властивостей, а також вивчення різних факторів, що впливають на роботоздатність еластомерів, не кажучи вже про застосування їх як конструкційного матеріалу для гірничих машин.

Однак саме еластомери, завдяки своїм унікальним властивостям, могли стати тією ланкою в машинах нового технічного рівня, якої не вистачало для того, щоб задовольнити необхідні вимоги надійності та довговічності, високого ступеня безпечності обладнання, можливості його роботи впродовж тривалого часу в складних і особливо складних, а згодом і в екстремальних умовах. До таких умов належать великі, тривалі стаціонарні й циклічні навантаження, високі й низькі температури, втомно-абразивне зношування, корозійний вплив зовнішнього середовища, підвищена радіація тощо.

Отже, потрібно було провести дослідження фізико-механічних характеристик еластомерів та їх довговічності в різних умовах, з огляду на те, що такі фактори, як дисипативний розігрів, старіння (нестабільність властивостей у часі та під дією зовнішнього середовища), розвиток пошкоджень та ін., у ряді випадків відіграють вирішальну роль під час вибору параметрів і форм довговічних і надійних конструкцій для гірничих машин нового технічного рівня.

В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України було виконано повний цикл фундаментальних наукових

досліджень — теоретичних, стендових і промислових, результати яких дозволили створити й реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки із застосуванням еластомерних конструкцій, що відповідають вимогам до технічних характеристик 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 було створено й використано для видобутку та переробки урановмісних руд, а згодом розроблене обладнання набуло широкого застосування і в інших галузях промисловості. Крім того, використання еластомерних матеріалів дало можливість істотно поліпшити технологічні характеристики і показники роботи наявних, уже працюючих машин і устаткування, знизити рівень їх шуму і вібрації, ліквідувати запиленість повітря, різко зменшити шкідливі викиди в навколишнє середовище.

Нині більшість розроблених машин успішно працюють у гірничих технологіях як в Україні, так і в країнах СНД, переважно в Росії, Казахстані, Узбекистані.

Еластомери як конструкційний матеріал

Інтенсифікація робіт у вугільній і гірничорудній промисловості України вимагала безперервного вдосконалення наявних і створення нових технологій, що у свою чергу потребувало 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 використанням нових конструкційних матеріалів. Однак дедалі більшого визнання набувала концепція, яка припускала введення в структурну схему машин пружних ланок з еластомерів. Саме еластомерні елементи, введені в структурні схеми машин, сприяють зниженню вібранавантаженості, звукового

тиску, підвищенню довговічності, надійності й безпеки. Усі досягнення в галузі гірничого машинобудування, вібраційної техніки тощо тією чи іншою мірою пов'язані із застосуванням еластомерів як конструкційних матеріалів.

Для широкого використання еластомерів як конструкційного матеріалу необхідно забезпечити розвиток прикладної механіки твердого деформованого тіла стосовно особливостей їх механічної реакції, що полягає у здатності до великих оборотних деформацій, істотної релаксації й демпфування. Основними завданнями при цьому є побудова рівнянь стану, що адекватно відображують поведінку матеріалу в широкому діапазоні впливів, методів і засобів ідентифікації математичних моделей, методів аналізу й синтезу елементів машин, що працюють у різних умовах, а також методів оптимального синтезу машин з еластомерними елементами. При цьому особливе значення має виявлення нових ефектів, властивих машинам з еластомерними ланками, і цілеспрямоване використання цих ефектів у процесі створення нових машин.

Майже всі наявні роботи з прикладної механіки еластомерів стосуються питань, пов'язаних з урахуванням нелінійності співвідношень між зусиллями й переміщеннями при великих деформаціях. При цьому релаксацію й демпфування прийнято розглядати в найкращому разі як малі й несуттєві поправки, для врахування яких вводять емпіричні поправкові коефіцієнти. Водночас релаксаційні ефекти й дисипація енергії в навантажених еластомерних елементах є настільки істотними, що в більшості випадків саме вони визначають поведінку машин, їх довговічність і надійність.

Пропоновану роботу присвячено усуненню зазначеної вище прогалини. Поєднання фундаментальних досліджень у галузі механіки деформування і руйнування еластомерних матеріалів з новими методами розрахунку конструкцій дало можливість сформулювати новий науковий напрям — механіку пружно-спадкових середовищ. Розроблено методи розрахунків і одержано експериментальні дані,

що забезпечують урахування як нелінійних ефектів у еластомерних елементах, так і ефектів релаксації та демпфування. Використання методів спадковості дозволило побудувати математичні моделі й ефективні методики їх ідентифікації на основі унікального комплексу експериментальних даних про механічну реакцію гуми в різних умовах.

Під час виконання теоретичних і експериментальних досліджень у галузі механіки деформування і 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 та критерій пошкоженості 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 й 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 та 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 обслуговувального персоналу при екстремальних навантаженнях. Загалом було створено прикладну механіку деформування та руйнування еластомерів як пружно-спадкових середовищ. Розроблено 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.

Слід підкреслити, що дослідження з динаміки машин і механіки еластомерів здійснювали впродовж 45 років. При цьому було отримано унікальні результати в лабораторних і промислових умовах з реологічних, теплофізичних і втомних характеристик еластомерних матеріалів. Деякі дані (зі старіння й довговічності еластомерів у промислових умовах) напружувалися в процесі безперервних спостережень, що тривали від 16 до 40 років. Такі експерименти не можна повторити не лише з економічних міркувань, а й через фактор часу.

Цінність отриманих результатів полягає ще й у тому, що здебільшого спостереження проводили на натурних зразках, а це надзвичайно важливо для інженерної практики проектування й розрахунків сучасних машин. Результати цих досліджень є особливо актуальними в наш час, коли вдосконалення технологій потребує створення нових високоефективних машин, оскільки наявність розроблених методів розрахунків і даних про параметри еластомерних конструкцій значно полегшує цей процес.

У результаті виконання великого обсягу науково-дослідних робіт і промислових випробувань створено і впроваджено у виробництво різні конструкції еластомерних елементів (пружні ланки, віброізолятори, захисні футерівки тощо); завдяки їх застосуванню розроблено високоефективну техніку (живильники, грохоти, скрубери-бутари та ін.) і на її основі створено нові енерго- і ресурсоощадні технології видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини.

Машини з еластомерними елементами

Практичну реалізацію зазначених вище науково-технічних розробок здійснювали в інтересах гірничої та гірничорудної промисловості України, переважно для створення техніки і технології видобутку, підготовки та збагачення мінеральної сировини (залізних і урановмісних руд, нерудних матеріалів, вугілля тощо). Зокрема, розроблено і впроваджено в серійне

виробництво параметричні ряди еластомерних елементів: блоки, шарніри, вібро- і сейсмоізолятори, герметизатори, гумові футерівки тощо.

На основі фундаментальних теоретичних, експериментальних і промислових досліджень створено принципово новий клас машин різного технологічного призначення з широким застосуванням еластомерних конструкцій, які дозволили реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки, що відповідає вимогам до технічних і технологічних характеристик та безпеки функціонування в нових технологіях видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини. У цьому напрямі було отримано такі результати:

- на рівні винаходів розроблено конструкції пружних еластичних елементів для різних машин (живильників, грохотів, дробарок, млинів) з метою підвищення терміну їх служби, технологічних і ергономічних показників; починаючи з кінця ХХ ст. і до сьогодні було виготовлено й поставлено підприємствам — замовникам гірничої техніки понад 200 тисяч еластомерних конструкцій;

- на рівні винаходів з використанням еластомерних елементів і вузлів розроблено нові машини для переробки гірничої маси (віброгрохоти, віброживильники, барабанні грохоти, згрудкувачі, скрубери-бутари, закладні машини тощо), які пройшли тривалу промислову апробацію і успішно експлуатуються на різних гірничих підприємствах України й зарубіжжя; створено 64 типорозміри гірничих машин різного технологічного призначення; всі машини вирізняються високими техніко-експлуатаційними показниками, надійністю, довговічністю, екологічною чистотою; до санітарних норм знижено рівні шуму і вібрації, практично немає просипу і пилу хімічно шкідливих речовин; виготовлено й впроваджено у виробництво понад 18 тис. шт. гірничих живильників 14 типорозмірів, більш як 1450 шт. гірничих машин різного призначення, зокрема вібраційних, 50 типорозмірів; на сьогодні більшість машин виготовляють і впроваджують різні фірми в Україні, Росії, Казахстані та інших країнах;



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

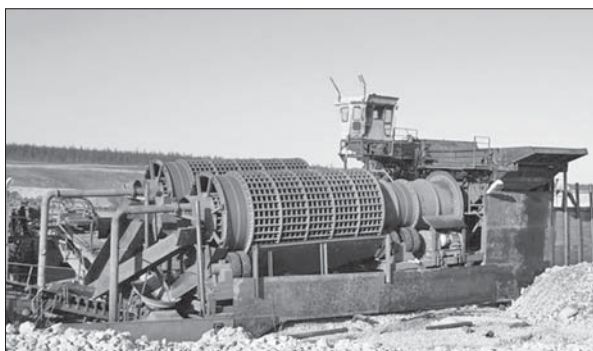


Рис. 2. Промивний комплекс зі скруббер-бутарами (ВАТ «Нижня-Ленське»)

- крім створення нових машин застосування еластомерних матеріалів дало змогу істотно поліпшити технічні й технологічні характеристики наявних машин та устаткування;

- у методичному плані розроблено інженерні методики розрахунків динамічних систем з еластомерними елементами, параметри яких змінюються в часі та під дією зовнішнього агресивного середовища; запропоновано інженерні методики розрахунку й прогнозування довговічності еластомерних елементів машин, що працюють при тривалих циклічних навантаженнях і абразивно-втомному зносі; створено методи оцінки безпечного функціонування критично важливих об'єктів, інфраструктури

й обслуговувального персоналу; крім того, за результатами наукових досліджень розроблено також державні й міждержавні стандарти, опубліковано узагальнюючу монографію «*Прикладная механика упруго-наследственных сред*» у 4 томах.

Усі розробки нових конструкцій гірничих машин з еластомерними елементами, нових ресурсо- і енергоощадних технологій видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини, технологій вібро- і сейсмосахисту важких машин, технічних і житлових споруд захищено багатьма патентами. За своїми характеристиками ці розробки відповідають найкращим зразкам світового рівня. Отримані результати у сфері механіки еластомерів і динаміки машин з еластомерними елементами дозволили підняти на новий рівень вимоги до гірничої техніки, що забезпечують підвищення безпеки та продуктивності праці, комфортні умови роботи операторів, збільшення довговічності, надійності та ефективності використання гірничих машин.

Ресурсо- і енергоощадні технології

Підземна циклічно-потокowa технологія випуску й доставки руди. Створення і масове впровадження у виробництво параметричного ряду віброживильників, призначених для всього різноманіття технологічних схем випуску, доставки й навантаження гірничої маси при видобуванні рудних покладів, від жильних до досить потужних, дало можливість уперше застосувати підземну маловідходну циклічно-потокowa технологію (ЦПТ) без необхідності постійної присутності людей у заборі (рис. 1).

До 1992 р. на гірничодобувних підприємствах Мінсередмашу СРСР щороку перебувало в експлуатації 800–1000 машин, за допомогою яких видобували 95% руди; на підприємствах Мінчормету й Мінкольормету – 150–200 машин і 60–75% руди. Віброживильники постачали також закордонним гірничорудним підприємствам. Усього було виготовлено і впроваджено понад 18 тис. вібраційних машин і комплексів різного технологічного призна-

чення. Нині ЦПТ успішно застосовують на СхідГЗК; щороку виготовляється й експлуатується у виробництві 25–30 машин.

Технології збагачення вугілля. Комплексну переробку вугілля в рамках усього технологічного циклу видобування вугілля реалізовано на ОП «Шахта ім. О.Ф. Засядька», де застосовано схему 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 створено параметричний ряд високопродуктивних барабаних грохотів (рис. 2) з використанням еластичних робочих поверхонь, які впроваджено на ЦЗФ «Київська». Аналогічними барабаними грохотами оснащено ЦЗФ «Жовтнева», ЦЗФ «Добропільська», ЦЗФ «Моспинська» компанії ДТЕК. Для вирішення завдання з попереднього зневоднення концентратів, знешламлення, скидання пульпоносіїв у вузлах завантаження відсаджувальних машин розроблено дугові грохоти, які впроваджено на ЦЗФ «Кондратівська», ЦЗФ «Павлоградська», «Моспинське УПП». Основою конструкції цих грохотів є еластичні сита. Для зневоднення після відсадження створено грохоти «Переكات» для ЦЗФ «Жовтнева», підприємства «Енергоресурс», ЦЗФ «Моспинська», ГП «Свердловськантрацит». Для зневоднення серійних грохотів розроблено еластичну робочу поверхню «Вібропереكات».

Технологія герметичного транспортування й обробки сипких і хімічно активних речовин. На основі вібраційних машин і апаратів створено унікальну технологію герметичного транспортування й обробки сипких, токсичних, пилоутворювальних, радіоактивних та інших шкідливих для здоров'я обслуговувального персоналу речовин. Технологія

характеризується універсальністю і дає змогу поряд з механічними процесами (транспортування, змішування, подрібнення, грохочення) здійснювати також тепломасообмінні процеси обробки мінеральної сировини: сушіння, охолодження, розчинення, екстракцію тощо. Технологію широко використовують при збагаченні урановмісних руд, а також в інших галузях промисловості, таких як хімічна, біологічна, харчова тощо.

Технології вібро- і сейсμοзахисту. На основі розроблених гумових і гумометалевих вібросейсмоізоляторів створено ефективні системи захисту важких машин, будинків і споруд. Розроблено і впроваджено у виробництво віброзахисні системи таких машин та обладнання: вентиляторів різних типів, у тому числі у вибухозахищеному виконанні; згрудкувачів-змішувачів; вихрових змішувачів; конусних інерційних дробарок типу КИД; молоткових дробарок різного типу.

Впровадження віброзахисних систем дозволило в 10–12 разів зменшити амплітуди віброприскорень опорних конструкцій перекриттів цехів, знизити рівні шуму та вібрацій, довівши їх до значень, що відповідають вимогам санітарних норм, як для споруд, так і для обслуговувального персоналу. Віброзахисні системи машин і обладнання пройшли державні приймальні випробування.

Розроблено також номенклатуру перспективних способів захисту критично важливих об'єктів (будинків і споруд) від аварій і катастроф природного, техногенного й терористичного характеру, які можуть захистити ці об'єкти від шуму, вібрацій, сейсмоударів, вибухової хвилі. Створено і апробовано параметричний ряд вібросейсмоізоляторів із жорсткістю на стиск від 10 до 300 т/см.

В.И. Дырда

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины
ул. Симферопольская, 2а, Днепропетровск, 49005, Украина

СОЗДАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ
И ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрена важная научно-техническая проблема создания принципиально нового класса машин с эластомерными элементами — упругими звеньями и износостойкими поверхностями, которые позволили реализовать широкомасштабное внедрение высокоэффективной техники, соответствующей 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 как упруго-наследственных сред. Предложенные 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.

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

V.I. Dyrda

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Science of Ukraine
2-a Simferopolskaya St., Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine

TECHNICS AND TECHNOLOGIES CREATION USING ELASTOMERIC MATERIALS
FOR MINING, PROCESSING AND MINERAL PROCESSING

Paper considers an important scientific and technical problem of creating a fundamentally new class of machines with elastomeric elements — elastic links and wear-resistant surfaces — 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 basis 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 are created. Created scientific and technological developments and technologies allow to provide increasing the efficiency and safety of operation of these machines in particularly complex processes of mining, processing and mineral processing.

Keywords: mining machines, elastomeric elements, methods for calculating elastic-hereditary media, new technologies.