

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

НАДУТЫЙ Владимир Петрович

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
РАБОТЫ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

05.15.16 — «Горные машины»

А в т о р е ф е р а т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**



00759662 (Z)

Диссертацией я

Работа выполнена в Институте
Национальной Академии наук Украины

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:

заслуженный деятель науки и техники Украины,
лауреат Государственной премии Украины,
академик НАН Украины, докт. техн. наук, профессор

ПОТУРАЕВ
ВАЛЕНТИН НИКИТИЧ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПОНЕНТЫ:

1. Академик Академии инженерных наук
Украины, докт. техн. наук, профессор
2. Доктор технических наук
3. Доктор технических наук, профессор

ФРАНЧУК
ВСЕВОЛОД ПЕТРОВИЧ
ЧЕТВЕРИК
МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ
УЧИТЕЛЬ
АЛЕКСАНДР ДАВИДОВИЧ

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ – Государственный научно-исследовательский и
проектный институт по обогащению и агломерации
руд черных металлов (Механобрчермет,
г. Кривой Рог)

Защита состоится "19" апреля 1996 г в 13³⁰ час на заседании
специализированного совета Д.03.10.02 при Институте геотехнической
механики НАН Украины по адресу:

320095, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геотехнической
механики НАН Украины.

Автореферат разослан "15" марта 1996 г.

Ученый секретарь специализированного
совета, канд. техн. наук

ПЕРЕПЕЛИЦА В.Г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ И СТЕПЕНЬ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕМАТИКИ. Разработка полезных ископаемых является одной из важнейших отраслей народного хозяйства Украины. Совершенствование процесса переработки добытого сырья решает комплекс проблем природопользования: технологических, энергетических, экологических, социальных, поэтому разработка методов и средств, связанных с совершенствованием переработки горного сырья, является чрезвычайно актуальной. При добыче и переработке минерального сырья исключительно большое внимание уделяется процессам дробления и классификации. Это связано с подготовкой руд черных и цветных металлов к обогатительному и металлургическому переделу, с добычей сырья для химического производства и строительных материалов.

Дробление относится к одному из самых энергоемких процессов при переработке горной массы, поэтому от выбора схемного решения цикла, рационального подбора параметров оборудования и их оптимизации зависит количество и стоимость конечного продукта. Дробление и классификация являются одними из основных операций рудоподготовки, поскольку им подвергаются все добываемые руды черных и цветных металлов, все нерудные материалы для металлургии и сырье для горной химии, около 80 % сырья для строительных материалов. Развивающиеся рыночные отношения и современные технологии обогащения и переработки руд требуют постоянного повышения качества сырья и снижения его себестоимости. Для совершенствования циклов дробления необходимо выполнить следующие требования: 1) обеспечить отбор готового класса крупности с высокой эффективностью на всех промежуточных этапах цикла дробления; 2) обеспечить снижение крупности железной руды, подаваемой на первую стадию измельчения с 25-20 мм до 16-15 мм, что позволит повысить содержание железа в концентрате на 0,3-0,4 %, а прирост производительности мельниц первой стадии составляет 10 %; 3) увеличить долю дробления в цикле рудоподготовки по отношению к первой стадии

измельчения, поскольку дробление в 3-4 раза менее энергоемко по отношению к измельчению; 4) разработать современные методы оперативного анализа и управления работой дробильно-сортировочного комплекса (ДСК). При существующем оборудовании ДСК удовлетворение первых трех требований позволит увеличить производительность дробилок (особенно мелкого дробления) и цикла в целом при наличии высокоэффективных и надежных грохотов с увеличенным сроком службы сит и внедрением замкнутых циклов на контрольное грохочение. Удовлетворение четвертого требования позволит принимать оптимальные решения по выбору параметров дробилок, грохотов и технологических параметров цикла, что служит базой для внедрения автоматической системы управления технологическим процессом (АСУТП).

Значительный вклад в совершенствование циклов дробления внесли коллективы институтов Механобр, Механобрчермет, ИГД им. А.А.Скочинского, ИГД СО РАН, ИГТМ НАН Украины, МГИ, ГТАУ, КТУ, Гипромашобогащение, Гипроуглеобогащение и др., а также известные ученые С.Е.Андреев, В.А.Перов, В.В.Зверевич, Х.П.Разумов, Е.Е.Серго, В.А.Масленников, Е.Г.Баранов, Ю.Г.Качан, И.И.Блехман, Н.А.Иванов, М.С.Четверик, Н.И.Сокур, А.А.Ширяев, Г.А.Денисов, Л.П.Зарогатский, Дж.Линч, Д.Вестон, Р.Хукки, Ф.Бонд, П.Смит и др. Обоснованию целесообразности использования замкнутых циклов дробления на фабриках железорудных ГОКов, выбору и расчету параметров оборудования посвящены работы В.Н.Потураева, А.Г.Червоненко, С.Ф.Шинкаренко, Ю.В.Беляева, М.П.Краминского и др.

Большой вклад в создание научных основ, разработку и внедрение горной вибротехники и совершенствование процессов переработки горного сырья на этой основе внесли научные школы, созданные А.А.Скочинским, А.О.Спиваковским, А.В.Докукиным, К.В.Фроловым, В.Н.Потураевым, В.И.Ревниевцевым, И.И.Блехманом, И.Ф.Гончаревичем, М.В.Хвингия,

Э.Э.Лавенделом, а также известные ученые; В.П.Франчук, А.Г.Черво-
ненко, Б.И.Крюков, И.И.Быховский, В.И.Дырда, И.И.Каварма, Н.Г.Кар-
тавий, Л.М.Литвин, А.Д.Учитель, А.Я.Тишков, А.И.Бажал, В.П.Повидай-
ло, Л.А.Вайсберг, Э.А.Корнет и др.

Проблема состоит в том, что проводимые вручную опробования по-
казателей работы ДСК службой технического контроля для анализа его
работы мало информативны, трудоемки, не дают прогноза и методически
не приемлемы для АСУТП. Для принятия оптимальных решений необходимо
анализировать процесс при изменении конструктивных, режимных и тех-
нологических параметров основного оборудования с привлечением вычис-
лительной техники. Недостаточное развитие модельных представлений
ДСК и отдельных его узлов, отсутствие программного обеспечения, а
также низкая эффективность и надежность применяемых средств класси-
фикации не позволяет реализовать новые технологии, интенсифицировать
процессы рудоподготовки и создать современные средства их управления.
Поэтому, повышение технологических и эксплуатационных показателей
средств классификации сырья по крупности в циклах дробления, позво-
ляющих реализовать прогрессивные требования технологии и интенсифи-
цировать процесс рудоподготовки, а также разработка научного метода
анализа работы ДСК, позволяющего оперативно принимать решения по его
рациональному управлению, является актуальной научной проблемой, име-
ющей важное народнохозяйственное значение.

Диссертация выполнена в соответствии с планами важнейшей тема-
тики государственных целевых комплексных программ "Руда", МНТК "Ме-
ханобр" на 1989-1993 гг и академическими программами фундаментальных
исследований в области создания высокоэффективного оборудования для
горнодобывающей и металлургической промышленности. Автор выражает
глубокую благодарность коллективу отдела геодинамических систем и
вибрационных технологий института, принимавшему участия в разработке

проблемы, а также глубокую признательность доктору технических наук, профессору А.Г.Червоненко за ценные советы при выполнении диссертации.

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Анализируя проблему с позиций опыта указанных организаций и научных школ, для ее решения в работе сформулированы основная идея работы, цель и задачи исследований.

Идея диссертации состоит в учете множественных связей между параметрами закона распределения грансостава, величинами грузопотоков и параметрами оборудования для моделирования и анализа работы циклов дробления, а также в использовании высокоэффективных средств классификации для управления, совершенствования и интенсификации процессов в циклах.

Целью работ является совершенствование и повышение эффективности работы ДСК на основе разработки научных методов анализа процесса, рационального подбора оборудования, оптимизации его параметров и разработки высокоэффективных способов и средств классификации.

Задачи исследований:

1. Разработать математическую модель цикла дробления, учитывающую конструктивные, режимные и технологические параметры дробилок и грохотов.
2. Разработать алгоритм расчета основных и оптимизации управляющих параметров дробилок, грохотов и цикла дробления в целом и на этой основе разработать метод анализа работы цикла.
3. Разработать высокоэффективные средства и способы классификации в циклах дробления, исследовать влияние их режимных и конструктивных параметров на технологические показатели грохочения, технологической нагрузки на напряженное состояние грохота.
4. Разработать методику расчета эластичных элементов рабочих ор-

ганов виброгрохотов с учетом реологических свойств материала и создать параметрический ряд сит нового технического уровня.

5. Разработать способ и устройство для определения физико-механических и реологических параметров материала сит грохотов и на их основе разработать рекомендации по выбору перспективных материалов и технологических режимов изготовления разработанных конструкций рабочих поверхностей.

6. Осуществить опытно-промышленную проверку и внедрение разработанного метода анализа работы цикла, средств интенсификации работы дробильно-сортировочных комплексов, а также методик их расчета.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ, ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ РАБОТЫ И ЕЕ НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ. Научная ценность работы заключается в : 1) новом решении проблемы теоретического анализа работы циклов дробления на основе регрессионной статистической модели цикла, учитывающей закон распределения гранулометрического состава материальных потоков дробилок и грохотов, а также связь параметров распределения с конструктивными и режимными параметрами оборудования, что позволило автоматизировать процесс анализа работы цикла и подобрать оптимальные параметры оборудования; 2) в доказательстве, что линейная множественная регрессионная модель цикла дробления с достаточной точностью адекватно описывает его работу, а при оптимизации параметров оборудования цикла предложен градиентный метод поиска максимума функции в области задания варьируемых параметров; 3) в учете реологических свойств полимерных материалов сит виброгрохотов при расчете их упругих элементов, в методе определения их физико-механических характеристик, технологических режимов и эксплуатационных показателей; 4) в теоретическом обосновании нового неразрушающего способа определения характеристик эластичного материала сит грохотов на натуральных образцах сложной формы, позволяющих выполнить уточненный расчет

элементов рабочей поверхности грохота.

Практическая ценность работы состоит: 1) в разработанной методике анализа работы цикла дробления, расчета рациональных и оптимальных параметров основного технологического оборудования, позволяющей аналитически прогнозировать работу цикла; 2) в предложенной программной реализации метода определения параметров оборудования из условия максимума пропускной способности цикла при ограничении по закруплению выводимого из цикла продукта; 3) в проведении структурного анализа цикла дробления и предложении формализованной процедуры выбора рациональной технологической схемы на этапе проектирования с учетом параметров оборудования и технологического регламента; 4) в разработке на уровне изобретений двух способов классификации и более 60 конструкций классифицирующих устройств, позволяющих интенсифицировать и совершенствовать циклы дробления; 5) в разработанной методике расчета статических и динамических параметров резиновых элементов сит виброгрохотов и прогнозирования долговечности работы сита, его грузонесущей способности по критерию прочности, при этом методика использовалась при расчете параметрического ряда сит; 6) в разработке устройства и методики для определения характеристик резин, определяющих работоспособность элементов сит и позволяющих определить параметры режима их вулканизации при отработке технологии изготовления.

Научная новизна работы состоит: 1) в разработке нового метода анализа работы цикла дробления, позволяющего по минимуму экспериментальных данных прогнозировать выходные показатели цикла при варьировании управляющими и регулируемыми параметрами, в качестве которых предложено использовать конструктивные и режимные характеристики дробилок и грохотов; 2) в выборе управляющих и регулирующих параметров оборудования в работе цикла и доказательстве их

существенного влияния на его технологические показатели, а также в разработке алгоритма расчета и оптимизации параметров цикла, учитывающего как особенности процесса разрушения и классификации, так и характеристики дробилок и грохотов; 3) в разработке метода расчета резиновых элементов сит с учетом реологических свойств материала. При этом за критерий долговечности сит и качества материала для их изготовления принято время, в течении которого собственная частота колебаний элементов сит падает до критического значения, вызванного реологическими процессами в материале; 4) в обосновании выбора режима вулканизации резиновых элементов сит при отработке технологии их изготовления по кривым релаксации. Рабочим режимом рекомендуется тот, при котором время и температура вулканизации деталей обеспечивают минимальную релаксацию; 5) в результатах стандовых и промышленных испытаний новых, разработанных автором, классифицирующих устройств и доказательстве целесообразности их широкого промышленного внедрения.

УРОВЕНЬ РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК. Основные научные положения, разработанные методы анализа и способы интенсификации процесса реализованы: 1) в инженерной методике анализа работы среднего и мелкого дробления с определением количества готового класса крупности в исходном продукте и на различных стадиях переработки. Методика внедрена в институте Механобрчермет; 2) в инженерной методике расчета грузонесущей способности и основных параметров сит РЛСС и элементов подситника для их установки на виброгрохотах. Методика внедрена в Государственной Горной Академии Украины и в СКТБ ИГТМ НАН Украины; 3) в методике по определению физико-механических характеристик резин, необходимых для расчета параметров сит РЛСС, в выборе режимов вулканизации и марок резин для изготовления сит. Методика внедрена в Государственной Горной Академии Украины; 4) новые технические решения вошли в разработку параметри-

ческого ряда РЛСС для обеспечения широкой гаммы крупностей разделения минерального сырья на виброгрохотах различного типоразмера, работающих в циклах дробления. Разработано 15 типоразмеров РЛСС. Все конструкции выполнены на уровне изобретений, изготавливаются по заказам более 20 предприятий; 5) в разработке рекомендаций по совершенствованию циклов дробления на горнообогатительных предприятиях, в создании новых способов грохочения и конструкций устройств для классификации. Новизна более 60 разработок подтверждена авторскими свидетельствами на изобретения. Рекомендации внедрены на целом ряде дробильно-сортировочных фабрик предприятий черной и цветной металлургии; 6) разработанные конструкции грохотов и просеивающих поверхностей экспонировались на ВДНХ СССР и УССР, где отмечены дипломами и медалями. Автор работы награжден серебряной, двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР, бронзовой медалью и дипломом ВДНХ УССР.

Разработанные машины и устройства позволили внедрить прогрессивные технологии, например, улучшить показатели работы замкнутого цикла дробления на свинцовой и медной фабриках Алмалыкского горно-металлургического комбината, повысить качество руды по грансоставу на подготовительных операциях дробильных фабрик Стойленского и Ингулецкого ГОКов, на ДСФ пяти рудоуправлений, а также повысить качество исходного сырья при производстве стройматериалов на ДСЗ целого ряда карьеров. К настоящему времени на горных предприятиях СНГ модернизировано и переоборудовано свыше 200 виброгрохотов различного типа, работающих в циклах среднего и мелкого дробления. Интенсификация процесса достигнута за счет увеличения срока службы сит в 30-50 раз и сокращения простоев на ремонт и замену сеток грохотов, а также за счет повышения эффективности грохочения на 15-20 % и качества дробленой руды по грансоставу.

АПРОБАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Апробация работ. Материалы диссертационной работы

и ее основные положения доложены, обсуждены и одобрены на всесоюзных научно-технических конференциях по методам расчета изделий из высокоэластичных материалов (г. Рига, 1980, 1983, 1986, 1989 гг), Всесоюзной конференции по проблемам тонкого измельчения, классификации и дозирования (г. Иванова, 1982 г), Всесоюзном семинаре по методам и средствам вибродиагностики конструкций машин и механизмов (г. Каунас, 1983 г), Всесоюзном симпозиуме по вопросам механики резиновых конструкций тяжелых горно-металлургических машин (г. Днепропетровск, 1983 г), Всесоюзной конференции по вибрационной технике (г. Тбилиси, 1981, 1984, 1987, 1991 гг), Всесоюзной научно-технической конференции по состоянию и направлениям развития техники и технологии рудоподготовки в XI-й пятилетке в черной металлургии (г. Белгород, 1985 г), Всесоюзной конференции по технологии сыпучих материалов (г. Белгород, 1986 г), Всесоюзной научно-технической конференции по рудоподготовке (г. Кривой Рог, 1986 г), Всесоюзной конференции по повышению надежности и долговечности машин и сооружений (г. Киев, 1986 г), XV Всесоюзной конференции по вопросам рассеяния энергии при колебаниях механических систем (г. Киев, 1989 г), Всесоюзной научно-технической конференции по вибрации и вибродиагностики (г. Нижний Новгород, 1991 г), международной научно-технической конференции по вибротехнологии (г. Винница, 1992, 1994 гг), Всесоюзной конференции по проблемам повышения износостойкости и снижения металлоемкости промышленного оборудования (г. Ставрополь, 1981 г), координационном совещании по проблеме совершенствования дробильно-сортировочного комплекса на Новотроицком РУ (п. Новотроицк, 1983 г), Техсовете Алмалыкского горно-металлургического комбината (г. Алмалык, 1989-1992 гг), международном симпозиуме по механике эластомеров (г. Севастополь, 1984 г).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 монографии, 53 печатных работы, получено 61 авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работ. Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 212 наименований и 4 приложений. Работа содержит 320 страниц машинописного текста, из них 239 страниц основного текста, включая 10 таблиц, 41 рисунок. В приложениях включены документы, подтверждающие практическое использование и внедрение результатов работы в промышленности.

ДЕКЛАРАЦИЯ О ЛИЧНОМ ВКЛАДЕ В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Личный вклад автора в разработку научных результатов состоит:

в разработке концепции построения математической модели цикла дробления и в разработке метода его анализа; в разработке математических моделей дробилок и грохотов; в выборе и обосновании регулирующих параметров цикла; в разработке методики экспериментальных исследований и анализе их результатов, в разработке метода расчета эластичных элементов сит виброгрохотов и метода выбора технологического режима по реологическим характеристикам; в разработке и теоретическом обосновании способа и устройства для определения характеристик полимерных материалов сит грохотов; в обобщении теоретических и экспериментальных результатов и использовании их для решения проблемы совершенствования ДСК. Идея работы, основные научные положения, выводы и рекомендации сформулированы автором самостоятельно.

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Методологической основой исследований циклов дробления и взаимосвязи параметров технологического процесса и оборудования послужили современные методы теоретического анализа циклов и результатов экспериментальных исследований. При разработке математических моделей циклов дробления использованы методы математической статистики и оптимизации. При разработке метода расчета эластичных элементов сит виброгрохотов использовались методы теории колебаний, динамики и прочности машин, теории упругости и вязкоупругости. При экспериментальных исследованиях технологических, реологических, прочностных и динамических характеристик исполь-

зовались известные методы, стандартная измерительная техника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе предложено совершенствование циклов дробления осуществлять двумя путями: 1) за счет выбора управляющих элементов схемы, совершенствования системы управления и анализа работы цикла на базе его математической модели и использования компьютерной техники для моделирования процесса; 2) за счет совершенствования применяемых узлов классификации (виброгрохотов), повышения их технологических и эксплуатационных показателей путем применения новых технических решений и конструкционных материалов.

Защищаемые научные положения, разработанные автором диссертации:

1) зависимость статистических параметров гранулометрического состава питания и разгрузки дробилки от ширины щели, надрешетного и подрешетного продуктов грохочения от конструктивных и режимных параметров грохота адекватно описывается двухпараметрическим законом распределения; 2) технологические параметры грохочения: эффективность, закрупление и замельченность нелинейно зависят от удельной нагрузки, размера ячейки сита, угла наклона грохота, длины сита, частоты колебаний короба грохота и используются в качестве регулирующих или управляющих факторов при работе грохота в цикле дробления и при имитационном моделировании работы цикла; 3) при оптимизации цикла дробления по максимуму пропускной способности и ограничению по закруплению готового продукта зависимость эффективности грохочения и закрупления от величины технологической нагрузки имеет монотонный характер, в связи с чем оптимальные параметры оборудования и показатели работы цикла определяются градиентным методом из произвольно взятой начальной точки исследуемого факторного пространства изменения функции; 4) работоспособность разработанных конструкций резиновых элементов сит виброгрохотов зависит от реологических характеристик материала сит. При этом ослабление усилия натяжения и

снижение частоты собственных колебаний элементов сит за счет реологии более чем на 30 % является критическим, при котором они теряют динамическую активность, грузонесущую способность и имеют ограниченную долговечность. Поэтому при выборе материала для изготовления сит и разработке метода расчета их параметров рекомендуется учитывать реологические характеристики с учетом установленного предела по релаксации; 5) зависимость физико-механических и реологических характеристик материала сит грохотов от амплитуды и частоты при ударном нагружении, скорости деформирования и последствия при квазистатическом нагружении имеет интегральный характер в виде дробно-экспоненциальной функции. С учетом этих характеристик определяются статические, динамические и прочностные параметры резиновых элементов сит грохотов; 6) реологические характеристики резин, применяемых для изготовления упругих элементов сит грохотов, имеют слаболинейную зависимость от параметров режима вулканизации (времени и температуры). Это свойство обеспечивает выбор режима вулканизации при отработке технологии изготовления сит по кривым релаксации. Наиболее показательным реологическим параметром при этом является дефект модуля λ , как наиболее чувствительный к изменению режима.

Разработка математической модели цикла дробления учитывала следующее: 1) анализ существующих математических моделей дробилок и грохотов; 2) наличие большого экспериментального материала по опробованию технологических показателей дробилок, грохотов и циклов в целом, который позволяет использовать статистический подход и регрессионные зависимости при моделировании; 3) последовательную схему цепи аппаратов в цикле, поэтапность дробления, единство грузопотока, взаимное влияние дробилок и грохотов; при этом представляется возможность на модельном уровне рассмотреть синтез работы машин.

Анализируется трехстадиальный цикл дробления, включающий выходные параметры крупного дробления, среднее дробление с промежуточным грохочением и малкое (открытый и замкнутый циклы). В основу модели цикла положена статистическая зависимость между входными, выходными и управляющими параметрами дробилок и грохотов в виде регрессионных уравнений, в которых учитываются как особенности процессов разрушения и классификации (в виде параметров грансостава и материальных потоков), так и особенности параметров дробилок и грохотов. Для представления математических моделей дробилок, грохотов, узлов слияния потоков и цикла дробления в целом разработаны их кибернетические модели с входными, выходными, регулируемыми и управляющими параметрами. На основании экспериментального материала, полученного на дробильной фабрике Стойленского ГОКа, выбирался закон распределения грансостава в потоке после каждого технологического узла. Установлено, что распределение грансостава идентифицируется двухпараметрическим законом Вейбулла. Его достоверность проверялась по критерию правдоподобия Пирсона. По известной нагрузке дробилки, размеру разгрузочной щели, а также установленным параметрам закона распределения грансостава на ее входе записывается регрессионная зависимость между параметрами грансостава на входе и выходе дробилки. Порядок регрессионной зависимости определяется из условия значимости коэффициентов регрессии согласно критерию Стьюдента, адекватность полученных уравнений устанавливается по критерию Фишера.

Аналогичным образом идентифицируется модель грохота с учетом количества надрешетного S_i и подрешетного P_i продуктов. Таким образом модель дробилки имеет вид

$$\begin{aligned} \alpha_{2g} &= a_0 + a_1 \delta + a_2 G_1 + a_3 \alpha_{1g} + a_4 \beta_{1g}; \\ \beta_{2g} &= b_0 + b_1 \delta + b_2 G_1 + b_3 \alpha_{1g} + b_4 \beta_{1g}; \end{aligned}$$

где: d_{1g} , β_{1g} и d_{2g} , β_{2g} - выходные и входные параметры закона распределения Вейбулла; b_1 и δ - технологическая нагрузка и размер щели дробилки. Вместо параметров d_{1g} и β_{1g} могут быть использованы математическое ожидание Mx_g (или средний размер куска) и дисперсия грансостава $\sigma_{x_g}^2$ питания дробилки (или отклонение от среднего куска). Модель грохота:

$$S_1 = a_0 + a_1 g + a_2 d_1^H + a_3 \beta_1^H + a_4 w + a_5 d_r + a_6 l + a_7 \delta_r;$$

$$d_2^H = b_0 + b_1 g + b_2 d_1^H + b_3 \beta_1^H + b_4 w + b_5 d_r + b_6 l + b_7 \delta_r;$$

$$\beta_2^H = c_0 + c_1 g + c_2 d_1^H + c_3 \beta_1^H + c_4 w + c_5 d_r + c_6 l + c_7 \delta_r;$$

$$P_1 = a'_0 + a'_1 g + a'_2 d_1^H + a'_3 \beta_1^H + a'_4 w + a'_5 d_r + a'_6 l + a'_7 \delta_r;$$

$$d_2^H = b'_0 + b'_1 g + b'_2 d_1^H + b'_3 \beta_1^H + b'_4 w + b'_5 d_r + b'_6 l + b'_7 \delta_r;$$

$$\beta_2^H = c'_0 + c'_1 g + c'_2 d_1^H + c'_3 \beta_1^H + c'_4 w + c'_5 d_r + c'_6 l + c'_7 \delta_r;$$

Модель грохота может быть идентифицирована через его технологические показатели: эффективность грохочения E , закрупление E_+ и замельченности E_- :

$$E = a_0 + a_1 g + a_2 w + a_3 d_r + a_4 l + a_5 \delta_r;$$

$$E_+ = b_0 + b_1 g + b_2 w + b_3 d_r + b_4 l + b_5 \delta_r;$$

$$E_- = c_0 + c_1 g + c_2 w + c_3 d_r + c_4 l + c_5 \delta_r;$$

где: a , b , c - коэффициенты уравнения; g , d_r , l , w , δ_r - соответственно, удельная нагрузка, угол наклона, длина, частота колебаний, размер ячейки сита грохота; d_1 , β_1 и d_2 ,

β_2 - входные и выходные параметры закона распределения грансостава.

С позиций синтеза работы дробилок и грохотов в цикле и постадийного процесса дробления составлена полная модель цикла. Крупное дробление представлено количеством руды на разгрузке b_1 и выходными параметрами d_{1g} и β_{1g} . Тогда модель полного открытого цикла может быть представлена как модель дробилки среднего дробления D_1 с выходными параметрами d_{2g} , β_{2g} и b_1 .

Модель грохота ГрI, после дробилки D_1 с выходными параметрами

$$S_1, d_2^H, \beta_2^H \text{ и } P_1, d_2^H, \beta_2^H, \text{ соответственно, ко-}$$

личество и параметры распределения надрешетного и подрешетного продуктов. Идентифицированная модель грохота ГрI через его технологические показатели имеет выходные параметры E , E_{+1} и E_{-1} .

Модель дробилки мелкого дробления D_2 в открытом цикле имеет выходные параметры S_1 , d_2^* и β_2^* , а модель узла слияния C_1 потоков готовой крупности руды представлена количеством классов -20 и $+20$ в конечном продукте $Q_- = q_{-1} + q_{-2}$; $Q_+ = q_{+1} + q_{+2}$ и выходном классах -20 и $+20$: $\gamma_- = Q_-/G_1$, $\gamma_+ = Q_+/G_1$.

Для определения законов распределения грансоставов и коэффициентов регрессий использовались экспериментальные результаты опробований цикла на дробильной фабрике Стойленского ГОКа. Определены параметры цикла дробления.

Количество подрешетного P_1 и надрешетного S_1 продуктов;

$$P_1 = \frac{E_{+1} G_1 (100 - \gamma_{11})}{100 (100 - \gamma_{12})}; \quad S_1 = G_1 - P_1;$$

Дисперсия σ_{12}^2 и матожидание кусков надрешетного продукта:

$$\sigma_{12}^2 = \frac{\gamma_{12}}{100} (m_{12} - \phi_1)^2 + \left(1 - \frac{\gamma_{12}}{100}\right) (m_{12} - \phi_2)^2;$$

$$m_{12} = \phi_1 \frac{\gamma_{12}}{100} + \phi_2 \left(1 - \frac{\gamma_{12}}{100}\right);$$

Константы $\phi_1 = 15$ и $\phi_2 = 75$ - средний размер куска подрешетного и надрешетного продуктов грохота.

Количество класса -20 (q_{-2}) и $+20$ (q_{+2}) в дробленом продукте

$$q_{-2} = S_1 \int_0^{20} f(d_2^*, \beta_2^*, x) dx, \quad q_{+2} = S_1 - q_{-2};$$

Выход (%) класса -20 после среднего дробления

$$\gamma_{11} = 100 \int_0^{20} \frac{d_1^*}{\beta_1^*} \left(\frac{x}{\beta_1^*}\right)^{d_1^* - 1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta_1^*}\right)^{d_1^*}\right] dx,$$

Выход (%) класса -20 в подрешетном продукте

$$\gamma_{21} = \frac{100 (E_1 - E_{+1}) \gamma_{11}}{(E_1 - E_{+1}) \gamma_{11} + (100 - \gamma_{11}) E_{+1}};$$

Количество класса $-20 (g_{-1})$ и $+20 (g_{+1})$ в подрешетном продукте

$$g_{-1} = P_1 \left(1 - \frac{(100 - g_{+1}) \cdot \epsilon + 1 \cdot G_1}{100^2 P_1} \right); \quad g_{+1} = P_1 - g_{-1};$$

Модель замкнутого цикла мелкого дробления содержит грохот Гр2 и узел слияния потоков C_2 . После записи этих моделей аналогично предыдущей схеме вычисляется количество и крупность продуктов дробления и грохочения в замкнутом цикле. В работе приведены полные модели открытого и замкнутого циклов мелкого дробления и аналитические зависимости для определения его параметров.

Разработка алгоритма расчета основных и оптимизации управляющих параметров дробилок и грохотов. Разработан алгоритм и программа поиска оптимальных значений управляющих параметров дробилок и грохотов. В качестве критерия оптимизации принята максимальная производительность цикла по заданной крупности при ограничении по закрупнению продукта, обусловленную техническими условиями. Программа поиска этой целевой функции составлена в 8-10 мерном пространстве аргументов, из которых в качестве управляющих параметров цикла приняты: угол наклона α_r , частота колебаний ω и размер ячейки δ_r сит грохотов. Регулируемыми параметрами приняты: длина короба l , удельная нагрузка на грохот g и размеры щелей дробилок δ_1 и δ_2 .

Разработанная математическая модель цикла позволяет продолжить исследования на модельном уровне с помощью персональной ЭВМ, осуществить анализ и синтез работы оборудования в цикле при варьировании контролируемых и управляемыми факторами, а также структурой схемы, например, открытый и замкнутый цикл мелкого дробления.

Таким образом, разработанные модели, алгоритмы расчета и оптимизации параметров и их программная реализация представляют собой метод анализа работы цикла. Суть метода заключается в том, что на

основе разовых опробований цикла, разработанной его модели и программы производятся имитационные эксперименты на ЭВМ при вариации параметрами оборудования или структурной схемы. При этом анализируется (или прогнозируется) количество и качество (по грансоставу) перерабатываемого продукта и вырабатывается решение по изменению параметров или схемы цикла. Этот метод может послужить базой для современного метода управления производством, например, при обеспечении дробильных фабрик системой АСУТП.

В качестве апробаций метода был проведен анализ циклов дробления на ДСФ рудоуправлений им. Кирова, Дзержинского и на дробильной фабрике Стойленского ГОКа. Результаты последнего анализа приведены в работе. Он проведен при оптимальных значениях управляющих параметров оборудования и показал, что при нагрузках (100–150 т/ч) преимущество замкнутого цикла по качеству грансостава незначительное (2–3 %). С увеличением нагрузки до 400 т/ч качество дробленного продукта в замкнутом цикле возрастает до 15 %. Для схемы с неоптимизированными параметрами это преимущество значительно выше. Эти результаты соответствуют данным опробований цикла.

Разработка высокоэффективных средств и способов классификации в циклах дробления является мощным резервом совершенствования и интенсификации процессов рудоподготовки на стадии дробления. Грохоты за счет наличия большого числа управляющих параметров, могут быть использованы в качестве регулирующего звена цикла. Они в значительной степени определяют производительность цикла и качество продуктов дробления. Выпускаемые серийно грохоты, имеют ряд недостатков, сдерживающих совершенствование циклов дробления. Это прежде всего недостаточная эффективность грохочения (особенно влажных и липких материалов), неудовлетворительный срок службы металлоконструкции грохота (4–5 лет вместо 10–12 лет по расчету) и особенно их просеивающих поверхностей. Ремонты и простои грохотов составляют значи-

тельную часть стоимости продукции, поэтому проведенные в работе исследования были направлены на создание надежных и эффективных рабочих поверхностей грохотов и на снижение напряженного состояния их металлоконструкций.

Особенность работы грохотов в циклах дробления в том, что сита и рабочий орган испытывают ударные нагрузки, большой объем перерабатываемой горной массы при круглосуточной работе. Срок службы металлических сеток 5-10 суток, эффективность грохочения 60-70 % для сухих и 40-60 % для влажных материалов, что недостаточно, поскольку в циклах мелкого и среднего дробления весьма важным является отсев мелкой горной массы и вывод ее из процесса дробления. Из-за низкой эффективности грохочения увеличиваются циркуляционные нагрузки, почти в 2 раза снижается срок службы брони дробилок мелкого дробления. Применение полимерных сит в виде карт позволило повысить их срок службы, но не полностью решает вопрос борьбы с залипанием и недостаточно эффективно из-за низкого живого сечения. Поэтому в работе дальнейшее совершенствование процессов производилось по пути создания новых способов классификации, конструкций виброгрохотов и их рабочих поверхностей с использованием активности полимерных сит. С участием автора на уровне изобретений были разработаны два способа грохочения и более 60 конструкций грохотов и их рабочих поверхностей. Все конструкции испытаны и наиболее перспективные из них внедрены и продолжают внедряться в промышленность. Разработан параметрический ряд сит для 15 крупностей разделения. Они обеспечены расчетно-конструкторской и технологической проработкой, изготавливаются малыми сериями по заказам предприятий. При этом оказывалась научно-методическая и сервисная помощь при внедрении. Под общим названием резиновые резонирующие ленточно-струнные сита (РЛСС) разработаны для различных условий эксплуатации грохотов и используются для интенсификации циклов дробления. Опыт их эксплуатации на вибро-

грохотах в условиях дробильных фабрик ГОКов, рудоуправлений, дробильно-сортировочных заводов показал, что срок службы в 30-50 раз выше серийных металлических сеток, эффективность грохочения на 15-20 % выше, при этом интенсивность классификации в 1,5-2,0 раза выше. Эти преимущества позволяют интенсифицировать процесс проработки сырья, повысить качество продуктов дробления и применить прогрессивные схемы с поверочным и контрольным грохочением.

Проведены стендовые и промышленные испытания напряженного состояния виброгрохотов с различными видами просеивающей поверхности, которые позволили установить, что грохоты с РЛСС имеют в 1,5-1,8 раза меньше напряженное состояние, чем грохоты с металлической сеткой, что увеличивает их срок службы.

Проведены исследования по определению влияния режимных (частота колебаний (ω), конструктивных (длина l , угол наклона α_n и размер ячейки δ_n сита грохота) и технологических (удельная нагрузка g) факторов на эффективность работы грохота в цикле. Показано, что изменение этих параметров существенно для технологических показателей грохочения и они обосновано рекомендованы для управления процессом в циклах, а грохот рекомендован в качестве основного регулирующего звена в цикле.

Разработка методики расчета эластичных элементов рабочих органов виброгрохотов с учетом реологических свойств материала предполагает, что резиновые элементы РЛСС вставляются при сборке сита в подситник с предварительным натяжением, поэтому для обеспечения его работоспособности важными расчетными параметрами являются: усилие натяжения лент-струн, частота собственных колебаний, определение максимальной нагрузки на сито и напряженного состояния резиновых лент, учет влияния реологических свойств материала. Допущения при решении задачи: учитывались только вертикальные колебания лент-струн по первой фазе в виде полуволны синусоиды, технологическая нагрузка

принималась как равномерно распределенный слой без учета сил трения и диссипации; максимальный прогиб сита не превышал толщину полотна, изгибная жесткость мача, модель сита представлена в виде набора параллельно натянутых резиновых струн без дополнительных ограничений их колебаний. Получены следующие основные расчетные зависимости:

$$\omega = \frac{\pi}{\ell_c} \sqrt{\frac{T_0}{\rho_1}} = \frac{\pi}{\ell} \sqrt{\frac{EF_1 \Delta \ell}{\rho_2 \ell_c}} \quad - \text{частота колебаний основного тона струны;}$$

$$T_0 = \kappa C_0 [\Delta \ell(t) - \int R_y(-\beta, t-\tau) \Delta \ell(\tau) d\tau];$$

$$T(t_n) = C_0 \dot{y} \kappa u [1 - A(1 - A(1 - \exp(-\beta t_n^{1-d})))];$$

где: C_0 - мгновенная жесткость струны с учетом конструктивных параметров и реологии;

$$C_0 = \frac{E_0 S_1}{\frac{\ell - i \ell_3}{H_1} + \frac{i \ell_3}{H_1 + H_3(\kappa, t)}}; \quad C_0 = \frac{1}{4\gamma} \sum_{i=1}^i \frac{\rho}{\rho_i (1 - A(1 - \exp(-\beta t_i \gamma)))}$$

Максимальная производительность грохота с учетом натяжения сита;

$$Q_{\max} = \frac{T_0}{\kappa a^2} \cdot \frac{(1 + \Delta \ell) \ell}{F} h_1 3600 \text{ в;}$$

Натяжение в струне

$$\sigma = E_t \cdot \frac{2N^2}{\ell^2} \sin \omega t = \frac{2N^2}{\ell^2} E_d [(1-A) \sin \omega t + B \cos \omega t];$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2N_0^2}{\ell^2} E \sqrt{(1-A)^2 + B^2}; \quad \sigma_{\max} \leq [\sigma_{\infty}] = (8-10) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

Срок службы сита по релаксационному критерию:

$$t_2 = \left[-\beta^{-1} \ln \left(C_0 \dot{y} - A^{-1} (C_u + T(t)) - \left(\frac{\Delta W_{\kappa}}{a} \right)^3 - C_0 y (1-A) \right) \right]^{1-d};$$

В формулах приняты обозначения: E_0 - мгновенный модуль материала; ρ_2 - удельная нагрузка на единицу длины струны; ℓ_c - длина рабочей части струны; κ - эмпирический поправочный коэффициент, учитывающий влияние зубьев на струне; $\kappa = I, I-1, 2$; N - амплитуда прогиба струны; A и B - синус и косинус преобразования ядра релаксации; h_1 - ширина короба грохота; i - число зубьев на ленте-

струне; H_c - высота струн; H_3 - высота зуба струны; α, β , λ - реологические параметры резины; $\gamma_0 = \rho \frac{\delta_c}{100}$; δ_c - натяжные струны; T_0 - усилие в струне под нагрузкой; $T(t_n)$ - усилие натяжения в струне в момент времени t_n .

В соответствии с приведенным в работе алгоритмом расчета резиновых элементов сит, с учетом реологических характеристик материала, разработана методика их расчета и программное обеспечение, которые использовались для расчета параметрического ряда сит РЛСС широкой гаммы крупностей разделения, а также расчета напряженного состояния лентодержателей подситника грохота. Параметрический ряд сит по крупности разделения от 3 до 85 мм (всего 15 крупностей) разработан с учетом типоразмерного ряда виброгрохотов. Конструкции сит имеют новизну на уровне изобретений.

Разработка способа и устройства для определения физико-механических и реологических параметров материала сит грохотов связано с тем, что для изготовления разработанных конструкций сит рекомендована резина, обладающая ярко выраженными релаксационными свойствами как конструкционный материал. Поэтому выбор марок резин производился на основании комплексных исследований с учетом условий эксплуатации и предъявляемых требований к ситам. По фактору циклической долговечности и износостойкости многолетние испытания проводились в промышленных условиях. Из 15 испытуемых марок резин выбирались наиболее перспективные. Поскольку было установлено, что реологические характеристики резин имеют большое значение для работоспособности сит, то вопросу определения физико-механических и реологических характеристик материала на натуральных образцах посвящены отдельные исследования. С этой целью разработан способ и устройство (А.с. № 938506), которые прошли метрологическую аттестацию. Было проведено теоретическое обоснование этого способа и разработана методика определения характеристик. В процессе исследований установлено, что реологичес-

кие характеристики существенно зависят от режима вулканизации при изготовлении сит. Это свойство положено в основу метода выбора режима вулканизации по кривым релаксации. На основании этих исследований рассчитано время, в течение которого релаксация в резине достигала такого уровня, что сито теряло свою динамическую активность. Это время рекомендовано принять за срок службы сита по фактору реологии и за комплексный критерий качества при выборе материала для изготовления сит.

Одно-промышленная проверка и внедрение разработок позволило достичь цели работы путем практической реализации результатов исследований. С участием автора осуществлялось методическое обеспечение внедрения разработок в виде методик и рекомендаций на ряде горных предприятий черной и цветной металлургии, при добыче и переработке строительных материалов. Метод анализа работы циклов дробления был использован институтом Механобрчермет в виде методики и программного обеспечения расчета параметров цикла. Был проанализирован цикл дробления на ДФ Стойленского ГОКа, ДСФ шахты "Артем-2" рудоуправления им. Кирова и выданы рекомендации по их совершенствованию. Методики по расчету резиновых сит виброгрохотов и по определению реологических и физико-механических характеристик полимерных материалов переданы Днепропетровскому горному институту. При этом оказана сервисная помощь при проведении расчетов и пользовании программами. Разработаны рекомендации по совершенствованию узлов классификации циклов дробления и оказана практическая помощь при изготовлении, монтаже, испытаниях и внедрении разработанных конструкций грохотов, эластичных сит и реконструкция циклов дробления. В течение длительного времени выполняются заказы более 20 горнодобывающих и металлургических предприятий по добыче и переработке руд черных и цветных металлов на поставку РИСС, которые изготавливаются на Опытном производстве ИГТИ, на участках РТИ предприятий. Всего переоборудовано более 300 вибро-

грохотов на новые просеивающие поверхности, что позволило получить экономический эффект от реализации разработок около 5,0 млн. руб. в год (в ценах до 1992 г.). С 1993 г. эффективность разработок определялась по текущим расценкам на период внедрения. Например, совершенствование циклов дробления на Шархинском карьере ПО "Крымнерудпром" за счет модернизации виброгрохотов дало эффект в 1994 г. более 13 млн. руб. на один грохот. При этом эффективность грохочения увеличена на 15 %, а срок службы сит по отношению к металлическим сеткам в 30-50 раз. Постоянными потребителями разработанных рабочих поверхностей грохотов являются дробильно-сортировочные фабрики Лебединского ГОКа, Шархинского карьера, рудоуправлений Новотроицкое и им. С.М.Кирова, а также коксовые цеха Днепродзержинского, Днепропетровского и Запорожского коксохимзаводов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены использованием апробированных методов математической статистики, теории колебаний, динамики и прочности, теории упругости и вязко-упругости, в использовании современной вычислительной техники и программного обеспечения к ней. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований находится в пределах 10-20 %, результаты аналитических методов анализа цикла, расчета параметров оборудования находится в пределах доверительной вероятности отклонения с экспериментальными данными. Воспроизводимость полученных результатов обеспечена использованием типовых приборов, аппаратуры и методов измерений. Адекватность разработанных моделей циклов доказана поэтапно с помощью критериев правдоподобия Пирсона, Стьюдента и Фишера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой выполнено теоретическое обобщение и решение крупной научно-технической проблемы, имеющей важное народнохозяйственное

значение и заключающейся в повышении технологических и эксплуатационных показателей средств классификации сырья по крупности в циклах дробления, позволяющих реализовать прогрессивные требования технологии и интенсифицировать процесс рудоподготовки, а также в разработке научного метода анализа работы ДСК, позволяющего оперативно принимать решения по его рациональному управлению.

Получены следующие научные выводы и практические результаты:

1. Разработана модель двухстадиального цикла дробления на основе единого математического описания дробилок и грохотов в виде регрессионных зависимостей, что обеспечивает цельное представление цикла и является принципиальным с точки зрения методологической основы анализа процесса в цикле, синтеза дробления и грохочения при оптимизации параметров оборудования и определения их взаимного влияния на процесс.

2. Предложен метод анализа работы цикла дробления, основанный на использовании множественной связи между технологическими, режимными и конструктивными параметрами в виде математической модели, позволяющей проводить имитационный эксперимент по определению параметров цикла при варьировании управляющими и регулируемыми параметрами оборудования. Такой подход позволяет не проводить трудоемких натуральных испытаний схемы цикла или его отдельных участков, а оперативно проанализировать работу цикла для принятия решения по изменению схемы или параметров оборудования.

3. Разработана методика определения параметров цикла дробления, позволяющая установить влияние различных конструктивных и динамических факторов оборудования на показатели работы цикла и использовать предложенный алгоритм расчета для оперативного анализа и прогнозирования работы цикла на ЭВМ. Методика внедрена в институте Механобрчермет.

4. На уровне изобретений разработаны два способа и более 60

средств классификации, проведены их испытания и наиболее перспективные внедрены в производство, что позволило интенсифицировать процесс классификации в 1,5-1,8 раза, увеличить на 15-20 % эффективность грохочения и в 30-50 раз срок службы сит грохотов.

5. Установлены закономерности технологических показателей работы дробилки и грохота от их конструктивных и динамических параметров, которые предложено использовать как регулирующие или управляющие в работе цикла. Экспериментально обоснована обоснованность их выбора в таком качестве.

6. Установлено, что разработанные эластичные просеивающие поверхности виброгрохотов по отношению к стандартной металлической сетке снижают в 1,5-1,8 раза напряжения в металлоконструкциях грохота. Это приводит к повышению эксплуатационной надежности и эффективности использования.

7. Разработана методика расчета параметров и напряженного состояния эластичных элементов разработанных средств классификации, которая использовалась при создании параметрического ряда просеивающих поверхностей новых конструкций для виброгрохотов по двум параметрам: по крупности разделения и по типоразмеру грохота.

8. Разработан новый способ, устройство и методика для определения физико-механических и реологических параметров резиновых элементов сит и выполнено теоретическое обоснование нового способа, с помощью которого исследовались вязко-упругие характеристики элементов сит и показано их существенное влияние на работоспособность и качество сит. Способ и устройство прошли метрологическую аттестацию и рекомендованы для контроля за качеством изделий.

9. Рекомендованы перспективные марки резин для изготовления рабочих поверхностей виброгрохотов, которые прошли испытания в промышленных условиях, предложен метод выбора режима вулканизации при изготовлении элементов сит и один из критериев выбора резин. Метод

и критерий основаны на учете реологических свойств полимеров.

10. Разработана техническая документация для параметрического ряда сит, всего 15 типоразмеров по крупности, изготовлена оснастка, отработана технология и выполняются заказы на производство сит по заявкам предприятий. Предприятиям оказана научно-методическая и сервисная помощь во внедрении разработок. Экономический эффект от реализации разработок составил около 5,0 млн.руб. в год (в ценах до 1992 г), в 1994 г - 13,0 млн.крб. Модернизация циклов дробления проведена более чем на 20 горнодобывающих предприятиях, переоборудовано более 200 виброгрохотов на различных горнодобывающих и металлургических предприятиях. В частности на ДСФ рудоуправлений: им. Кирова, Фрунзе, Дзержинского, Новотроицкое, Ленина; на ДФ Стойленского, Лебединского, Полтавского ГОКов; на Днепропетровском, Днепродзержинском и Запорожском коксохимзаводах и др. При этом совершенствование и интенсификация работы циклов дробления достигнута за счет повышения эффективности работы виброгрохотов на 15-20 %, повышения срока службы их рабочих поверхностей в 30-50 раз и снижения напряженного состояния в металлоконструкциях в 1,5-1,8 раза.

Разработанная методика анализа работы цикла дробления внедрена в институте Механобрчермет, а методики расчета эластичных элементов сит грохотов и методика определения характеристик материала сит внедрены в Государственной горной академии Украины.

Приоритет в разработке и решении рассматриваемой в диссертации проблемы защищен 3 монографиями, 53 печатными работами и 61 изобретением.

Список опубликованных научных работ, отражающих основные положения диссертации. Монографии.

1. Вибрационные машины для выпуска и доставки руды / Потурев В.Н., Дырда В.И., Авдеев О.К., Поддубный И.К., Надутый В.П., Кравченко Н.Г., Платонов В.Н., Финогеев В.И. - Киев: Наук.думка,

1981. - 152 с.

2. Механика вибрационных машин с эластичными рабочими органами/ В.Н.Потураев, В.П.Надутый, А.В.Юрченко, Б.А.Блюсс. - Киев: Наук. думка, 1991. - 152 с.

3. Надутый В.П., Золотарева В.Л. Полимерные просеивающие поверхности виброгрохотов. - М.: Недра, 1993. - 142 с.

С т а т ь и :

4. Надутый В.П. Исследование, разработка конструкций и опыт промышленной эксплуатации высокоэффективных полимерных просеивающих поверхностей виброгрохотов // Материалы II Международной научно-технической конференции. - Винница, 1994. - с. 96-97.

5. Надутый В.П. Расчет параметров защитных резиновых покрытий вибрационных питателей для выпуска руды // Динамика и прочность горных транспортных машин: Сб.науч.тр. - Киев: Наук.думка, 1986. - с. 176-181.

6. Надутый В.П., Круш И.И. Определение усилия натяжения и грузонесущей способности эластичных ленточно-струнных сит виброгрохотов// Вибрационные и волновые транспортно-технологические машины. - Киев, 1991. - с. 96-103.

7. Надутый В.П., Ободан Ю.Я. Экспериментальные исследования взаимодействия жесткого штампа с эластичным слоем// Транспортные и горные машины: Сб.науч.тр. - Киев: Наук.думка, 1983. - с. 69-73.

8. Надутый В.П., Круш И.И. Определение реологических характеристик полимерных просеивающих поверхностей грохотов // Вибрационные эффекты в горных машинах и технологиях: Сб.науч.тр. - Киев: Наук. думка, 1990. - с. 94-98.

9. Надутый В.П., Гольдин А.А. Использование резонирующих ленточно-струнных сит в конструкциях вибрационных грохотов // Кокс и химия. - 1991. - № 8. - с. 27-28.

10. Надутый В.П., Потураев С.В., Юрченко А.В. О применении рас-

четно-экспериментального метода для исследования динамической нагруженности и долговечности конструкций виброгрохотов для тонкой классификации сыпучих материалов // Вибрационные эффекты в процессах добычи и переработки материального сырья: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1989. - с. 101-112.

11. Потураев В.Н., Надутый В.П., Гольдин А.А. Повышение эффективности классификации кокса за счет использования активных рабочих поверхностей виброгрохотов // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1991. - № 12, с. 48-49

12. Надутый В.П., Гольдин А.А. Грохот для сортировки щебня с высоким содержанием глины // М.: Совершенствование базы строительства. - 1982. - Серия 4, вып. 7 - с. 9-10.

13. Потураев В.Н., Надутый В.П. Исследование влияния просеивающей поверхности на напряженное состояние грохота // Вибрационные и волновые транспортно-технологические машины: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1990. - с. 44-48.

14. Червоненко А.Г., Надутый В.П., Гольдин А.А. Разработка конструкции и промышленные испытания резонирующих ленточно-струнных сит виброгрохотов на предприятиях промышленности нерудных материалов // Строительные и дорожные машины, - 1985. - № 5, с. 17-19.

15. Червоненко А.Г., Надутый В.П., Гречнева Т.М. Выбор материала для изготовления просеивающих поверхностей // Машины для предприятий горной промышленности: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка, 1986. - с. 107-108.

16. Резонирующие ленточно-струнные сита // А.Г. Червоненко, В.П. Надутый, Л.А. Вайсберг, О.А. Вальцева, Ю.И. Змяк // Строительные и дорожные машины, 1985. - № 12, - с. 11-12.

17. Червоненко А.Г., Надутый В.П., Гольдин А.А. Промышленные испытания грохота ГМС-52 с резонирующими ленточно-струнными ситами при грохождении материалов с высоким содержанием глины // Строи-

ные и дорожные машины. - 1982. - № 2. - с.12-14.

18. Надутый В.П. Анализ математических моделей циклов дробления для разработки их статистического представления / ИГТМ АН Украины. - Днепропетровск. - Деп. в ВИНТИ, № 2651-В80, 1990. - 14 с.

19. Исследование эффективности использования резонирующих ленточно-струнных сит на виброгрохотах дробильно-сортировочной фабрики Лебединского ГОКа / В.Н.Потураев, А.Ф.Шупановский, В.П.Надутый, И.В.Пелых. - ИГТМ АН Украины. - Днепропетровск. Деп. в ВИНТИ, № 2652-В80, 1990. - 11 с.

20. Надутый В.П. Разработка математических моделей циклов дробления на основе регрессионных зависимостей / ИГТМ АН Украины. - Днепропетровск. Деп. в ВИНТИ, № 2938-В90. - 8 с.

21. Надутый В.П. Определение режимов вулканизации при изготовлении резиновых элементов сит на основании вязко-упругих свойств материала // Труды I Международного симпозиума по механике эластомеров. - Севастополь, 1994. - с. 197-201.

Авторские свидетельства:

22. Патент РФ 1808421. Колесниковый грохот / Потураев В.Н., Надутый В.П., Гольдин А.А. Яровой Ю.Н., Пелых И.В. - Оpubл. в Б.И., 1993. - № 14.

23. Патент РФ 1800415. Стержневое сито грохота // Потураев В.Н., Надутый В.П., Пелых И.В. - Оpubл. в Б.И., 1993. - № 14.

24. А.с. 1787577 СССР. Сито грохота / В.Н.Потураев, В.П.Надутый, И.В.Пелых. - Оpubл. в Б.И., 1993. - № 2.

25. А.с. 177970 СССР. Способ изготовления просеивающей поверхности / В.Н.Потураев, В.П.Надутый, О.В.Рублюк, А.Д.Рапошнюк. - Оpubл. в Б.И., 1992. - № 14.

26. А.с. 1737822 СССР. Устройство для грохочения / В.П.Надутый, А.А.Гольдин, В.Л.Аронович. - Оpubл. в Б.И., 1992. - № 20.

27. А.с. 1736048 СССР. Сито / В.Н.Потураев, В.П.Надутый, И.И.

Круш. - Оpubл. в Б.И., 1992. - № 20.

28. А.с. I710I44 СССР. Колосниковый грохот / В.Н.Потураев, В.П.Надутый, И.В.Пельх. - Оpubл. в Б.И., 1992. - № 5.

29. А.с. I708442 СССР. Устройство для гидрогрохочения / В.П.Надутый, А.А.Гольдин. - Оpubл. в Б.И., 1992. - № 4.

30. А.с. I57788I СССР. Грохот / В.Н.Потураев, В.П.Надутый, А.А.Гольдин, И.В.Пельх. - Оpubл. в Б.И., 1990. - № 26.

31. А.с. I556525 СССР. Прессформа для изготовления резиновых перфорированных пластин / А.Г.Червоненко, В.П.Надутый, С.В.Цепак. - Оpubл. в Б.И., 1990. - № 14.

32. А.с. I522535 СССР. Устройство для грохочения / А.Г.Червоненко, В.П.Надутый, А.А.Гольдин. - Оpubл. в Б.И., 1989. - № 6.

33. А.с. I5067II СССР. Устройство для грохочения / А.А.Гольдин, А.Г.Червоненко, В.П.Надутый. - Оpubл. в Б.И., 1989. - № II.

34. I488026 СССР. Грохот / А.А.Гольдин, А.Г.Червоненко, В.П.Надутый. - Оpubл. в Б.И., 1988. - № 23.

35. А.с. I447428 СССР. Устройство для грохочения / А.Г.Червоненко, В.П.Надутый, А.А.Гольдин. - Оpubл. в Б.И., 1988. - № 48.

36. А.с. I4II052 СССР. Устройство для гидрогрохочения / А.Г.Червоненко, В.П.Надутый, А.А.Гольдин - Оpubл. в Б.И., 1988. - № 27.

37. А.с. I360997 СССР. Прессформа для изготовления резиновых перфорированных пластин / А.Г.Червоненко, А.А.Гольдин, В.П.Надутый - Оpubл. в Б.И., 1987. - № 47.

38. А.с. I77632I СССР. Способ грохочения и устройство для его осуществления / А.Г.Червоненко, А.А.Гольдин, В.П.Надутый. - Оpubл. в Б.И., 1988. - № 46.

39. А.с. I269862 СССР. Способ грохочения и устройство для его осуществления / Е.С.Лапшин, А.Г.Червоненко, А.А.Гольдин, В.П.Надутый. - Оpubл. в Б.И., 1986. - № 42.

40. А.с. I269859 СССР. Сито грохота / А.Г.Червоненко, А.А.Голь-

дин, В.П.Надутьи. - Опуол. в Б.И., 1986. - № 42.

41. А.с. И155305 СССР. Эластичное сито/А.Г.Червоненко, А.А.Гольдин, В.П.Надутьи. - Опуол. в Б.И., 1985. - № 18.

42. А.с. И146102. СССР. Вибрационный грохот/ А.Г.Червоненко, А.А.Гольдин, Б.В.Заболотный, В.П.Надутьи. - Опуол. в Б.И., 1985. - № 11

43. А.с. И065044 СССР. Сито грохота /А.А.Гольдин, В.П.Надутьи, А.Г.Червоненко. - Опуол. в Б.И., 1984. - № 1.

44. А.с. И039587 СССР. Сито грохота /А.А.Гольдин, В.П.Надутьи. - Опуол. в Б.И., 1983. - № 33.

Тезисы докладов:

45. Надутьи В.П. Разработка математического метода анализа и планирования эксперимента в циклах дробления руд // Тезисы докладов всесоюзной конференции по вибрационной технике. - Тбилиси, 1991, с.61.

46. Надутьи В.П., Круш М.И. Прогнозирование несущей способности эластичных сит виброгрохотов // Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции по методам расчета изделий из высокоэластичных материалов. - Рига, 1989. - с. 137.

47. Надутьи В.П., Разработка метода расчета параметрического ряда просеивающих поверхностей виброгрохотов // Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 1991. - с.7.

48. Результаты испытаний по интенсификации грохочения марганцевых руд //А.Г.Червоненко, В.П.Надутьи, Н.Л.Пендраковский, К.Д.Ивченко Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Кривой Рог, 1986. - с. 105-107.

49. Червоненко А.Г., Надутьи В.П., Пендраковский Н.Л. Результаты испытаний ленточно-струнного сита виброгрохота на дробильной фабрике Стойленского ГОКа// Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Белгород, 1985. - с. 78-79.

50. Потураев В.Н., Надутьи В.П. Расчет силовых и динамических параметров резиновых ленточно-струнных сит виброгрохотов с учетом

вязко-упругих свойств материала// Тезисы докладов I Международного симпозиума по механике эластомеров.-Севастополь, 1994.- с.22-23.

ANNOTATION

Naduty V.P. Development of the scientific analyse methods and technical meas for the intensification of operation of the crushing and screening plants during the mining and metallurgical material preparation.

This thesis in form of manuscript for a doctors degrec of the technical sciences in profession 05.05.06 - Mining machinary, Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

The mathematical modelling of the crushing cycle allowing for the design parameters, the operation conditions and the production processing of the crushers and screens have been carried out. The analyse method of a performance of a crushing cycle had been elaborated. The calculation method had been developed elastic screens of a different size-shaped models of new technical level which have allowed the improvements and intensification of a crushing cycle have been produced. The new mode of the determination of the technical data of an elastic materials using for the manufacture of the vibrating screens had been worked out. The results of this scientific work have been given in 3 monographs, 53 articles and 61 inventions.

А Н Н О Т А Ц И Я

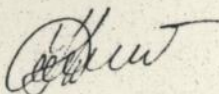
Надуть В.П. Разработка научных методов анализа и технических средств интенсификации дробильно-сортировочных комплексов при переработке горно-металлургического сырья. Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.16 - "Горные машины". Институт геотехнической механики НАН Украины, Днепропетровск, 1995.

Выполнено математическое моделирование цикла дробления, учитывающее конструктивные, режимные и технологические параметры дробилок и грохотов. Разработан метод анализа работы цикла дробления. Разработан метод расчета и создан параметрический ряд эластичных сит виброгрохотов нового технического уровня, которые позволили совершенствоваться и интенсифицировать цикл дробления. Разработан новый способ определения характеристик эластичных материалов, используемых для

изготовлення сит виброгрохотів. Результати роботи освещені в 3 монографіях, 53 статтях и 61 изобретениях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА :

Цикл дроблення, метод аналізу, математична модель, віброгροхот, сіюча поверхня, ефективність.



АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск В. Г. Перепелиця

Підписано до друку 01.03.96. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 2,0. Умовн. фарб.-вілб. 2,0. Тираж 130. Замовлення N 198. Замовлене. Видавничо-поліграфічне орендне підприємство "Дніпро" ВПОП "Дніпро", 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.

444840

AB 34.273