**Національна академія наук України**

**Інститут геотехнічної механіки**

**ім. М.С. Полякова**

**РЕФЕРАТ РОБОТИ**

**«СТВОРЕННЯ ТА ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ
ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНІКИ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛАСТОМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ І ЗБАГАЧЕННЯ
МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ»**

висунутої на здобуття Державної премії України
в галузі науки і техніки 2014 року

Автори роботи:

|  |  |
| --- | --- |
| **Дирда Віталій Ілларіонович** | керівник роботи, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ); |
| **Волошин Олексій Іванович** | доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заступник директора Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ); |
| **Губін Георгій Вікторович** | доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Криворізького технічного університету (м. Кривий Ріг); |
| **Морус Володимир Леонідович** | кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ); |
| **Надутий Володимир Петрович** | доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ); |
| **Попович Ігор Миколайович** | заступник міністра енергетики та вугільної промисловості України (м. Київ). |
| **Пухальський Віктор Миколайович** | кандидат технічних наук, головний інженер Східного гірничо-збагачувального комбінату (м. Жовті Води); |
| **Смірнов Андрій Вікторович** | кандидат політичних наук, директор з видобутку вугілля компанії ДЕТЕК (м. Донецьк); |
| **Сорокін Олександр Геннадійович** | інженер, генеральний директор Східного гірничо-збагачувального комбінату (м. Жовті Води); |
| **Хохотва Олександр Іванович** | інженер, голова Державної служби гірничого нагляду і промислової безпеки України (м. Київ); |

**Дніпропетровськ – 2014**

# I. Актуальність роботи

На початку сімдесятих років минулого століття гірнича і гірничорудна промисловості України зіштовхнулися з необхідністю вирішення цілої низки проблем при видобутку, переробці й збагаченні мінеральної сировини. Процеси транспортування, сегрегації, подрібнювання та ін. відрізнялися високою енергоємністю. Застаріле обладнання не дозволяло нарощувати темпи виробництва, відрізнялося великою металоємністю, низькою надійністю й недостатньою безпекою. Забезпечення санітарних норм за такими показниками, як вібрація, шум, запиленість та ін. можна було досягти тільки ціною великих енергетичних і економічних витрат. Традиційні машини й устаткування усе більше і більше вичерпували свої технологічні можливості. Необхідні були нові, нестандартні рішення. Одним з найбільш перспективних шляхів виходу з ситуації, яка сталася, розглядалася також можливість, а у випадку позитивних результатів, і широке застосування нових конструкційних матеріалів, серед яких особливе місце займали еластомери (гуми й поліуретани).

Однак, на той час у гірничій науці й практиці, як у нашій країні, так і за рубежем, були відсутні представницькі результати фундаментальних теоретичних, стендових і промислових досліджень фізико-механічних властивостей і різних факторів, що впливають на працездатність еластомерів, тим більше, при застосуванні їх як конструкційного матеріалу для гірничих машин.

Але ж саме еластомери, завдяки своїм унікальним властивостям, могли стати недостатньою ланкою в машинах нового технічного рівня, які відповідають необхідним вимогам: відповідність технології, надійність і довговічність, високий ступінь безпечного функціонування, можливість роботи тривалий час у складних та особливо складних, а часом і в екстремальних умовах.

До таких умов можна віднести високі, тривалий час діючі, стаціонарні й циклічні навантаження, високі й низькі температури, втомно-абразивне зношування, корозійний вплив зовнішнього середовища, підвищена радіація тощо.

Необхідні були дослідження фізико-механічних характеристик еластомерів і їх довговічність у різних умовах, тому що такі фактори, як дисипативний розігрів, старіння (нестабільність властивостей у часі та від дії зовнішнього середовища), розвиток пошкодження і т.інш. набувають у ряді випадків домінуючий вплив при виборі параметрів і форми довговічних і надійних конструкцій для гірничих машин нового технічного рівня.

Авторами роботи 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 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 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.

З урахуванням викладеного робота є своєчасною та актуальною.

**Ціль роботи** – *створення класу машин і їх елементів різного технологічного призначення з якісно новими технічними характеристиками на основі застосування конструкційних матеріалів з еластомерів з наперед заданими параметрами по надійності, довговічності й фізико-механічними властивостями, для підвищення ефективності й безпеки роботи машин в особливо складних технологічних процесах видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини.*

# II. Сутність досліджень та їх новизна

Інтенсифікація робіт у вугільній і гірничорудній промисловості України вимагала безперервного вдосконалення існуючих і створення нових технологій, що у свою чергу приводило 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 і поліуретанів.

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.

Для забезпечення широкого використання еластомерів як конструкційного матеріалу необхідний розвиток прикладної механіки твердого деформівного тіла, стосовно до особливостей їх механічної реакції, що полягає в здатності до великих зворотних деформацій, істотної релаксації й демпфування. Основними завданнями при цьому є побудова рівнянь стану, що адекватно відображають поведінку матеріалу в широкому діапазоні впливів, методів і засобів ідентифікації математичних моделей, методів аналізу й синтезу елементів машин, що працюють у різних умовах, і 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 при створенні нових машин.

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 уводилися 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. Автори розробили методи розрахунків і одержали 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. 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.

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 величезного обсягу науково-дослідних робіт і промислових випробувань авторами були створені й впроваджені у виробництво різні конструкції еластомерних елементів (пружні ланки, виброізолятори, захисні футеровки тощо); з їхнім застосуванням була розроблена високоефективна техніка (живильники, грохоти, скруббер-бутари і т.інш.) і на її базі створені нові енерго- і ресурсозберігаючі технології видобутку, переробки й збагачення мінеральної сировини.

### Авторами роботи отримані наступні наукові результати

**1. В області фундаментальних теоретичних досліджень:**

* створена прикладна механіка деформування й руйнування еластомерних матеріалів як пружно-спадкових середовищ;
* на основі розроблених структурно-синергетичних моделей деформування й руйнування пружно-спадкових середовищ розроблено три критерії руйнування: енергетичний критерій дисипативного типу; ентропійний критерій; критерій з пошкодженості структури.
* установлена невідома раніше закономірність теплового старіння гум в умовах циклічного деформування;
* установлена невідома раніше закономірність стрибкоподібного фазового переходу метастабільного стану еластомерів до лабільного, що передує їх руйнуванню від втомлення при циклічному навантаженні;
* установлена невідома раніше закономірність руйнування еластомерів при тривалому циклічному навантаженні.

Усі три встановлені закономірності зареєстровані як наукові відкриття Міжнародною асоціацією авторів наукових відкриттів і винаходів (дипломи № 220, 234, 461).

**2. В області прикладних теоретичних досліджень**

2.1. Уперше розроблені методи розрахунків лінійних і нелінійних динамічних систем з еластомерними елементами, параметри яких змінюються в часі й від дії зовнішнього агресивного середовища:

* розроблені методи розрахунків коливань зарезонансних і резонансних механічних систем, основні параметри яких змінюються в часі. Отримані конкретні співвідношення для систем, пружно-спадкові ланки яких змінюють свої характеристики при тривалому циклічному навантаженні й від дії активного зовнішнього середовища (в основному від ядерних випромінювань).
* розроблені методи розрахунків нелінійних коливальних систем зі спадковими ланками, реологічні параметри яких залежать від температури. При цьому вперше виявлене й досліджене явище температурної нестійкості динамічної системи, обумовлене впливом температури на реологічні параметри еластомеру.

2.2. Уперше розроблені методи комплексних розрахунків еластомерних конструкцій важких гірничих машин, що працюють в екстремальних умовах, з метою підвищення їх довговічності, надійності і якості:

* розроблені сучасні фізичні й механічні методи вивчення властивостей еластомерів як конструкційних матеріалів, у тому числі методи досліджень деформаційних, втомних і термомеханічних характеристик; кількісні і якісні дослідження кінетики мікропошкодженості гум з використанням методів ІЧ‑спектроскопії, методи фрактографічних досліджень поверхонь руйнувань зразків і елементів конструкцій тощо;
* розроблена термодинамічна *р*-*модель* циклічного руйнування еластомерів і на її базі енергетичний *ψ*-критерій дисипативного типу й критерій руйнування, пов’язаний з пошкодженням, що розвивається в матеріалі;
* розроблено універсальний *β*-метод урахування ефекту особливостей на торцях гумометалевих деталей при їх деформуванні;
* уперше розроблена теорія й оригінальні континуальні моделі деформування вібросейсмоблоків при тривалих статичних і інтенсивних динамічних навантаженнях; уперше проведено фрактальний аналіз поверхні руйнування гум при тривалому старінні в умовах циклічних навантажень; уперше розроблені методи розрахунків силових і дисипативних характеристик вібросейсмоблоків (ВСБ) з урахуванням старіння матеріалу й умов експлуатації;
* розроблені алгоритми розрахунків довговічності систем з урахуванням нестійкості їх структурних параметрів у часі;
* установлена властивість гуми зменшувати інтенсивність зміни своїх фізико-механічних характеристик при тривалих циклічних навантаженнях через релаксацію напруг в об’ємі мікротріщин матеріалу, обумовленої підвищенням дисипації енергії за рахунок зміни структури матеріалу;
* розроблені методи розрахунків ресурсу гумових виброізоляторів важких гірничих людино-машинних систем (критерії оцінки віброзахисту, критерії відмови виброізоляторів, моделі руйнування, методи розрахунків ресурсу виброізоляторів);
* для вітчизняних типів гуми отримані дані про вплив радіаційного випромінювання на їхні фізико-механічні характеристики;
* з використанням результатів багаторічних досліджень еластомерних елементів розроблені критерії їх відмов, обґрунтовані моделі відмов, які дозволяють визначити основні показники надійності на стадії проектування гумометалевих елементів; виконана оцінка показників надійності й прогноз надійності виброізоляторів з урахуванням зміни їх параметрів жорсткості;
* розроблені методи розрахунків і вибору параметрів вібросейсмоблоків із заданими технологічними характеристиками; для захисту особливо небезпечних об’єктів розроблена нова технологія із застосуванням вібросейсмоблоків;
* розроблена структурно-синергетична модель деформування й руйнування захисних покриттів потужних вібраційних живильників для випуску й доставки урановмісних руд.

2.3. Уперше розроблені методи розрахунків еластомерних конструкцій, що працюють при втомлювально-абразивному зношуванні:

* досліджено процес деформування й руйнування гумової футеровки в кульових барабанних млинах і в млинах мокрого самоподрібнювання; розроблено метод розрахунків гумових захисних футеровок при ударних навантаженнях;
* розроблена синергетична модель взаємодії завантаження й гумової футеровки;
* на основі енергетичного підходу побудована фізична модель абразивного зношування гумової футеровки гірничих млинів, побудовано алгоритм визначення енергії руйнування від абразивного зношування поверхневого шару гуми; визначена енергія руйнування при прямих експериментальних дослідженнях;
* розроблено алгоритм розрахунків параметрів захисних футеровок з урахуванням їх утоми від дії агресивного середовища й при інтенсивних навантаженнях;
* на основі двокритеріального рівняння розроблено алгоритм розрахунків довговічності гумової футеровки кульових млинів.

2.4. Розроблені методи оцінки й способи безпечного функціонування КВО, інфраструктури й обслуговуючого персоналу при екстремальних навантаженнях на основі концепції сталого розвитку України:

* розроблені методологічні основи програмно-цільового підходу до оцінки й забезпечення безпеки важких гірничих машин, що працюють в екстремальних умовах. Розроблена методика урахування впливу середовища на можливість виникнення аварій у таких системах. Розроблено метод забезпечення безпеки важких гірничих машин на основі критеріїв вібробезпеки;
* на основі аналізу ризику аварій розроблені критерії техногенної безпеки, відповідні їм інтегральні показники ризику й методи їх оцінки, розроблені методи й засоби забезпечення безпеки й надійності важких гірничих машин з гумовими елементами;
* розроблені методи оцінки безпеки людино-машинних систем (важких гірничих машин, споруджень і обслуговуючого персоналу) при дії інтенсивних вібраційних навантажень із урахуванням структурної нестійкості гумового масиву пружних елементів від його старіння від спільної дії тривалих циклічних навантажень і дисипативного розігріву;
* розроблена концепція збільшення безпеки віброзахисних систем КВО; головним принципом концепції є принцип виключення аварій при використанні еластомерних конструкцій, які не мають раптової відмови. Розроблені способи зниження виробничого шуму до санітарних норм.

# III. Практична значимість роботи

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.

В цьому напрямку автори отримали наступні результати:

* на рівні винаходів розроблені конструкції пружних еластичних елементів для модернізації серійних машин (живильників, грохотів, дробарок, млинів) з метою підвищення їх терміну служби, технологічних і ергономічних показників; починаючи з 1967 року 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, скруббер-бутари, закладні машини тощо), які пройшли тривалий строк промислової апробації й успішно експлуатуються на різних гірничих підприємствах України й зарубіжжя; розроблено 64 типорозміри 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.

# IV. Впровадження результатів роботи в промисловість

**Впровадження у виробництво еластомерних елементів.**

Розроблені, створені й серійно впроваджені у виробництво наступні параметричні ряди еластомерних елементів: блоки гумові типу БР і гумометалеві типу БРМ; шарніри гумометалеві типу ШРМ; виброізолятори гумові типу ВГ; виброізолятори гумометалеві типу ВРМ; виброізолятори типу ОП-180; вібросейсмоізолятори типу ВРМС, ВСБ і ВР; гумові герметизатори типу Г-200; гумові пружні муфти типу МУЛ; пружні кардани; гумові й гумометалеві футеровки рудоподрінюючих млинів; гумові сита: гумові стрічково-струнні сита (РЛСС) і сита динамічно активні стрічкові (СДАЛ); гумові футеровки віброживильників і комплексів; розроблені й відпрацьовані в промислових умовах гумові футеровки гірничих вагонеток і окомкувачів.

Починаючи з 1967 року по теперішній час було виготовлено і поставлено підприємствам-замовникам вібраційної техніки більше 200 тисяч еластомерних елементів.

**Впровадження у виробництво гірничих машин і апаратів**

На базі еластомерних елементів за участю авторів розроблені, створені й серійно впроваджені у виробництво наступні параметричні ряди вібромашин: вібраційні гірничі живильники типів ПВГ, ВНР, ПВМ; комплекси типів КГВ-1, ПВС, ПВСТ тощо. Усього розроблено й впроваджено 14 типів вібраційних машин для випуску та доставки мінеральної сировини; вібраційні конвейєри, бункерні живильники й конвейєри-грохоти (вібраційні конвейєри однотрубні зарезонансні типу КВ1Т; вібраційні конвейєри двотрубні резонансні типу КВ2Т; вібраційні конвейєри вертикальні зарезонансні типу КВВ; вібраційні бункерні живильники типу ПВБ; вібраційні живильники-грохоти типу ПГВ; вібраційні конвейєри-грохоти типу КГВ); вібраційні машини й апарати (віброзмішувачі типу СВ; вібросита типу СВ; вібромлини типу МВК, МВВ, МВШ); вібраційні тепломасообмінні апарати (сушарки вібраційні типу СВТ; СВП; СВК; вібраційні гранулятори типу ВИГ); конусні інерційні дробарки типів КИД-450; КИД-900; КИД-1500; КИД-1750; КИД-2200; грохоти барабанні консольні типу ГБК; промивочно-сортувальні скруббер-бутари типу СБР-100; барабанні окомкувачі типу ОБР 2,5×9; дугові грохоти типів ГДР-К й ГДВР-2; вібраційні грохоти з гумовими ситами РЛСС і СДАЛ.

Розроблено понад 64 типорозміри вібраційних машин і апаратів різного технологічного призначення: гірничих живильників, віброконвейєрів, конвейєрів-грохотів, бункерних живильників, змішувачів, сит, млинів, грануляторів, фільтрів, печей, екстракторів, сушарок та іншого вібраційного устаткування з еластомерними пружними ланками й ізоляторами; усе обладнання відрізняється 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.; зараз випускається й впроваджується у виробництво 25-30 шт. у рік тільки для потреб СхідГЗК; вібраційних машин і апаратів: розроблено більше 50 типорозмірів; виготовлено й впроваджено понад 1450 шт. У цей час більшість вібромашин і апаратів виготовляються й впроваджуються різними фірмами в країнах СНД.

### 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.

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 Мінкольормету 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.

**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 у вигляді параметричного ряду з використанням еластичних робочих поверхонь, які впроваджені на ЦЗФ «Київська». Аналогічними барабанними грохотами оснащені ЦЗФ «Жовтнева», ЦЗФ «Добропольска», 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 «Кондратьевська», ЦЗФ «Павлоградська», «Моспинське УПП». Основою конструкції цих грохотів є еластичні сита. Для зневоднювання після відсадження створені й впроваджені грохоти «Перекат» для ЦОФ «Жовтнева», підприємства «Енергоресурс», ЦЗФ «Моспинська», ГП «Свердловскантрацит». Для зневоднювання серійних грохотів розроблена еластична робоча поверхня «Віброперекат».

**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 порошать, 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 нової прогресивної ресурсо- і енергозберігаючої RES‑технології подрібнювання руд у кульових млинах з гумовою футеровкою.**

Застосування гумових футеровок дозволило створити нову ресурсо- і енергозберігаючу RES-технологію подрібнювання руд у кульових млинах. Завдяки цій технології, наприклад, для млинів МШЦ 3,6×5,5 другої й третьої стадії подрібнювання залізних руд (Північний гірничозбагачувальний комбінат – Північний ГЗК, м. Кривий Ріг, Україна) отримані наступні результати: приріст готового класу збільшився на (17-29) %; витрата молольних тіл знизилася на 10 %; питома витрата електроенергії в цілому на технологічну секцію знизилася на (10-12) %.

**Створення ефективної технології вібро- і сейсмозахисту.**

На базі розроблених гумових і гумометалевих вібросейсмоізоляторів типу БР, ВР, ВРМС, ОП-180, ВРМ і інших розроблені ефективні системи захисту важких машин, будинків і споруд. Розроблені, створені й впроваджені у виробництво віброзахисні системи таких машин і обладнання:

* вентиляторів різних типів у т.ч. у вибухозахищеному виконанні; використовувалися виброізолятори ОП-180 ВР і ВРМ);
* окомкувачів-змішувачів (з-д Азовсталь, з-д ім. Ілліча, м. Маріуполь; використовувалися виброізолятори ОП-180 і ВРМ);
* вихрових змішувачів (ПАТ «Північний ГЗК», м. Кривий Ріг; використовувалися виброізолятори ОП-180);
* кувального молота МД 4131 (ВАТ «СхідГЗК», м. Жовті Води; використовувалися виброізолятори ОП-180);
* конусних інерційних дробарок типу КИД (ВАТ «Карелія-Руд», ВАТ «Башкіравтодор», дробарки КИД-300, КИД-450, КИД-600, КИД-900, КИД-1200, КИД-1500, КИД-1750, КИД-2200; використовувалися виброізолятори ВР і ВРМ);
* молоткових дробарок ДМРЕ 1450×1300 (у цеху вуглепідготовки ВАТ «Запорожкокс», м. Запоріжжя, використовувалися виброізолятори ОП-180);
* молоткових дробарок СМ-170В (ВАТ «Макіївкокс», м. Макіївка, використовувалися виброізолятори ОП-180);
* молоткових дробарок ДРМЕ 1000×1000 (ВАТ «Дніпродзержинський КХЗ», використовувалися виброізолятори ОП-180);
* молоткових дробарок ДМРЕ 1450×1300 (ВАТ «Алчевський коксохімзавод», м. Алчевськ; використовувалися виброізолятори ОП-180).

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 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 у лабораторних умовах параметричний ряд вібросейсмоізоляторів із жорсткістю на стиск від 10 до 300 т/см.

Економічний ефект від впровадження робіт у виробництво склав за період з 1974 по 2011 роки – 1 млрд. 355232,711 руб. а з 2000 по 2013 р. 234747590 грн.

**Публікації.** Результати роботи опубліковано в більш ніж 800 друкованих працях, у т.ч. 35 монографіях, тритомному виданні «Механіка пружно-спадкоємних середовищ», в 210 патентах і авторських посвідченнях; розроблені галузеві, Державні й Міждержавний стандарти; захищено 14 докторських і 8 кандидатських дисертацій.

Автори роботи:

|  |  |
| --- | --- |
| **Дирда В.І.** | **Попович І.М.** |
| **Волошин О.І.** | **Пухальський В.М.** |
| **Губін Г.В.** | **Смірнов А.В.** |
| **Морус В.Л.** | **Сорокін О.Г.** |
| **Надутий В.П.** | **Хохотва О.І.** |