

УДК 621.002.5-752

## РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

<sup>1</sup>Булат А.Ф., <sup>1</sup>Дырда В.И., <sup>2</sup>Пухальский В.Н., <sup>1</sup>Лисица Н.И.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>Государственное предприятие «ВостГОК»

## РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛАСТОМЕРІВ ДЛЯ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ І ЗБАГАЧЕННЯ МИНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

<sup>1</sup>Булат А.Ф., <sup>1</sup>Дирда В.І., <sup>2</sup>Пухальський В.Н., <sup>1</sup>Лисиця М.І.

<sup>1</sup>Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>Державне підприємство «СхідГЗК»

## DESIGNING AND CREATION OF VIBRATORY EQUIPMENT WITH ELASTOMERS FOR MINERAL MINING, PROCESSING AND DRESSING

<sup>1</sup>Bulat A.F., <sup>1</sup>Dyrda V.I., <sup>2</sup>Puhalskiy V.N., <sup>1</sup>Lisitsa N.I.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine, <sup>2</sup>Western Mining and Processing Plant

**Аннотация.** В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины интенсивно развиваются научные исследования создания машин с качественно новыми техническими характеристиками на основе использования конструкционных материалов типа эластомеров с наперед заданными физико-механическими характеристиками и параметрами долговечности. Созданные технические разработки и технологии позволяет обеспечить повышение эффективности и безопасности эксплуатации таких машин в особенно сложных технологических процессах добычи, переработки и обогащения минерального сырья. Авторами выполнен полный цикл фундаментальных научных исследований – теоретических, стендовых и промышленных, результаты которых позволили создать и реализовать широкомасштабное внедрение высокоэффективной техники с применением эластомерных элементов, отвечающих требованиям по техническим характеристикам в технологиях добычи руд черных и цветных металлов, угля, урановых руд, нерудных материалов, золота и др.

Работа представляет собой завершённый этап научных исследований, опытно-промышленных испытаний и внедрения новых горных машин с эластомерными элементами.

В работе решена важная научно-техническая проблема создания принципиально нового класса машин с эластомерными элементами – упругими связями и износостойчивыми поверхностями, – которые позволили создать и реализовать широкомасштабное внедрение высокоэффективной техники, отвечающей требованиям по техническим и технологическим характеристикам и безопасности функционирования. Разработаны научные принципы и методология расчётов 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. Разработаны и внедрены в производство 64 типоразмера горных машин: виброгрохоты, вибропитатели, барабанные грохоты, окомкователи, скруббер-бутары и т.п.; изготовлены и внедрены горные питатели 14 типоразмеров свыше 18000 шт., горные машины различного технологического назначения 50 типоразмеров свыше 1450 шт.

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

### 1 Актуальность работы

В начале семидесятых годов прошедшего века горная и горнорудная промышленности Украины столкнулись с необходимостью решения целого ряда проблем при добыче, переработке и обогащении минерального сырья. Процессы

транспортирования, сегрегации, измельчения и др. отличались высокой энергоёмкостью. Устаревшее оборудование не позволяло наращивать темпы производства, отличалось большой металлоёмкостью, низкой надёжностью и недостаточной безопасностью. Обеспечение санитарных норм по таким показателям, как вибрация, шум, запылённость и др. можно было достичь только ценой больших энергетических и экономических затрат. Традиционные машины и оборудование все более и более исчерпывали свои технологические возможности. Необходимы были новые, нестандартные решения. Одним из наиболее перспективных путей выхода из сложившейся ситуации рассматривалась также возможность, а в случае положительных результатов, и широкое применение новых конструкционных материалов, среди которых особое место занимали эластомеры (резины и полиуретаны).

Однако, на то время в горной науке и практике, как в нашей стране, так и за рубежом, отсутствовали представительные результаты фундаментальных теоретических, стендовых и промышленных исследований физико-механических свойств и различных факторов, влияющих на работоспособность эластомеров, тем более, при применении их в качестве конструкционного материала для горных машин.

А ведь именно эластомеры, благодаря своим уникальным свойствам, могли стать недостающим звеном в машинах нового технического уровня и отвечающим необходимым требованиям: соответствие технологии, надёжность и долговечность, высокая степень безопасного функционирования, возможность работы длительное время в сложных, особо сложных, а порой и в экстремальных условиях.

К таким условиям можно отнести высокие, длительное время действующие, стационарные и циклические нагрузки, высокие и низкие температуры, усталостно-абразивный износ, коррозионное воздействие внешней среды, повышенная радиация и др.

Необходимы были исследования физико-механических характеристик эластомеров и их долговечность в различных условиях, т.к. такие факторы, как диссипативный разогрев, старение (нестабильность свойств во времени и от действия внешней среды), развитие повреждённости и т.д. приобретают в ряде случаев доминирующее влияние при выборе параметров и формы долговечных и надёжных конструкций для горных машин нового технического уровня.

Авторами работы выполнен полный цикл фундаментальных научных исследований – теоретических, стендовых и промышленных, результаты которых позволили создать и реализовать широкомасштабное внедрение высокоэффективной техники с применением эластомерных конструкций, отвечающих требованиям по техническим характеристикам и безопасности функционирования в технологиях добычи, переработки и обогащения минерального сырья, а именно руд чёрных и цветных металлов, угля, нерудных материалов, марганцевых руд, драгоценных металлов и др.

На первом этапе такие машины были созданы и применялись при добыче и переработке ураносодержащих руд, а в последствии они получили широкое применение и в других отраслях промышленности.

Применение эластомерных материалов, помимо создания новых машин, позволило также существенно улучшить технологические характеристики и показатели работы существующих машин и оборудования, уменьшить их шум, вибрацию, ликвидировать запылённость, резко снизить выбросы в окружающую среду.

Большинство разработанных машин и технологий успешно применяются в горных технологиях, как в Украине, так и в странах СНГ, в основном России, Казахстане и Узбекистане.

С учётом изложенного работа является своевременной и актуальной.

**Цель работы** – *создание класса машин и их элементов различного технологического назначения с качественно новыми техническими характеристиками на основе применения конструкционных материалов из эластомеров с наперёд заданными параметрами по надёжности, долговечности и физико-механическими свойствами, для повышения эффективности и безопасности работы машин в особо сложных технологических процессах добычи, переработки и обогащения минерального сырья.*

## **2 Сущность исследований и их новизна**

Интенсификация работ в угольной и горнорудной промышленности Украины требовала непрерывного совершенствования существующих и создания новых технологий, что в свою очередь приводило к необходимости модернизации старых и создания принципиально новых машин для реализации этих технологий. С учётом специфики технологий ведения горных работ в различных отраслях промышленности эти задачи решались разными методами, в том числе и с использованием новых конструкционных материалов. Однако, все большее признание получала концепция, предполагающая введение в структурную схему машин упругих звеньев из эластомеров и полиуретанов.

Эластомеры принадлежат к упруго-наследственным средам и по своему химическому составу и упругим свойствам резко отличаются от других конструкционных материалов прежде всего высокими диссипативными характеристиками и большими деформациями. Они ближе к биоматериалам и поэтому многие исследователи называют их материалами будущего.

Именно эластомерные элементы, введённые в структурные схемы машин, способствуют снижению вибронагруженности, звукового давления, повышению долговечности, надёжности и безопасности. Все достижения в области горного машиностроения, вибрационной техники и т.д. в той или иной степени связаны с применением эластомеров как конструкционных материалов.

Эластомеры занимают совершенно особое место среди материалов, предназначенных для изготовления ответственных элементов машин, работающих в экстремальных условиях. Такое положение обусловлено их уникальными свойствами, позволяющими, в частности, создавать связи, энергоёмкость которых при равных габаритах и весе на порядок и более превышает энергоёмкость соответствующих стальных конструкций, а трудоёмкость изготовления и стоимости снижаются при замене металлических упругих элементов эластомерными ещё

существеннее. Большинство высокоэффективных машин обязаны своим созданием именно эластомерным конструкционным элементам.

Для обеспечения широкого использования эластомеров как конструкционного материала необходимо развитие прикладной механики твёрдого деформируемого тела, применительно к особенностям их механической реакции, состоящей в способности к большим обратным деформациям, существенной релаксации и демпфирования. Основными задачами при этом являются построение уравнений состояния, адекватно отображающих поведение материала в широком диапазоне воздействий, методов и средств идентификации математических моделей, методов анализа и синтеза элементов машин, работающих в различных условиях, и методов оптимального синтеза машин с эластомерными элементами. При этом особое значение имеет выявление новых эффектов, присущих машинам с эластомерными связями, и целенаправленное использование этих эффектов при создании новых машин.

Имеющиеся работы по прикладной механике эластомеров посвящены почти исключительно вопросам, связанным с учётом нелинейности соотношений между усилиями и перемещениями при больших деформациях. Релаксация и демпфирование рассматривались, в лучшем случае, как малые и несущественные поправки, для учёта которых вводились эмпирические поправочные коэффициенты.

В то же время релаксационные эффекты и диссипация энергии в нагруженных эластомерных элементах настолько существенны, что они в большинстве случаев определяют поведение машин, их долговечность и надёжность.

Представленная работа посвящена устранению указанного выше пробела [1-10]. Авторы разработали методы расчёта и получили экспериментальные данные, обеспечивающие учёт как нелинейных эффектов в эластомерных элементах, так и эффектов релаксации и демпфирования. Использование методов наследственности позволили построить математические модели и эффективные методики их идентификации на базе уникального комплекса экспериментальных данных о механической реакции резины в различных условиях. Разработаны также методы комплексного расчёта резиновых элементов на долговечность, методики и рекомендации по прогнозированию поведения машин с резиновыми связями в условиях длительного нагружения и при воздействии различных агрессивных сред.

Следует подчеркнуть, что исследования по динамике машин и механике эластомеров проводились длительное время – более 45 лет. В результате были получены уникальные результаты в лабораторных и промышленных условиях по реологическим, теплофизическим и усталостным характеристикам эластомерных материалов. Некоторые данные (по старению и долговечности эластомеров в промышленных условиях) нарабатывались на протяжении от 16 до 40 лет непрерывных наблюдений. Такие эксперименты вряд ли могут быть повторены ещё раз не только по экономическим соображениям, но и по причине временного фактора.

Ценность таких результатов заключается также в том, что в большинстве случаев они проводились на натуральных образцах, что важно для инженерной практики при проектировании и расчёте современных машин.

Результаты исследований особенно актуальны в настоящее время, когда при совершенствовании технологий требуется создание новых высокоэффективных машин. При этом наличие разработанных методов расчёта и данных о параметрах эластомерных конструкций значительно облегчают этот процесс.

В результате выполнения огромного объёма научно-исследовательских работ и промышленных испытаний авторами были созданы и внедрены в производство различные конструкции эластомерных элементов (упругие связи, виброизоляторы, защитные футеровки и т.д.); с их применением была разработана высокоэффективная техника (питатели, грохоты, скруббер-бутары и т.д.) и на её базе созданы новые энерго- и ресурсосберегающие технологии добычи, переработки и обогащения минерального сырья.

**Авторами работы получены следующие научные результаты:**

### **1. В области фундаментальных теоретических исследований:**

- создана прикладная механика деформирования и разрушения эластомерных материалов, как упругонаследственных сред;
- на основе разработанных структурно-синергетических моделей деформирования и разрушения упруго-наследственных сред разработаны три критерия разрушения:
  - энергетический критерий диссипативного типа;
  - энтропийный критерий;
  - критерий по повреждённости структуры.
- установлена неизвестная ранее закономерность теплового старения резин в условиях циклического деформирования;
- установлена неизвестная ранее закономерность скачкообразного фазового перехода метастабильного состояния эластомеров к лабильному, предшествующего их усталостному разрушению при циклическом нагружении;
- установлена неизвестная ранее закономерность разрушения эластомеров при длительном циклическом нагружении.

Все три установленные закономерности зарегистрированы в качестве научных открытий Международной ассоциацией авторов научных открытий и изобретений (диплом № 220, 234, 461).

### **2. В области прикладных теоретических исследований**

**2.1. Впервые разработаны методы расчёта линейных и нелинейных динамических систем с эластомерными элементами, параметры которых изменяются во времени и от действия внешней агрессивной среды:**

- разработаны методы расчёта колебаний резонансных и нерезонансных механических систем, основные параметры которых изменяются со временем. Получены конкретные соотношения для систем, упруго-наследственные связи которых изменяют свои характеристики при длительном циклическом нагружении и от действия активной внешней среды (в основном от ядерных излучений).

- разработаны методы расчёта нелинейных колебательных систем с наследственными связями, реологические параметры которых зависят от температуры. При этом впервые обнаружено и исследовано явление температурной неустойчивости динамической системы, обусловленное влиянием температуры на реологические параметры эластомера.

2.2. Впервые разработаны методы комплексного расчёта эластомерных конструкций тяжёлых горных машин, работающих в экстремальных условиях, с целью повышения их долговечности, надёжности и качества:

- разработаны современные физические и механические методы изучения свойств эластомеров как конструкционных материалов, в том числе методы исследований деформационных, усталостных и термомеханических характеристик; количественные и качественные исследования кинетики микро-повреждённости резин с использованием методов ИК-спектроскопии, методы фрактографических исследований поверхностей разрушений образцов и элементов конструкций и т.д.;
- разработана термодинамическая  $p$ -модель циклического разрушения эластомеров и на её базе энергетический  $\psi$ -критерий диссипативного типа и критерий разрушения, связанный с развивающейся в материале повреждённости;
- разработан универсальный  $\beta$ -метод учёта эффекта особенностей на торцах резинометаллических деталей при их деформировании;
- впервые разработана теория и оригинальные континуальные модели деформирования вибросейсмоблоков при длительных статических и интенсивных динамических нагрузках; впервые проведён фрактальный анализ поверхности разрушения резин при длительном старении в условиях циклических нагрузок; впервые разработаны методы расчёта силовых и диссипативных характеристик вибросейсмоблоков с учётом старения материала;
- разработаны алгоритмы расчёта долговечности систем с учётом неустойчивости их структурных параметров во времени;
- установлено свойство резины уменьшать интенсивность изменения своих физико-механических характеристик при продолжительных циклических нагрузках из-за релаксации напряжений в объёме микротрещин материала, обусловленной повышением диссипации энергии за счёт изменения структуры материала;
- разработаны методы расчётов ресурса резиновых виброизоляторов тяжёлых горных человеко-машинных систем (критерии оценки виброзащиты, критерии отказы виброизоляторов, модели разрушения, методы расчётов ресурса виброизоляторов);
- для отечественных типов резины получены данные о влиянии радиационного излучения на их физико-механические характеристики;
- с использованием результатов многолетних исследований эластомерных элементов разработаны критерии их отказов, обоснованы модели отказов, которые позволяют определить основные показатели надёжности на стадии проектирования резинометаллических элементов; выполнена оценка показателей

надёжности и прогноз надёжности виброизоляторов с учётом изменения их параметров жёсткости;

- разработан метод расчётов силовых и диссипативных характеристик вибростойб (ВСБ) с учётом старения материала и условий эксплуатации;
- разработаны методы расчётов и выбора параметров вибростойб с заданными технологическими характеристиками; для защиты особо опасных объектов разработана новая технология с применением вибростойб;
- разработана структурно-синергетическая модель деформирования и разрушения защитных покрытий мощных вибрационных питателей для выпуска и доставки ураносодержащих руд.

### 2.3. Впервые разработаны методы расчёта эластомерных конструкций, работающих при усталостно-абразивном износе:

- исследован процесс деформирования и разрушения резиновой футеровки в шаровых барабанных мельницах и в мельницах мокрого самоизмельчения; разработан метод расчёта резиновых защитных футеровок при ударных нагрузках;
- разработана синергетическая модель взаимодействия загрузки и резиновой футеровки;
- на основе энергетического подхода построена физическая модель абразивного износа резиновой футеровки горных мельниц, построен алгоритм определения энергии разрушения от абразивного изнашивания поверхностного слоя резины; определена энергия разрушения при прямых экспериментальных исследованиях;
- разработан алгоритм расчётов параметров защитных футеровок с учётом их усталости от действия агрессивной среды и при интенсивных нагрузках;
- на основе двухкритериального уравнения разработан алгоритм расчёта долговечности резиновой футеровки шаровых мельниц.

## **3 Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- разработаны инженерные методики расчёта динамических систем с эластомерными элементами, параметры которых изменяются во времени и от действия внешней агрессивной среды;
- разработаны инженерные методики выбора параметров и расчёта силовых характеристик эластомерных элементов (вибростойб, защитных футеровок, рабочих поверхностей машин и т.д.), работающих в экстремальных условиях;
- разработаны инженерные методики прогнозирования долговечности эластомерных элементов машин, работающих при длительных циклических нагрузках и абразивно-усталостном износе;
- созданы и внедрены в производство параметрические ряды эластомерных элементов, новые типы машин и новые энерго- и ресурсосберегающие технологии добычи, переработки и обогащения минерального сырья;

Материалы работы обладают общностью и пригодны для расчёта других типов эластомерных элементов.

#### 4 Внедрение результатов работы в промышленность

##### Внедрение в производство эластомерных элементов.

Разработаны, созданы и серийно внедрены в производство следующие параметрические ряды эластомерных элементов: блоки резиновые типа БР и резинометаллические типа БРМ; шарниры резинометаллические типа ШРМ; виброизоляторы резиновые типа ВР; виброизоляторы резинометаллические типа ВРМ; виброизоляторы типа ОП-180; вибросейсмоизоляторы типа ВРМС, ВСБ и ВС (рис. 1); резиновые герметизаторы типа Г-200; резиновые упругие муфты типа МУЛ; упругие карданы; резиновые и резинометаллические футеровки рудоизмельчительных мельниц; резиновые футеровки вибропитателей и комплексов; разработаны и отработаны в промышленных условиях резиновые футеровки горных вагонеток и окомкователей.

Начиная с 1967 года по настоящее время было изготовлено и поставлено предприятиям-изготовителям вибрационной техники более 200 тысяч эластомерных элементов.

##### Внедрение в производство горных машин и аппаратов.

На базе эластомерных элементов с участием авторов разработаны, созданы и серийно внедрены в производство следующие параметрические ряды вибромашин: вибрационные горные питатели типов ПВГ, ВНР, ПВМ (рис. 2 – рис. 4); комплексы типов КГВ-1, ПВС, ПВСТ и др. Всего разработано и внедрено 14 типов вибрационных машин для выпуска и доставки минерального сырья; вибрационные конвейеры, бункерные питатели и конвейеры-грохоты (вибрационные конвейеры однотрубные резонансные типа КВ1Т; вибрационные конвейеры двухтрубные резонансные типа КВ2Т (рис. 5, рис. 6); вибрационные конвейеры вертикальные зарезонансные типа КВВ; вибрационные бункерные питатели типа ПВБ; вибрационные питатели-грохоты типа ПГВ (рис. 7); вибрационные конвейеры-грохоты типа КГВ); вибрационные машины и аппараты (вибросмесители типа СВ; вибросита типа СВ (рис. 8); вибромельницы типа МВК, МВВ, МВШ); вибрационные теплообменные аппараты (сушилки вибрационные типа СВТ; СВП; СВК; вибрационные грануляторы типа ВИГ); конусные инерционные дробилки типов КИД-300, КИД-450; КИД-900; КИД-1500; КИД-1750; КИД-2200 (рис. 9).

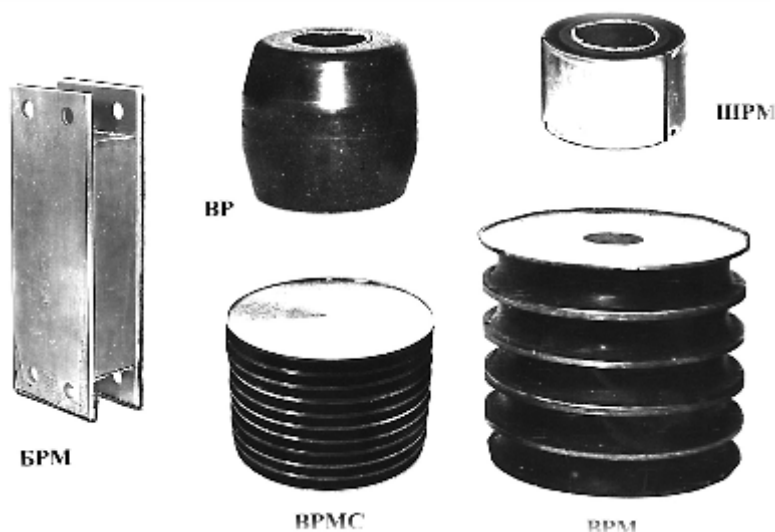
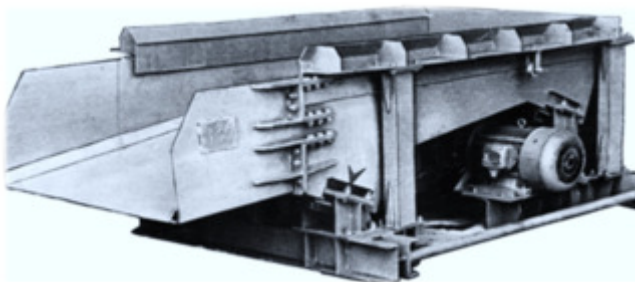
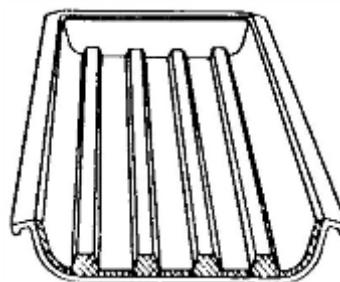


Рисунок 1 – Эластомерные элементы





Вибропитатель типа ВПР-4м с резиновой упругой подвеской (типа BPM)



Рабочий орган вибропитателя с резиновой футеровкой

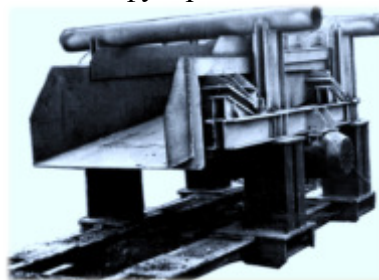


Рисунок 2 – Вибрационные питатели



Рисунок 3 – Вибропитатель для выпуска руды из блока



Рисунок 4 – Вибропитатель-грохот под бункером

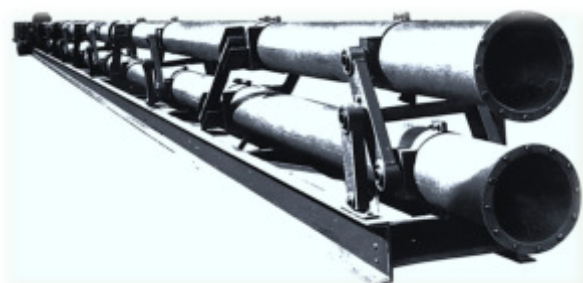


Рисунок 5 – Вибрационный конвейер типа KB2T

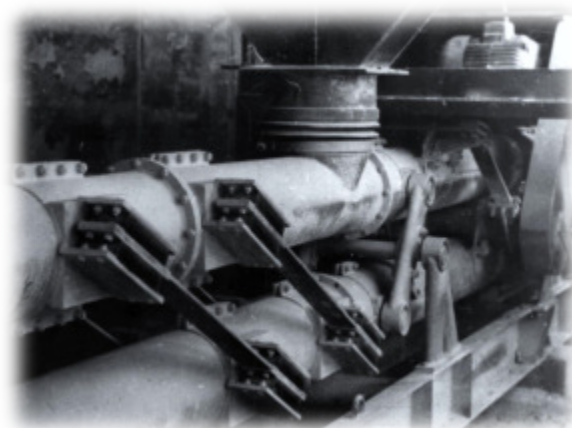


Рисунок 6 – Вибрационные конвейеры типа KB2T-03 с герметизаторами Г-200



Рисунок 7 – Вибрационный конвейер-грохот типа КГВ-1,1/10,5

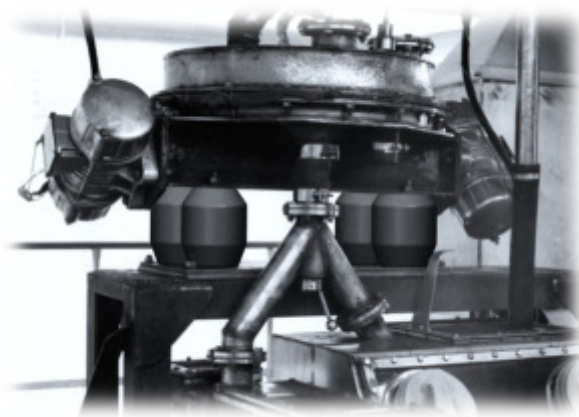


Рисунок 8 – Вибросито

Разработано свыше 64 типоразмеров вибрационных машин и аппаратов различного технологического назначения: горных питателей, виброконвейеров, конвейеров-грохотов, бункерных питателей, смесителей, сит, мельниц, грануляторов, фильтров, печей, экстракторов, сушилок и другого вибрационного оборудования с эластомерными упругими звеньями и изоляторами; всё оборудование отличается высокими технико-эксплуатационными показателями, надёжностью, долговечностью, экологической чистотой (до санитарных норм снижены шум и вибрация, практически нет просыпей и пыли химически вредных веществ).

Изготовлено и внедрено в производство: горных питателей 14 типоразмеров свыше 18000 шт.; в настоящее время выпускается и внедряется в производство 25-30 шт. в год только для нужд ВостГОКа; вибрационных машин и аппаратов: разработано более 50 типоразмеров; изготовлено и внедрено свыше 1450 штук. В настоящее время большинство вибромашин и аппаратов изготавливаются и внедряются различными фирмами в странах СНГ.

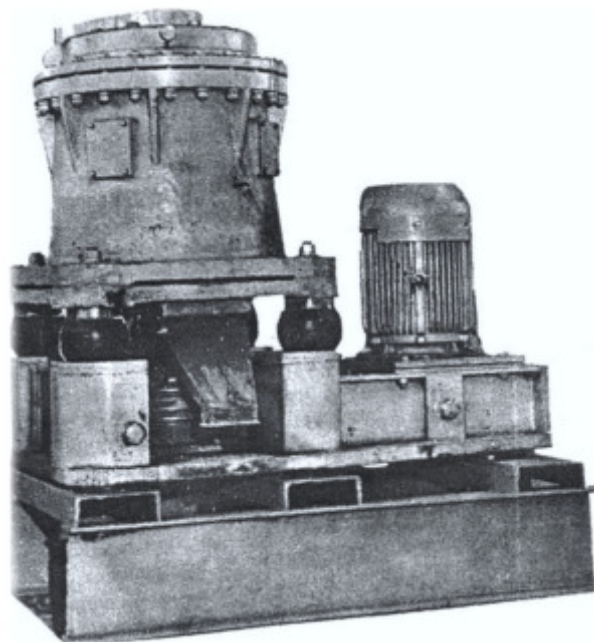


Рисунок 9 – Дробилка типа КИД

### **Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий для добычи, переработки и обогащения минерального сырья**

**Разработка и внедрение подземной циклично-поточной технологии выпуска и доставки руды.**

Созданный и массово внедрённый в производство параметрический ряд вибропитателей, предназначенных для всего многообразия технологических схем выпуска, доставки и погрузки горной массы при добыче рудных залежей от

жилых до весьма мощных, позволил впервые разработать и внедрить подземную малоотходную циклично-поточную технологию (ЦПТ) без постоянного присутствия людей в забое.

До 1992 г. на горнодобывающих предприятиях Минсредмаша СССР ежегодно находилось в эксплуатации 800-1000 машин и с их применением добывалось 95 % руды; на предприятиях Минчермета и Минцветмета соответственно 150-200 машин и 60-75 % руды. Вибропитатели поставлялись также зарубежным горнорудным предприятиям. Всего было изготовлено и внедрено свыше 18000 вибрационных машин и комплексов различного технологического назначения.

На сегодняшний день ЦПТ успешно применяется на ВостГОКе; ежегодно изготавливается и эксплуатируется в производстве 25-30 машин.

**Разработка, создание и внедрение технологии герметичного транспортирования и обработки сыпучих и химически активных веществ.**

На основе вибрационных машин и аппаратов создана уникальная технология герметичного транспортирования и обработки сыпучих, токсичных, пылящих, радиоактивных и других вредных для здоровья обслуживающего персонала веществ. Технология отличается универсальностью и позволяет наряду с механическими процессами (транспортирование, смешение, измельчение, грохочение) осуществлять также тепломассообменные процессы обработки минерального сырья: сушку, охлаждение, растворение, экстракцию и т.д. Технология широко используется при обогащении ураносодержащих руд, а также в других отраслях промышленности: химической, биологической, обработки пищевых материалов и т.д.

**Создание новой прогрессивной ресурсо- и энергосберегающей RES-технологии измельчения руд в шаровых мельницах с резиновой футеровкой.**

Применение резиновых футеровок позволило создать новую ресурсо- и энергосберегающую RES-технология измельчения руд в шаровых мельницах. Благодаря этой технологии, например, для мельниц МШЦ 3,6×5,5 второй и третьей стадии измельчения железных руд (Северный горно-обогатительный комбинат – СевГОК, г. Кривой Рог, Украина) получены следующие результаты: прирост готового класса увеличился на 17-29 %; расход мелющих тел снизился на 10 %; удельный расход электроэнергии в целом на технологическую секцию снизился на 10-12 %.

**Создание эффективной технологии вибро- и сейсмозащиты.**

На базе разработанных резиновых и резинометаллических вибросейсмоизоляторов типа ВР, ВС, ВРМС, ОП-180, ВРМ и других разработаны эффективные системы защиты тяжёлых машин, зданий и сооружений. Разработаны, созданы и внедрены в производство виброзащитные системы таких машин и оборудования:

- вентиляторов различных типов в т.ч. во взрывозащищённом исполнении использовались виброизоляторы ОП-180 ВР и ВРМ);
- окомкователей-смесителей (з-д Азовсталь, з-д им. Ильича, г. Мариуполь; использовались виброизоляторы ОП-180 и ВРМ);

- вихревых смесителей (ОАО «СевГОК», г. Кривой Рог, использовались виброизоляторы ОП-180);
- ковочного молота МД 4131 (ОАО «ВостГОК», г. Жёлтые Воды, использовались виброизоляторы ОП-180);
- конусных инерционных дробилок типа КИД (ОАО «Карелия-руд», ОАО «Башкиравтодор», дробилки КИД-900, КИД-1200, КИД-1500; использовались виброизоляторы ВР и ВРМ);
- молотковых дробилок ДМРЕ 14,5×13 (в цехе углеподготовки ОАО «Запорожкокс», г. Запорожье, использовались виброизоляторы ОП-180);
- молотковых дробилок СМ-170В (ОАО «Макеевкокс», г. Макеевка, использовались виброизоляторы ОП-180);
- молотковых дробилок ДРМЭ 1000×1004 (ОАО «Днепродзержинский КХЗ», использовались виброизоляторы ОП-180);
- молотковых дробилок ДРМРЭ 1450×1300 (ОАО «Алчевский коксохимзавод», г. Алчевск; использовались виброизоляторы ОП-180).

Внедрение виброзащитных систем позволило уменьшить амплитуды виброускорений опорных конструкций перекрытий цехов в 10-12 раз, уменьшить шум и довести уровни шума и вибраций до требований санитарных норм, как для зданий, так и для обслуживающего персонала.

Виброзащитные системы машин и оборудования прошли Государственные приёмочные испытания.

Разработана номенклатура перспективных способов защиты КВО (зданий и сооружений) от аварий и катастроф природного, техногенного и террористического характера, которые могут обеспечить защиту КВО от шума, вибраций, сейсмоударов и взрывной волны; разработан и опробован в лабораторных условиях параметрический ряд вибросейсмоизоляторов с жёсткостью на сжатие от 10 до 300 т/см.

Разработаны отраслевые, Государственный и Межгосударственный стандарты, а также государственные строительные нормы [8].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прикладная механика упруго-наследственных сред. В 4-х томах / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, В.Г. Карнаухов, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Киев: Наукова думка, 2011-2014.
2. Булат, А.Ф. Фракталы в геомеханике / А.Ф. Булат, В.И. Дырда. – Киев: Наукова думка, 2005. – 372 с.
3. Эластомеры в горном деле / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2016. – 313 с.
4. Техника и технологии для добычи, подготовки и обогащения минерального сырья на базе эластомерных материалов / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, А.И. Хохотва // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2013. – Вып. 113. – С. 3-43.
5. Машины и технологии для подземной добычи ураносодержащих руд на базе эластомерных конструкций / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, В.Н. Пухальский // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2013. – Вып. 113. – С. 44-53.
6. Резиновые футеровки рудоизмельчительных мельниц в экстремальных условиях / В.И. Дырда, Р.П. Зозуля, Л.Г. Головкин, А.В. Стойко, И.В. Хмель. – Днепр, 2018. – 276 с.
7. Обоснование и выбор параметров резинометаллических сейсмоопор / В.И. Дырда, Н.И. Лисица, Н.Г. Марьенков [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. – 2009. – Вып. 84. – С. 17-23.
8. Будівництво в сейсмічних районах України. ДБН В.1.1-12:2014. [Чинний від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F., Dyrda, V.I., Zvyagilskiy, Ye.L. and Kobets, A.S. (2011-2014), *Prikladnaya mekhanika uprugogo-nasledstvennykh sred*. [Applied mechanics of elastic-hereditary media], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Bulat, A.F. and Dyrda, V.I. (2005), *Fraktaly v geomekhanike* [Fractals in geomechanics], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
3. Bulat, A.F., Dyrda, V.I. and Zvyagilskiy, Ye.L. (2016), *Elastomery v gornom dele* [Elastomers in mining], Naukova dumka, Kiev,



Ukraine.

4. Bulat, A.F., Dyrda, V.I. and Khokhotva, A.I. (2013), "Technique and technics for extraction, preparations and upgradings of mineral raw materials on the basis of elastomeric materials", *Geo-technical mechanics*, no. 113, pp. 3-43.
5. Bulat, A.F., Dyrda, V.I. and Puhalskiy, V.N. (2013), "Machines and technologies for underground mining uraniferous ores on the basis of elastomeric constructions", *Geo-technical mechanics*, no. 113, pp. 44-53.
6. Dyrda, V.I., Zozulya, R.P., Golovko, L.G., Stoiko, A.V. and Khmel, I.V. (2018), *Rezinovyye futerovki rudoizmelchitelnykh melnits v ekstremal'nykh usloviyakh* [Rubber lining of ore-grinding mills in extreme conditions], Zhurfond, Dnipro, Ukraine.
7. Dyrda, V.I., Lisitsa, N.I., Marienkov, N.G., Tverdokhle, T.E., Zabolotnaya, E.Yu., Lisitsa, N.N. and Tymko, N.V. (2009), "Justification and choosing the parameters of rubber-metal Seismic bearing", *Geo-technical mechanics*, no. 84, pp. 17-23.
8. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy (2014), *DBN V.1.1-12:2014. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh Ukrainy* [SCN V.1.1-12:2014. Construction in seismic regions of Ukraine], Ukraine.

#### Об авторах

**Буллат Анатолий Фёдорович**, Академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, office.igtm@nas.gov.ua

**Дырда Виталий Илларионович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, vita.igtm@gmail.com

**Пухальский Виктор Николаевич**, кандидат технических наук, главный инженер ВостГОК, Жёлтые Воды, Украина, referent@vostgok.dp.ua

**Лисица Николай Иванович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, lisitsa.n.i@gmail.com

#### About the authors

**Bulat Anatoly Fedorovich**, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Director of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, office.igtm@nas.gov.ua

**Dyrda Vitaly Illarionovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, vita.igtm@gmail.com

**Pukhalsky Viktor Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Chief Engineer in Eastern Mining and Processing Plant, Jeltje Vody, Ukraine, referent@vostgok.dp.ua

**Lisitsa Nikolay Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, lisitsa.n.i@gmail.com

**Анотація.** В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України інтенсивно розвиваються наукові дослідження створення машин з якісно новими технічними характеристиками на основі використання конструкційних матеріалів типу еластомерів з наперед заданими фізико-механічними характеристиками і параметрами довговічності. Створені технічні розробки і технології дозволяють забезпечити підвищення ефективності та безпеки експлуатації таких машин в особливо складних технологічних процесах видобутку, переробки і збагачення мінеральної сировини. Авторами виконаний повний цикл фундаментальних наукових досліджень – теоретичних, стендових і промислових, результати яких дозволили створити і реалізувати широкомасштабне впровадження високоефективної техніки із застосуванням еластомерних елементів, що відповідають вимогам за технічними характеристиками в технологіях видобутку руд чорних і кольорових металів, вугілля, уранових руд, нерудних матеріалів, золота та ін.

Робота являє собою завершений етап наукових досліджень, дослідно-промислових випробувань та впровадження нових гірничих машин з еластомерними елементами.

В роботі вирішено важливу науково-технічну проблему 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.

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. Розроблено і впроваджено у виробництво 64 типорозміри гірничих машин: віброгрохоти, віброживильники, барабанні грохоти, окомкувачі, скруббер-бутари тощо; виготовлено і впроваджено гірничих живильників 14 типорозмірів понад 18000 шт., гірничих машин різного технологічного призначення 50 типорозмірів понад 1450 шт.

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

**Abstract.** Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov of NAS of Ukraine constantly supports researches on creation of machines with qualitatively new technical characteristics on the basis of use of different engineering structural materials such as elastomers with predetermined physic and mechanical characteristics and longevity parameters. The created technical designs and technologies allow to upgrade performance and safety operation of such machines when used in difficult technological processes of mineral mining, processing and dressing. The authors carried out a complete cycle of fundamental scientific researches – theoretical, bench and industrial, the results of which allowed to create and realize a large-scale implementation of high-performance equipment with elastomeric elements, technical characteristics of which meet all requirements, into technologies for mining ores of ferrous and non-ferrous metals, coal, uranium ores and nonmetallic materials, gold, etc.

The paper presents the completed stage of research, industrial testing and implementation of new mining machines with elastomeric elements.

In this work, the authors solved an important scientific and technical problem of creating a fundamentally new class of machines with elastomeric elements with elastic constraints and wear-resistant surfaces, which helped to create and realize a large-scale implementation of highly effective equipment, which met requirements for technical and technological performance and safety operation. Scientific principles and methodology of calculation of mining machines with elastomeric elements are developed, and a fundamental theory of deformation and fracture of elastomeric materials as elastic-hereditary media is created.

The created scientific and technical designs and technologies allow to improve efficiency and safety operation of these machines when used in the hard processes of mineral mining, processing and dressing. Sixty four dimension-types of mining machines are designed and implemented: vibrating screens, vibrating feeders, drum screens, pelletizers, scrubber-trommels, etc.; more than 18000 mine feeders of 14 dimension-types and more than 1450 mining machines of 50 dimension-types for various technological functioning are manufactured and implemented.

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

*Статья поступила в редакцию 01.02.2018*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым*