

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

АРХИПЕНКО Валентин Павлович

**МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СОЗДАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН
ДЛЯ БУНКЕРНОГО ВЫПУСКА
И КОНТЕЙНЕРНОЙ ОБРАБОТКИ**

05.15.16 — «Горные машины»

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



00360428 (N)

Дисертацією являється рукопис

Робота виконана в Донецькому державному університеті
металургії "ДонИДМ" Міністерства промисловості України

Офіційні опоненти:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Доктор технічних наук,
професор | ЧЕРВОНЕНКО
Альфред Григорьевич |
| 2. Доктор технічних наук,
професор | УЧИТЕЛЬ
Александр Давидович |
| 3. Доктор технічних наук,
професор | БОЛЬШАКОВ
Вадим Иванович |

ВЕДУЩА ОРГАНІЗАЦІЯ - Криворізький науково-дослідницький
горнорудний інститут (НИГРИ)

Захист состоится " 9 " декабря 1996 г. в 13³⁰ часов
на засіданні спеціалізованого комітету Д.03.10.02 при Інституті
геотехнічної механіки НАН України по адресу: 320095, г.Дніпропетровськ,
ул.Симферопольська, 2а.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інститута.

Автореферат розісланий " 3 " января 1996 г.

Учений секретар
спеціалізованого комітету,
канд.техн.наук

ПЕРЕПЕЛИЦА В.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень исследования тематики диссертации. Вибрационная обработка сыпучих материалов (СМ), под которой понимается любое полезное вибрационное воздействие на СМ в процессе его движения по технологической цепи аппаратов и устройств уже давно и оправданно занимает одно из приоритетных мест среди других обрабатывающих процессов.

Бункерный вибровыпуск СМ рассматривается в силу того, что пассивный выпуск себя исчерпал, а другие виды силового активного воздействия оказались либо трудно применимы, либо не столь эффективны. Существовавшие до недавнего времени бункерные вибропитатели завода "Вибромашина" разработаны более 25 лет назад, вибропитатели типа ПВЕ конструкции ВНИПромтехнологии и ИГТМ НАН Украины, типа ВД и ВПР конструкции ВНИПрудмаш и ГМетА Украины имеют открытый рабочий орган и не рассчитаны на плохосыпучие материалы.

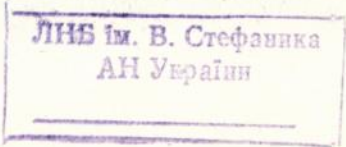
Виброобработка металлизированных отходов промышленности - новый технологический процесс по обогащению полупродуктов перед плавкой, разработан впервые с участием автора в ДониЦМе и характеризуется высокой экономической отдачей.

Оба рабочих процесса наиболее эффективно осуществлены на криволинейных грузонесущих поверхностях. Эти обстоятельства предопределили постановку актуальной научной проблемы - создание и совершенствование вибрационных машин для бункерного выпуска и конвейерной обработки на основе исследований поведения виброслоя СМ на рабочих органах с замкнутым объемом и криволинейной ГП, присущих этим машинам, с разработкой научных основ установления кинематических и конструктивно-технологических параметров. Работа выполнена во ВНИЦцветмете, УК СДИ и ДониЦМе. Основные результаты по обобщению теории установления параметров получены в ДониЦМе.

Цель работы и основные задачи научного исследования. Разработка механико-технологических основ создания высокоэффективных компактных машин для бункерного выпуска и конвейерной обработки с низкой удельной энергоемкостью и расширение сферы их использования с решением следующих задач:

1) изучение условий и использование упруго-вязких реологических моделей процессов вибротранспортирования при описании движения виброслоя на рабочих органах с криволинейной грузонесущей поверхностью вибровыпускных и виброобрабатывающих машин;

2) экспериментальные исследования процессов вибровыпуска и



обработки с созданием специальных датчиков для исследования параметров виброслоя СМ и определения рациональных форм и параметров профилей рабочих органов вибромашин;

3) идентификация параметров моделей реальным виброслоям СМ с решением идентифицированных моделей относительно скорости виброперемещения СМ;

4) на основе проведенных исследований разработка принципиально новых и совершенствование используемых вибромашин и устройств для выпуска из бункеров, обработки, уплотнения, грохочения и транспортирования; разработка методик расчета для вновь созданных машин и устройств бункерного вибровыпуска; промышленная проверка результатов исследований.

Теоретическая и практическая ценность исследования и научная новизна состоит в совершенствовании научных основ создания вибрационных транспортно-технологических машин, заключающихся в развитии прикладных положений теории колебаний, сыпучей среды, динамики машин и на этой основе теоретическое обоснование и формулирование принципов расчета и выбора кинематических и конструктивно-технологических параметров машин.

Практическое значение работы состоит в использовании научных положений, установленных закономерностей, расчетных методик, выводов и рекомендаций для расширения сферы использования, модернизации и создания высокоэффективных компактных вибромашин: бункерных вибропитателей, обеспечивающих дозированный выпуск с удельной производительностью до $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ и удельной энергоемкостью до 5 кВт на 1 тонну массы конструкции, бункерных вибровыпускателей, обеспечивающих управляемый выпуск насыщенных влагой претерпевших сыпучесть материалов с показателями до $1000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{т}^{-1}$ и до $10 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$, виброобработывающих машин, позволяющих высокоэффективно обогащать металлизированные, оплакованные полупродукты промышленных производств.

Разработаны методы расчета ВВЕУ, учитывающие давление СМ, выходящего из бункера, физико-механические свойства СМ, тип и мощность вибропривода, взаимосвязку размеров устья бункера и рабочих органов ВВЕУ, затвор СМ при выключении вибропривода, траекторию свободной поверхности виброслоя. Расчеты сведены к САПР. Дополнены методы расчета ВМ, позволяющие рассчитывать скорость циркуляции сыпучей загрузки (СЗ) в зависимости от параметров вибрации и физико-механических свойств сыпучей загрузки.

На основании исследований предложены принципиально новые конструкции для бункерного вибровыпуска практически любых плохосыпучих материалов в режиме управляемого выпуска устройствами в виде виброноро-

нок с боковым выпуском и маятниковой подвеской, использующих гравитационные силы $СМ$, выходящего из бункера в виде составляющих усилий сдвига $СМ$ по криволинейной ГП рабочих органов.

Предложены принципиально новые и простые конструкции бункерных побудителей истечения из встроенных в бункер вибрирующих ворошащих элементов. Впервые составлена расчетная схема таких устройств, выполненная из реологических упруго-вязких элементов с получением аналитических выражений для амплитуды силы, воспринимаемой $СМ$, амплитуды возмущений вибрирующих элементов, коэффициентов динамичности и вибропобуждения, позволяющих обоснованно применять, рассчитывать и совершенствовать побудители истечения.

Проведенные исследования процессов вибродвижения $СМ$ позволили также разработать принципиально новые конструкции машин для виброуплотнения $СМ$ в конических сосудах, использующих явление ориентации частиц $СМ$ вдоль силовых линий вибрационного поля, позволяющих на 25% увеличить массу нетто $СМ$ при уплотнении в конических контейнерах и спиральных грохотах для $СМ$, включающих большой объем посторонних длинномерных и изогнутых включений.

Научная новизна проведенных исследований состоит в том, что впервые выявлены условия применения методов феноменологической реологии к рабочим процессам бункерного выпуска $СМ$ по криволинейным ГП и контейнерной виброобработки $СЗ$ в U -образном PO , позволяющих в рабочем диапазоне параметров вибрации определять скорость движения виброслоя. Упруго-вязкая модель (УВМ) бункерного выпуска дополнительно к известным включает этап независимого движения, УВМ выпуска через вибровыпускатель моделирует процесс вибротранспортирования осуществляемого совместно с процессом выдавливания, использование УВМ виброобработки основано на применении закона сохранения количества движения.

Теоретически установлены и экспериментально подтверждены с помощью разработанных автором датчиков годографы и величины скоростей монослоев, усилия напора виброслоя на зонд по монослоям, что позволило впервые идентифицировать параметры предложенных моделей реальным $СМ$. Разработанные автором программы идентификации моделей позволили исследовать и установить закономерности изменения параметров моделей в диапазоне частот колебаний 15...50 Гц и физико-механических свойств $СМ$. Идентификация моделей вибровыпуска выполнялась по сопоставлениям скоростей монослоев, виброобработки с ограничениями по углу отрыва $СМ$ от ГП и коэффициента режима работы. Параметры УВМ в процессе работы для внешней среды уменьшались с уменьшением ампли-

туды и увеличением частоты колебаний ГП. Параметры внутренних свойств УВМ изменялись в обратном направлении.

Впервые составлены классификации бункерных вибровыпускных устройств и их рабочих органов, позволяющие целенаправленно производить выбор и совершенствование конструкций.

Впервые предложены и научно обоснованы основные параметры и профили рабочих органов вибровыпускных бункерных устройств (ВВЕУ).

Значение уровня реализации, внедрения научных разработок, научных исследований. Разработанные вибрационные транспортно-технологические машины внедрены в количестве 115 ед. на 12 предприятиях, среди которых: Усть-Каменогорский титано-магниево-цинковый комбинат, Лениногорский полиметаллический и Алтайский горно-обогатительный комбинаты, Семипалатинское АО "Силикат", завод "Электроцинк" г. Владикавказ, Донецкий высоковольтных опор, Пятигорский мусоросжигательный, опытный ВНИЦцветмета, МПС "ВИМИС" г. Донецка, ПКМП "Металлы и сплавы", экспериментальная база ДониЦМе. Результаты научных исследований, методик расчетов используются при чтении лекций, выполнении дипломных и курсовых проектов (УК СДИ, МИСИ, БТИСМ, МВМИ, ДПИ).

Достигнута удельная производительность вибропитателей в $230 \text{ м}^3/\text{ч}^{-1}$, вибровыпускателей в $160 \text{ м}^3/\text{ч}^{-1}$ на 1 кВт установленной мощности. Достигнуто эффективное обогащение металлизированных отходов промышленности. Содержание металла в шлаках после виброобработки поднималось с 20 % до 98 %. Полный экономический эффект от внедрения выполненной работы составил более 7,5 млн. рублей (в ценах 1969 г.). Долевое участие автора составило 1,5 млн. рублей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Работа содержит 310 страниц машинописного текста, 4 таблицы, 108 рисунков на 48 страницах.

Декларация конкретного собственного вклада диссертанта в разработку научных результатов, которые выносятся на защиту.

Выявление закономерностей движения СМ в рабочих органах ВВЕУ и ВСМ, степени необходимого применения вибрации, определение масс геометрических параметров устройств, создание методик расчета вибрационных машин, внедрение машин осуществлено автором при выполнении госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских тем, ответственным исполнителем и руководителем которых он являлся в процессе своей работы во ВНИЦцветмете, УК СДИ, ДониЦМе.

По теме диссертации опубликовано: раздел в монографии, 3 брошюры, 40 статей и 26 тезисов докладов на конференциях. В совместных публикациях автор описал аналитический путь выявления рациональных параметров вибрации привода и геометрических характеристик конструкций ВТМ, математические модели виброперемещения слоя СМ, конструкции датчиков, методику проведения экспериментов, обработка данных на ЭВМ, расчетов и идентификации параметров механо-реологических моделей виброносителя, основные узлы принципиально новых конструкций ВТМ, результаты внедрения на промышленных предприятиях.

Характеристика методологии, метода исследования. Применение фундаментальных положений и методов теории колебаний, сыпучей среды, реологии, динамики машин, апробированных методов решения при экспериментальных и численно-аналитических исследованиях физических закономерностей движения сыпучих материалов в рабочих органах с замкнутым объемом и криволинейной ГП, присущей вибровыпускным бункерным устройствам и контейнерным виброобработывающим машинам, составление инженерных методик расчетов создание и внедрение вибрационных машин.

Апробация работы. Основные положения, полученные в диссертации положительно оценены по 28 докладам на 16 конференциях, среди которых Вторая национальная научно-техническая конференция с международным участием "Втормет-90", Болгария, г. Варна, II-ой всесоюзный семинар "Горные и строительные вибрационные машины и процессы", г. Новосибирск СО РАН (1988 г.), II-я Всесоюзная научно-техническая конференция "Проблемы развития и совершенствования подъемно-транспортной, складской техники и технологии" г. Москва (1990 г.), Всесоюзная научно-техническая конференция "Технология сыпучих материалов "Химтехника-89" г. Ярославль и др.

Автор выражает глубокую благодарность докт. техн. наук, профессору Гончаревичу Игорю Фомичу за ценные советы и постоянное внимание в процессе выполнения исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ БУНКЕРНОГО ВИБРОВЫПУСКА И КОНТЕЙНЕРНОЙ ВИБРООБРАБОТКИ. Вибрационные машины транспортно-технологического назначения связаны между собой единой общей теорией — теорией движения виброслоя сыпучего материала (СМ) по грузонесущей поверхности (ГП), базирующейся на теории вибротранспортирования СМ, наиболее полно рассмотренной в работах И.И. Блехмана, И.И. Быховского, И.Ф. Гончаревича, В.Н. Потураева, А.Г. Червоненко. Движение мелкодисперсных СМ рассмотрено и автором (8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18).

Много общего с вибротранспортирующими машинами имеют вибропитатели созданные в разные годы, в основном, для выпуска и доставки руды из блоков. Значимый вклад в теорию вибровыпуска внесли А.О. Спиваковский, В.А. Бауман, И.Ф. Гончаревич, А.Г. Червоненко, В.И. Дырда, Я.А. Тишков, И.И. Коварма, А.Д. Учитель, Э.А. Корнет, Я.Б. Кальницкий, А.Б. Один и др. Бункерному выпуску и разработке конструкций посвятили ряд работ В.А. Бауман, Р.Л. Зенков, В.Д. Варсанюфьев, В.И. Дырда, В.П. Савченко, В.А. Лобачев, А.А. Борщевский, В.И. Большаков, Г.А. Рогинский, Hanswalter Hockel, A. Jenike и др.

В работах А.Г. Червоненко, В.Д. Варсанюфьева, А.Я. Тишкова и некоторых других отмечена актуальность создания компактных вибромашин для выпуска и обработки СМ, повышения интенсивности воздействия рабочих органов на обрабатываемый СМ и более полный учет закономерностей поведения виброслоя СМ. Вовлечения в переработку металлизированных отходов промышленности оказалось наиболее эффективным при использовании виброобработывающих машин (ВОМ) с U-образным рабочим органом. Большой вклад в создание и исследование конструкций ВОМ внесли А.П. Бабичев, А.П. Субач, П.Д. Денисов, М.Е. Шаинский, И.Е. Бронштейн, В.А. Повидайло, W. E. Grandt и др.

Однако имеющиеся теоретические и экспериментальные работы не дают в полной мере ответа на главные вопросы: какими должны быть рабочие органы бункерных вибровыпускных устройств, в особенности, для выпуска плохосыпучих материалов и вибромашин для обработки (обогащения) металлизированных отходов промышленности, как рассчитать и выбрать их конструктивные и кинематические параметры, какой моделью достоверно описать движение виброслоя сыпучего материала.

Движение СМ обычно рассматривают на примере движения какой-либо модели. Первой моделью движущегося вибратора СМ явилась материальная частица, движение которой рассмотрено в фундаментальной монографии и других работах И.И. Блехмана. В 70-е годы получила распространение упруго-вязко-пластичная модель вибратора, основанная на принципах феноменологической реологии, предложенная И.Ф. Гончаревичем и использованная автором (8, 9).

В 80-е годы были предложены ряд новых моделей вибратора СМ. Модель вибратора руды, выпускаемой из блоков, в виде стержня постоянного сечения наделенного упруго-наследственными свойствами и инерционностью предложил А.Г. Червоненко. Для моделирования процессов движения сыпучей загрузки в U - образном рабочем органе виброобработывающей машины А.П. Субач предложил одно- и двухмассную модели в виде жесткого диска, опирающегося на радиально расположенные упруго-вязкие элементы. Для этого же процесса И.И. Блехман и В.Л. Левенгарц предложили модель в виде цепочки распределенных масс, связанных реологическими телами. Скорость циркуляции определялась как скорость движения массы по наклонной шероховатой плоскости, совершающей поступательные эллиптические колебания. Анализ уравнений модели показал, что модель в виде стержня включает только его продольные колебания и не учитывает геометрию рабочего органа и возникающие при этом структурные перестройки монослоев. Модель в виде цепочки распределенных масс не учитывает также перестройку монослоев и изменение параметров вибратора вдоль рабочего органа. В связи с этим наиболее перспективным остается использование и дальнейшее совершенствование механо-реологических моделей, предложенных И.Ф. Гончаревичем (8, 20).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ВИБРОСЛОЯ СМ
Феноменология процесса бункерного выпуска вибропитателем/65/

Процесс характерен тремя зонами: а) зона выпускного окна бункера — стесненное движение монослоев в направлении близком к вертикальному, б) зона дугообразного днища — перестройка и изменение направления движения разрыхляющихся в замкнутом объеме монослоев с вертикального на горизонтальное, в) зона с верхней открытой поверхностью — разрыхление монослоев, движение верхних монослоев, как правило, с опережением нижних.

В условиях такого сложного движения аналитически процесс наиболее целесообразно рассмотреть в сечении А-А, от кромки бункера до линии на днище с углом $\alpha \approx \beta$, где, по существу, закончилось поршневое воздействие на слой дугообразной части днища и начался в чистом виде процесс вибротранспортирования.

Феноменология процесса бункерного выпуска вибровыпускателем.

Процесс характерен замкнутостью объема рабочего органа и выпускаемый материал не терит контакт с грузонесущей стенкой. За счет углового колебательного движения рабочего органа происходит периодическое изменение объема рабочей зоны с образованием в выпускаемом материале переменного давления. При сжатии выпускаемый материал выдавливается из рабочего органа, при разряжении рабочий орган заполняется материалом из бункера с одновременным вибротранспортированием его к выпускному окну. Аналитическое рассмотрение процесса целесообразно осуществить в сечении на границе давлений в виброслое и атмосферного, то есть у выпускного окна рабочего органа.

Считая СМ описывается уравнениями:

$$m \cdot (\ddot{x} - \ddot{x}) = F_x - (G/\varphi); \quad (dG/dt) + (G/2) \dot{\epsilon} = G(d\alpha/dt); \quad (I)$$

где G — напряжение деформации, G — модуль упругости, 2 — коэффициент вязкости, ρ — плотность.

Феноменология процесса виброобработки в U-образном рабочем органе.

Наиболее важное технологическое значение для виброобработки имеет медленное циркуляционное движение сыпучей загрузки. Для моделирования движения воспользуемся законом сохранения количества движения "mV", где m — масса, V — скорость движения. Рассечем плоскостью I-I, проходящей через "нулевую" точку поперечное сечение СЗ, где движения в данный момент нет (рис. 1а). Снизу от этой точки движение активно и идет за счет колебаний рабочего органа, сверху СЗ движется пассивно в обратном направлении. Количество движения "mV" верхних слоев равно количеству движения нижних. При колебаниях РО плоскость I-I развернется на

Феноменология процесса вибровыпуска через
вибропитатель

Таблица I

	Схема соединения реологических тел	Наименование и характеристика этапа	Дифференциальное уравнение
а		Совместное движение виброслоя и рабочего органа (участок деформации)	$\ddot{x} - g \sin \alpha + 2n(\dot{x} - \dot{X}) + p^2(x - X) = \ddot{X};$ $\ddot{y} + g \cos \alpha + 2n(\dot{y} - \dot{Y}) + p^2(y - Y) = \ddot{Y}$
б		Скольжение при положительной относительной скорости виброслоя и рабочего органа (участок сдвига)	$\ddot{x} - g \sin \alpha + 2n(\dot{x} - \dot{X}) = \ddot{X} - \text{Sign}(\dot{x} - \dot{X}) \mu N/m ;$ $\ddot{y} + g \cos \alpha + 2n(\dot{y} - \dot{Y}) + p^2(y - Y) = \ddot{Y}$
в		Скольжение при отрицательной относительной скорости виброслоя и рабочего органа (участок сжатия)	$\ddot{x} - g \sin \alpha + 2n(\dot{x} - \dot{X}) + p^2(x - X) = \ddot{X} - \text{Sign}(\dot{x} - \dot{X}) \mu N/m ;$ $\ddot{y} + g \cos \alpha + 2n(\dot{y} - \dot{Y}) + p^2(y - Y) = \ddot{Y}$
г		Независимое движение при положительной относительной скорости виброслоя и рабочего органа. Силы не приложены (участок сдвига)	$\ddot{x} - g \sin \alpha + 2n(\dot{x} - \dot{X}) = \ddot{X};$ $\ddot{y} + g \cos \alpha + 2n(\dot{y} - \dot{Y}) + p^2(y - Y) = \ddot{Y}$
д		Независимое движение при отрицательной относительной скорости виброслоя и рабочего органа. Силы не приложены (участок сжатия)	$\ddot{x} - g \sin \alpha + 2n(\dot{x} - \dot{X}) + p^2(x - X) = \ddot{X};$ $\ddot{y} + g \cos \alpha + 2n(\dot{y} - \dot{Y}) + p^2(y - Y) = \ddot{Y}$

угла θ . Слева от сечения I-I случая нагрузка движется не только под действием вибрационных сил, но и сил тяжести по сферической поверхности PO . Силы скатывания практически равны силам подъема справа от сечения I-I. Параметры модели определим, представив СЗ как вибротранспортируемый слой CM на колеблющей, наклоненной под углом θ вверх грузонесущей поверхности (рис.1б). По данным исследований [2,7] угол отрыва реального слоя от ГП находится в пределах $30...180^\circ$, угол падения $\varphi_0 = 270...360^\circ$, при этом угол совместного движения φ^* находится в пределах $140...270^\circ$, а угол свободного движения $\delta = 90...310^\circ$. Имея в виду, что при падении виброслоя имеет ускорение \ddot{y} равное ускорению свободного падения g , а при соприкосновении скорость виброслоя \dot{y} уравнивается со скоростью грузонесущей поверхности \dot{Y} и виброгеологические характеристики виброслоя не могут быстро измениться, рассматривая выражение для этапа полета получим:

$$g + 2n_y^* \dot{Y} = \ddot{Y} - g \cos \alpha; \quad n_y^* = \frac{-\dot{Y} - g(\cos \alpha + 1)}{2\dot{Y}}; \quad (2)$$

где $n_y^* = C_y^*/m$.

Так как ускорение виброслоя \ddot{x} в момент отрыва незначительно отличается от ускорения грузонесущей поверхности \ddot{X} , а горизонтальная составляющая скорости виброслоя в полете \dot{x} в режимах с подбрасыванием составляет $0,85...0,9$ скорости вибротранспортирования $\dot{x}_3/2,7$, после подстановки в выражение для этапа полета получим:

$$\ddot{x} + 2n_x^* \dot{x} = -\ddot{X} + g \sin \alpha - 2n_x^* \dot{X}, \quad (3)$$

$$\text{при } t = t_0; \quad n_x^* = (g \sin \alpha - 2\ddot{X}) / 2(\dot{x}_3 + \dot{X}), \quad \text{где } n_x^* = C_x^*/m. \quad (4)$$

Нормальная реакция виброслоя CM определяется выражениями:

$$N = (P_y^*)^2 y + 2n_y^* \dot{y}; \quad N = F_{cgb} / \mu_{gb}. \quad (5)$$

$$\text{при этом сдвигающая сила } F_{cgb} = (P_x^*)^2 x + 2n_x^* \dot{x}, \quad (6)$$

$$\text{где } (P_y^*)^2 = k_y/m; \quad (P_x^*)^2 = k_x/m; \quad n_y^* = C_y^*/m; \quad n_x^* = C_x^*/m.$$

$$\text{После преобразований, при } (P_x^*)^2 = (0,2...0,5)(P_y^*)^2, \quad (7)$$

$$n_y^* = \frac{[(0,2...0,5)(P_y^*)^2 x + 2n_x^* \dot{x} - (P_y^*)^2 y]}{\mu_{gb} (2\dot{y})}, \quad (8)$$

Скорость скольжения CM по грузонесущей поверхности, изменяющейся от \dot{X} до \dot{x}_3 , можно принять равной их среднеарифметическому значению $(\dot{x}_3 + \dot{X})/2$. Перемещение и скорость CM на этапе совместного движения y , \dot{y} равны соответствующим перемещениям и скоростям грузонесущей поверхности Y , \dot{Y} . Без большой погрешности ускорение \ddot{x} можно также принять равным \ddot{X} . С учетом этого $\ddot{X} + 2n_x^* (\dot{x}_3 + \dot{X})/2 = g \sin \theta + \ddot{X} - 2n_x^* \dot{x} -$

$$- \text{Sign} \left(\frac{\dot{x}_3 + \dot{X}}{2} \right) \mu_{gb} (F_{cgb} / \mu_{gb} - 2n_y^* \dot{Y}); \quad (9)$$

Схема движения (а) и УВМ (б) движения СМ в ВОМ.

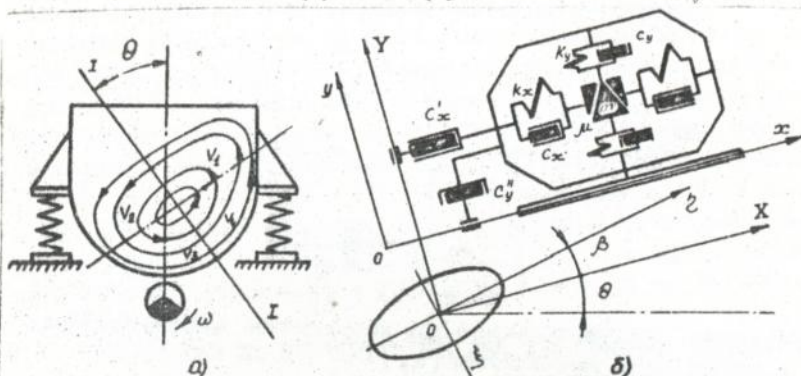


Рис. I

после преобразования получим: $(p_y^*)^2 = \frac{(\dot{x}_z + \dot{x})[g \sin \theta - F_{cgb}]}{}$

$$- \text{Sign} \left(\frac{\dot{x}_z + \dot{x}}{2} \right) \mu_{gb} \left(\frac{F_{cgb}}{\mu_{gb}} - 2n_y \dot{y} \right) - F_{cgb}. \quad (10)$$

(0.2 ... 0.5) (-2\dot{x} - \dot{x}_z)

Решая уравнение при $\varphi = \varphi_0$ (только при нахождении n_x^*) и задавая значениями n_y^* , например, из прогрессии чисел ряда 1, 2, 4, 8, 16 и т.д. и используя соотношение $p_y^* < n_y^*$ находим p_y^* , n_y^* затем по уравнению (7) вычисляем значение p_x^* и преобразовывая (6) имеем:

$$n_x^* = [F_{cgb} - (p_x^*)^2 x] / [2(\dot{x}_z + \dot{x})] \quad (11)$$

БУНКЕРНЫЕ ПОБУДИТЕЛИ ИСТЕЧЕНИЯ (БИИ) С ОСТЕРЖНЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ /22/

В расчетной схеме БИИ можно выделить три основные части: источник возмущений (остержевой вибропобудитель), корпус бункера и побуждаемый к истечению СМ (рис. 2а). Величина реакции СМ определяется зависимостью:

$$R/m = R'/m = p^2 \delta + 2n \delta; \quad \text{где } p^2 = k/m; \quad 2n = c/m \quad (12)$$

Жесткость k и коэффициент демпфирования c (рис. 2б) связаны между собой коэффициентом относительного демпфирования $\gamma = c/2\sqrt{km}$. Собственная частота p определяется по статической деформации δ ст. под нагрузкой mg . При этом амплитуда вынуждающей силы, воспринимаемой СМ

$$R = k_R F = (\sqrt{p^4 + 4n^2 \omega^2} / \sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}) F \quad (13)$$

амплитуда возмущений вибрирующих элементов БИИ

$$T = k_T F = (1/m \sqrt{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}) F \quad (14)$$

Схема (а) и расчетная модель (б) БПИ

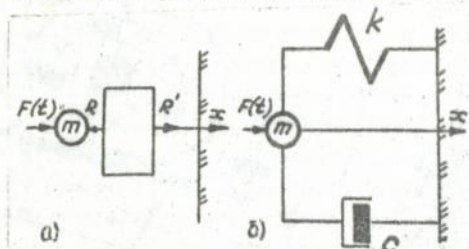


Рис.2

Преобразовывая, получим выражение для коэффициента возбуждения (k_R) и коэффициента динамичности (k_T)

$$k_R \cdot \frac{R}{F} = \sqrt{\frac{1 + 4\gamma^2 z^2}{(1 - z^2)^2 - 4\gamma^2 z^2}}; \quad k_T = \frac{T}{F} = \frac{1}{m \sqrt{(1 - z^2)^2 + 4\gamma^2 z^2}} \quad (15)$$

Проведенные исследования позволили сформулировать научное положение. Движение СМ на рабочих органах ВВЕУ и БОМ с криволинейным жестким дном описывается уравнениями УВМ, составленных с учетом действия виброслоя СМ по нормали к одному сечению: для вибропитателей - в сечении СМ, имевшем с одной стороны свободную поверхность виброслоя, для вибровыпускателей - в сечении выпускного окна, для контейнерных вибромашин - в сечении, проходящим через ось симметрии поперечного разреза циркулирующей СЗ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ /9,34,65/. Нахождение параметров УВМ предполагает определение скоростей движения монослоев, усилий сдвига между монослоями и на границе виброслой-грузонесущая поверхность, выявление годографа движения монослоев СМ. Кроме этого при исследовании ВВЕУ определялись - профиль рабочего органа и зависимости производительности и удельной энергоемкости от параметров вибрации. Кинематическое подобие натуральных установок и моделей не проводилось, поскольку геометрические размеры натур и модели отличались не более одного порядка величин. В опытах использовались СМ реальных производственных условий. Эталонным СМ считался кварцевый песок.

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ И АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ /9, 34,65/. Траектории движения монослоев фиксировались стержневым датчиком с основным и пилотным флажком. Скорости монослоев по высоте виброслоя измерялись зондовым датчиком и регистрировались электрическим секундомером типа СЭД. Запись сигнала осуществлялась прибором Н3021-4. Сигнал по усилиям напора на зонд усиливался тензосилителем ТОПАЗ-3 и регистрировался милливольтметром ЛМ-1, фазовые углы движения измерялись тензометрическим мембранным датчиком. Сигнал от

датчика усиливается тензоусилителем УТ4-1 или ТОЛАЗ-3 и записывается на фотоленту осциллографом НО 41.У4.2 либо на диаграммную ленту самописцем Н-327. Параметры вибрации рабочего органа контролировались вибрографом ВР-1, розеткой с мерными клиньями, тахометрами типа ТМ-2а и строботахометром СТ-5. Варьирование параметрами вибрации осуществлялось в пределах: для вибропитателей - $A = 0,1 \dots 1,0$ мм; $\Pi = 1500 \dots 3000$ мин⁻¹; $\beta = 0 \dots 30^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; для вибровыпускателей: $A = 0 \dots 5$ мм; $\Pi = 800 \dots 2000$ мин⁻¹; $\beta = 0 \dots 16^\circ$; для обрабатываемых машин - $\beta = 30 \dots 50^\circ$; $\theta = 5 \dots 20^\circ$; $A = 3 \dots 9$ мм; $\Pi = 600 \dots 1500$ мин⁻¹; для виброконвейеров - $K_p = 1,3 \dots 2,9$; $A = 3 \dots 7$ мм; $\Pi = 600 \dots 1200$ мин⁻¹; $\beta = 30^\circ$; $\alpha = 0^\circ$.

ПРОЦЕСС ВЫПУСКА ВИБРОПИТАТЕЛЕМ /65/. Для процесса наиболее значимым фактором является показатель степени кривизны дна рабочего органа. Уравнение регрессии при планировании данных приняло вид:

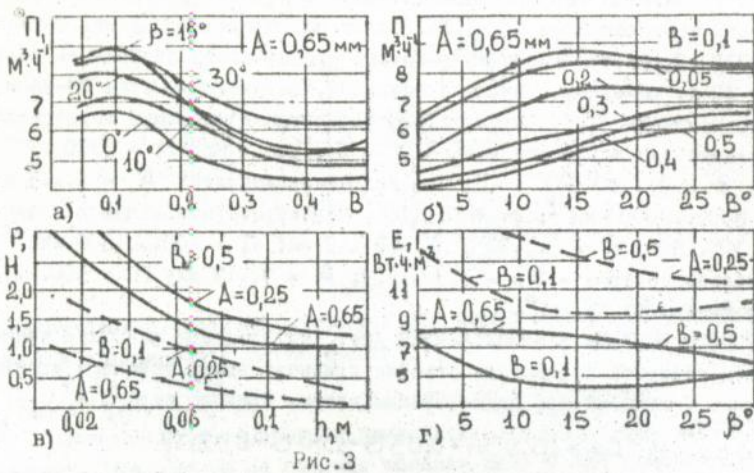
$$y = 0,4 + 15,03A + 0,03\beta + 1,56B + 0,02A\beta. \quad (17)$$

Производительность вибровыпуска на лотках с разной кривизной ПП (рис.3) изменяется практически по линейной зависимости (рис.3а). С увеличением A наибольшая производительность на лотке с коэффициентом кривизны $B = 0,1$ при угле вибрации $\beta = 15^\circ$, а на лотке с $B = 0,5$ при $\beta = 30^\circ$ (рис.3б). Однако при увеличении угла вибрации возрастает и динамическая нагруженность на рабочий орган. Вибропитатель с такой лоткой (при $B = 0,1$) обладает и меньшей энергоемкостью (рис.3г). $E = W_A/Q$, где W_A - активная мощность привода, Q - производительность вибровыпуска. Скорость верхних монослоев примерно на 50% выше, чем у нижних.

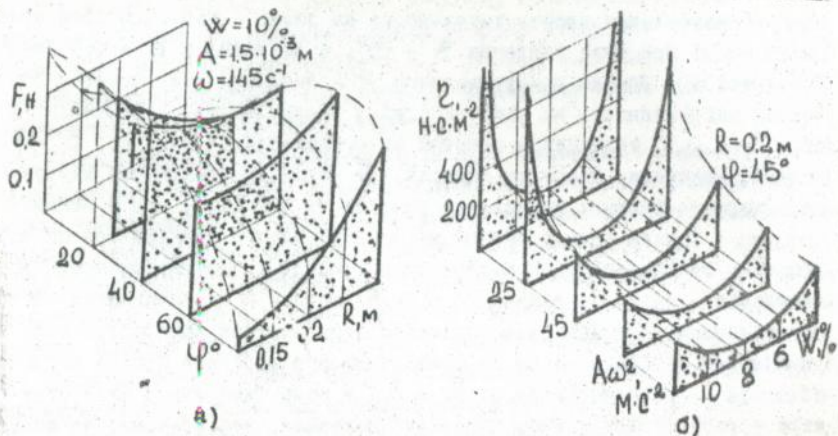
Усилия напора потока на зонд по высоте уменьшаются по мере удаления от грузонесущей поверхности (рис.3в). Повышается подвижность вышележащих слоев по сравнению с нижележащими и увеличивается скорость их истечения. Исследования характера и параметров распространения механических колебаний в СМ от прямолинейного рабочего органа вибропитателя ПЭВ и криволинейного с $B = 0,1$ в зоне "выпускное отверстие бункера - рабочий орган вибропитателя" показали, что убывание по высоте амплитудных значений вибрации в СМ подчиняется экспоненциальному закону. Глубина проникновения колебаний от криволинейного РО больше и целенаправленной, чем от прямолинейного.

ПРОЦЕСС ВЫПУСКА БУНКЕРНОЙ ВИБРОВЫПУСКАТЕЛЕМ (ВОРОНКОЙ)/25/. для этого процесса (рис.8а) наиболее значимым фактором является угол вибрации. Для распределения скоростей внутри РО уравнение регрессии приняло вид:

Экспериментальные данные по выпуску СМ вибропитателем



Экспериментальные данные по выпуску СМ вибровыпускателем



$$V_{\text{высок}} = -0,025 - 28,8A + 13 \cdot 10^5 \omega - 86 \cdot 10^5 W + 0,66R - 2 \cdot 10^{-3} \varphi - 1,5R^2 + 45 \cdot 10^{-6} \varphi^2 - 0,33 \varphi R + 0,7A\omega - 2 \cdot 10^3 A\omega^2 + 25 \cdot 10^5 A^2 \omega^3$$

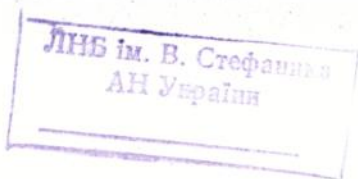
(18)

Скорость движения СМ плавно возрастает по мере приближения к выпускному отверстию. По усилию напора СМ на зонд наиболее характерное сечение, проведенное под углом $\varphi = 50^\circ$ (рис. 4а). Чем больше усилие напора на зонд, тем меньше скорость вибровыпуска. Удельное давление (сдвиг по монодолям) и скорость вибровыпуска плавно возрастают с увеличением параметров вибрации. Коэффициент эффективной вязкости λ определенный методом остановленного шарика (зонда) по формуле Стокса принимает минимальное значение при влажности цинкового концентрата $W = 8\%$ (рис. 4б), для песка λ изменяется плавно при $W = 4...16\%$.

ПРОЦЕСС ВИБРООБРАБОТКИ /35,76/. При заполнении рабочего органа (рис. 1а) на 0,6...0,9 части объема, траектории колебаний РО принимали форму эллипса, причем наклон большей оси эллипса находился в пределах $45...70^\circ$. После обработки СЗ в гиде металлизированных отходов, когда отколовшиеся частицы шлака удалились через перфорированное шпальтовое дно, а в РО осталось 0,1...0,3 части первоначального объема СЗ в виде отгальтованных металлических корольков, наклон большей оси эллипса становился равным $60...80^\circ$. Ось симметрии поперечного сечения СЗ отклонялась от вертикали на угол $\theta = 5...20^\circ$. Угол вибрации β , отсчитываемый от линии перпендикулярной оси симметрии до большей оси эллипса, составлял $30...50^\circ$. Усилия сдвига $F_{сдв}$ частиц СЗ между собой и с грузонесущей поверхностью в непосредственной близости от перфорированного дна РО оказались на уровне 0,4...40 Н. При принятых параметрах вибрации реализовывался ударный режим обработки. Время пребывания СЗ в рабочем органе не превышало 20 мин.

На основании экспериментальных исследований сформулировано второе научное положение. Степень необходимого приложения вибрации и масс-геометрические параметры машин определяются: для вибропитателей – углом естественного откоса, точнее, углом осыпания СМ, влияющего на затвор СМ при выключении вибропривода; для вибровыпускателей – вязкостью СМ, влияющей на процесс выдавливания при изменении клинового объема рабочей зоны; для ВСМ – наступлением режима ударного приложения вибрационных сил.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УВМ РЕАЛЬНОМУ ВИБРОПРЕМЩАЕМОМУ СЛОЮ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА. ПРОЦЕСС ВЫПУСКА ЧЕРЕЗ ВИБРОПИТАТЕЛЬ /19,65/. Дифференциальные уравнения движения УВМ решены поэтапно. Моменты перехода от одного этапа движения к другому зависят от предистории процесса, и оцениваются при пошаговом моделировании на временной сетке. Схема решения уравнений модели включает два периода реализуемых на каждом



шаге временной сетки: 1) распознавание этапа движения CM на данном шаге, 2) аналитическое решение дифференциальных уравнений, соответствующих данному этапу при начальных условиях, определенных на предыдущем шаге. В качестве привязки к реальному виброслою вначале были выбраны параметры коэффициента, характеризующего линейные упругие свойства CM при сжатии $k = 1000 \text{ кгс}^{-2}$, коэффициента пропорциональности между относительной скоростью движения CM и силой вязкого сопротивления $C = 125 \text{ кгс}^{-1}$, коэффициента трения частиц CM о грузонесущую поверхность $\mu = 0,5$ и амплитуды $A = 0,25; 0,45; 0,65$ мм. Идентификация проводилась по отслеживанию экспериментальных зависимостей производительности от амплитуды, угла вибрации, параметра кривизны задней стенки и распределения скоростей движения по высоте виброслоя. Анализ движения UBM по этапам и участкам во время математического моделирования показал, что наибольшим по времени и величине вклада в скорость вибровыпуска является этап скольжения под воздействием подпора. Выражение для скорости на этом этапе в преобразованном виде будет иметь вид:

$$V = 0,06A \cdot \omega \cdot \cos \beta \sqrt{(P/C)^2 - 0,25}, \quad (20)$$

где P — удельный коэффициент, характеризующий объемные упругие свойства CM ; для песка $P = 10000 \text{ с}^{-1}$, для щебня $P = 6900 \text{ с}^{-1}$, для зола и шлака сухого удаления $P = 12500 \text{ с}^{-1}$; соответственно коэффициент вязкого сопротивления для песка $\eta = 130 \text{ с}^{-1}$, для щебня $\eta = 115 \text{ с}^{-1}$, для зола и шлака $\eta = 90 \text{ с}^{-1}$.

ПРОЦЕСС ВЫПУСКА ЧЕРЕЗ ВЫПУСКАТЕЛЬ. Идентификация параметров UBM проводилась также в два этапа. На первом этапе определялись значения параметров сил (коэффициенты упругости и вязкости, коэффициенты трения по поверхности P_0), исходя из сопоставления расчетных и экспериментальных значений процесса бункерного вибровыпуска. На втором этапе сравнивались расчетные характеристики при вариации исходных данных с соответствующими экспериментальными. Идентификация параметров UBM реальным CM дала следующие средние величины для значений упругости и коэффициента трения: для песка с влажностью $W = 10\%$ коэффициент упругости $P = 200 \text{ с}^{-1}$, коэффициент трения $\mu = 0,15$; для цинкового концентрата с влажностью $W = 10\%$ соответственно $P = 100 \text{ с}^{-1}$, $\mu = 0,1$. Идентификация параметра вязкости проводилась с учетом изменения коэффициента пропорциональности между скоростью движения CM и сопротивлением этому движению в разных динамических условиях. Для выявления характера и пределов изменения коэффициента пропорциональности составлялась механико-реологическая модель зонда в виде шарика, находящегося в потоке CM .

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс обтекания зонда потоком СМ, выглядит:

$$m\ddot{x}_3 + C_3(\dot{x} - \dot{x}_3) - kx_3 = 0, \quad (21)$$

где \ddot{x}_3 , \dot{x}_3 , x_3 - ускорение, скорость и перемещение зонда,

C_3 - коэффициент эквивалентной вязкости, пропорциональный силе вязко-сухого трения потока СМ о поверхность зонда. Для рассмотрения процесса относительно начала координат в среднем составлял:

$$x = (C_3 \cdot V) / k; \quad (22)$$

где V - постоянная составляющая скорости СМ, находилась из уравнения:

$$\dot{x} = V + V_0 \cdot \sin \omega t, \quad (23)$$

представляющего собой закон изменения скорости СМ. С другой стороны равновесие зонда в данной точке определяется балансом сил упругости (k) силоизмерительного элемента (тензобалочки) и величиной напора потока СМ на зонд, то есть $x \cdot k = F$. В результате $C_3 = F/V$. Величина C_3 падает с ростом динамического воздействия на СМ и изменение её от ускорения колебаний РО для цинкового концентрата слабее, чем для песка. Для песка $C_3 = 3 \dots 5 \text{ Н} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-1}$ и для цинкового концентрата $3 \dots 30 \text{ Нсм}^{-1}$.

ПРОЦЕСС ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВИБРООБРАБОТКИ/35/. При идентификации параметров ВМ этого процесса вводили ограничения по углу отрыва и при значении, меньшем, чем величина $\arcsin(1/k_p)$ расчеты не производились. Ограничение выражено коэффициентом K_p по условию:

$$K_p^{\min} \arcsin \frac{1}{K_p^{\max}} \leq \varphi_0 \leq K_p^{\max} \arcsin \frac{1}{K_p^{\min}}. \quad (24)$$

Коэффициент режима работы ограничили $K_p^{\min} = 1,1$ и $K_p^{\max} = 6,0$. По данным исследования процесса вибротранспортирования приняли: $\eta = \eta_y^* / \rho_y^* \approx 2$; $z = \psi / \rho_y^* \approx 0,1$. Математическое моделирование осуществлено на ПЭВМ с процессором и оперативной памятью в 1 Мб. Параметры η_y^* , ρ_y^* , ρ_x^* , ρ_y^* находили по выражениям (2), (4), (8) и (10) соответственно. Преобразованием (10), получим $\rho_y^* = \sqrt{\eta \rho_y^* + \delta}$. Имея в виду, что $\rho_y^* \approx \eta_y^* / \rho_y^*$, получим следующую графическую интерпретацию выражений для ρ_y^* (рис. 5).

Взаимосвязь параметров ρ_y^* и η_y^* .

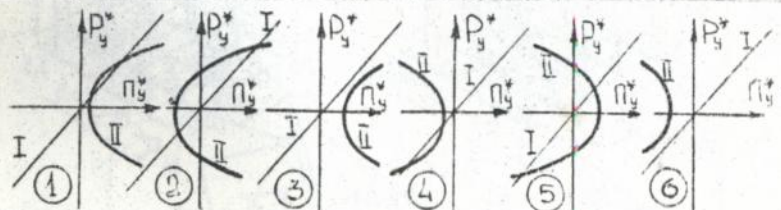


Рис 5

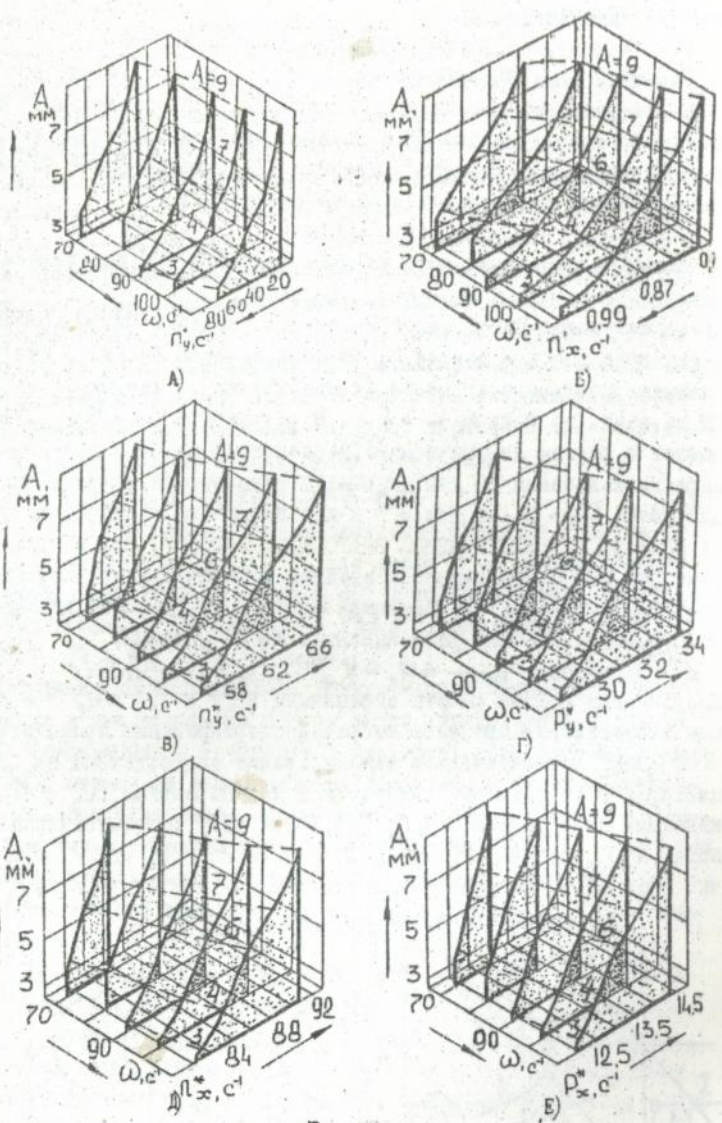


Рис. 6.

БУНКЕРНЫЕ ВИБРОВЫПУСКАТЕЛИ/25,28/. Расчет учитывает физико-механические свойства СМ, наличие посторонних включений, ограничения по высоте устройства, давление, находящегося в бункере и выпускаемого СМ, массу выпускателя, типоразмер вибровозбудителя, угол закручивания резино-металлического маятникового шарнира. Расчет позволяет рассчитывать размеры впускного и выпускного окна, амплитуду колебаний выпускной крошки РО, месторасположение вибропривода, тип резинометаллического шарнира и упругих опор.

Значения расстояния ℓ от оси шарнира до оси вибровозбудителя назначаются по конструктивным соображениям, либо вычисляются, для чего составляются общие уравнения качания вибровыпускателя как маятника на упругом шарнире при условии что угол ψ мал (рис.8а).

$$(m_b \cdot r_b + m_g \cdot \ell) \ddot{\psi} = m_g \cdot r_g \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t ;$$

$$(J_b + m_b \cdot r_b^2 + m_g \cdot \ell^2) \ddot{\psi} + (c_y + c_n \cdot \beta^2) \dot{\psi} + (m_b \cdot r_b \cdot g + k_y +$$
 (26)

$$+ k_n \cdot \beta^2) \psi = m_g \cdot r_g \cdot \omega^2 \cdot \ell \cdot \sin \omega t .$$
 (27)

При приведении их правых частей к одинаковому виду имеем два дифференциальных уравнения вида:

$$A_i \ddot{\psi} + B_i \dot{\psi} + C_i \psi = F \cdot \sin \omega t ; \quad (i=1,2);$$
 (28)

частные интегралы которых, соответствующие периодическим вынужденным колебаниям, должны быть идентичны. Для этого необходимо и достаточно выполнение равенств:

$$A_1 \cdot \frac{C_1}{\omega^2} = A_2 \cdot \frac{C_2}{\omega^2} ; \quad B_1 = B_2 .$$
 (29)

Сравнивая на основании выражения (29) преобразованные уравнения (26) (27) получаем:

$$\ell = \frac{J_b + m_b \cdot r_b^2}{m_b \cdot r_b} - \frac{1}{m_b \cdot r_b \cdot \omega^2} \left(g + \frac{k_y}{m_b \cdot r_b} + \frac{k_n \cdot \beta^2}{m_b \cdot r_b} \right)$$
 (30)

Весь расчет сведен к САПРУ на ПЭВМ с подбором на заданную производительность необходимого вибровозбудителя.

АКТИВНЫЕ БУНКЕРНЫЕ ДНИЩА И ВИБРОСТЕНКИ /Г., 4,28/. Усилие, действующее на приводной шатун (рис.8б) равно $P_{ш} = K_g \sum G_b + F_{ш}$; где K_g -коэффициент динамичности, определяемый знакопеременностью нагрузки, можно принять равным 1,3 ; $F_{ш}$ -усилие на преодоление сдвигу СМ, лежащего на вибростенке, к выходному отверстию, равно $G_{ст} / \cos \beta$, где $\beta_{ст} = Q_v \cdot \sin \theta$, где Q_v -распределенная нагрузка на наклонную вибростенку; $Q_v = K_r \cdot \rho \cdot h \cdot \cos^2 \theta$, для полностью опорожняемых неглубоких бункеров, снабженных побудителями истечения $K_r = 1,6$. Упругие опорные связи рассчитываются по методике /3,4/, при этом амплитуда колебаний бункера определяется по СНИПам.

Конструктивная и расчетная схемы бункерного выпускного устройства "активная вибростенка-выпускатель"

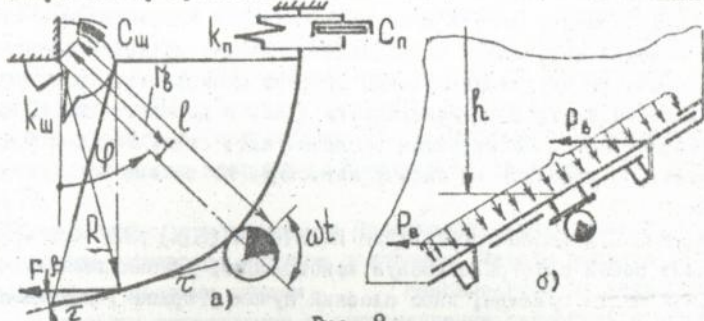


Рис. 8

ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРОВЫПУСКНЫХ БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ. ВИБРОПИТАТЕЛИ (рис. 7). Совершенствование и внедрение этих устройств было выполнено на Лениногорском полиметаллическом комбинате (Зед) для подачи обратного агломерата /6, 11, 71/. Производительность подачи регулировалась изменением напряжения в катушках вибровозбудителей ВЗМ-10/3000 в пределах от 0,1 до 4 т/ч дистанционно, в ручном и автоматическом режимах /12, 13, 14, 15, 38, 39, 40, 41, 49/. Вибропитатели с открытым лотком испытаны и эксплуатируются на Усть-Каменогорском титано-магнيزовом комбинате (с 1985г.)-2ед., свинцово-цинковом комбинате (с 1974г.)-1Зед., Семипалатинском АО "Силикат" (с 1987г.)-1Зед. /24, 42/. Конструкции защищены авт.свид. №№ 533531, 988722, 1446049, 1504170.

ВИБРОВЫПУСКАТЕЛИ (рис. 8а) /23, 68, 69, 70, 72, 74, 78/. При выпуске влажного песка достигался управляемый выпуск с производительностью до 180 м³/ч. Вибровыпускателями выпускалась также золошлаковая смесь с производительностью до 60 м³/ч /27/ и цинковый концентрат. При выпуске насыщенных влагой материалов за счет сил натяжения ледкости, ослипания частиц, лучших, по сравнению с сухим материалом, условий для непрерывности потока, наблюдалось даже засасывание влажного плоскоструйного материала из бункера. Вибровыпускатели установлены с 1983г. в подземной галерее Семипалатинского АО "Силикат"-2Зед. и на Алтайском горно-обогатительном комбинате - 2 ед., Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате - 5 ед. Конструкции защищены авт.свид. №№ 1497239, 1585237, 1630991.

АКТИВНЫЕ БУНКЕРНЫЕ ВИБРОСТЕНКИ И ВИБРОДНИЦА /1, 68, 72, 74, 78/ (рис. 8б) Такое устройство установлено в 1990г. в Семипалатинском АО "Силикат" 1 ед., для выпуска влажного песка и в 1992г. на Усть-Каменогорском

свинцово-цинковом комбинате - 7 ед., Лениногорском полиметаллическом комбинате - 2ед. для выпуска цинкового концентрата. При изменении конфигурации передней стенки бункера, удлинении вибростенки и изменении угла наклона получилось виброднице-питатель, которыми оснащены ВОМ для обработки металлизированных отходов промышленности и бункера в линии навески шихты Верх-Нейвинского (1ед) и Щербинского (1ед) заводов "Эгорцветмет". Конструкции защищены авт. свид. №№1054503, 1779653 и положительным решением на выдачу авт.свид. по заявке 4833086/13 от 24.04.90г.

БУНКЕРНЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ ПОБУДИТЕЛИ ИСТЕЧЕНИЯ (БИИ) /22/ (рис.2), представляющие собой пространственную конструкцию, устанавливаемую в центральной части бункера, либо плоский пучок стержней, устанавливаемых у стенок бункеров. БИИ смонтированы и используются на Усть-Каменогорском титано-магнелиевом комбинате (4ед), в АО Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат (2ед) и заложены в проект Кадамжайского сурьмяного комбината (1ед). Конструкции защищены авт.свид. №№852744, 506824, 1211164, 1382787.

ВИБРОУДАРНЫЕ КОНТЕЙНЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (ВКУ) для обработки металлизированных отходов /29,31,32,66,73,77,78/. Виброустановка состоит из ВОМ, бункера с виброднице-питателем и герметично разгружаемого корова. ВОМ включает две камеры U-образного поперечного сечения, дебалансный вибропривод и упругие винтовые опоры.

Рабочие органы ВОМ

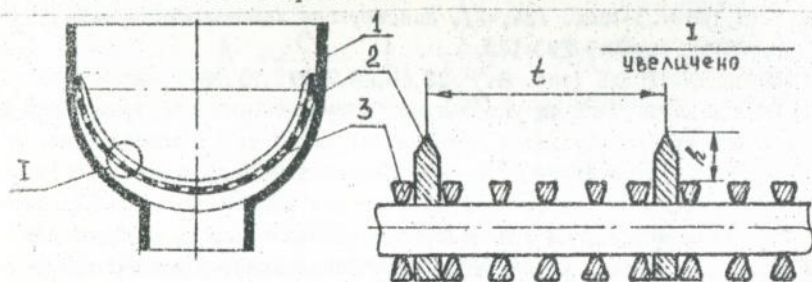


Рис. 9

Рабочая камера оснащена щелевым шпальтовым ситом (рис.9), позволяющим при относительно длительном (до 20мин) воздействии на циркулирующую СВ отделить в холодном состоянии металлическую часть от шлака. Содержание металла в корольках достигало 98%. К настоящему времени ВКУ используется для обработки оловянной изгари на Щербинском заводе

"Вторцветмет" (Гед), цинковой изгари на Верх-Нейвинском заводе "Вторцветмет" (Гед), Донецком заводе высоковольтных опор (Гед), МПС "БИЛС" (Гед), ПГОП "Металлы и сплавы" (Гед), цинковой и оловянной изгари и бронзолатунных шлаков на экспериментальной базе (ПТК) ДониЦМа (Гед). Изготовлена установка для Пятигорского завода по переработке твердых бытовых отходов (ТБО). Ведутся проектные работы для Днепропетровского и Донецкого заводов по переработке ТБО и Запорожского алюминиевого комбината для очистки кварцитов. Конструкция защищена авт. свид. № 176301Б.

Расчеты машин и испытания в производственных условиях позволили сформулировать четвертое научное положение. Методы расчета виброматин с криволинейным жестким днищем основываются на теоретическом и экспериментальном определении и сопоставлении скоростей и усилий сдвига монослоев движущегося СМ, технологической компоновке и взаимосвязке конструктивно-технологических параметров.

ВИБРОУСТАНОВКА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ СМ В КОНИЧЕСКИХ КОНТЕЙНЕРАХ /67, 76/
 Опытно-промышленные испытания выполнены в 1989 г. на Усть-Каменогорском титано-магнелиевом комбинате. Объем засыпанной в конический контейнер титановой губки уменьшался на 20...25 %. Использование виброуплотнителя позволило сократить погрузочно-разгрузочные работы с контейнерами, снизить их количество на 15 % и полнее использовать тоннаж подвижного железнодорожного состава. Конструкция защищена авт. свид. № 854829, 1440944.

ВИБРОУСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СЫПУЧЕЙ СТРУЖКИ ОТ МАСЕЛ, СОЖ И ЗАСОРА /78/. В общем объеме заготавливаемого Вторцветметом лома и отходов для стружки составляет более 28 %. В результате проведенных в 1990 г. исследований по виброцентрифугированию сыпучей стружки, выполненной для Верх-Нейвинского завода "Вторцветмет" (2е) получены положительные результаты по выделению масел и СОЖ из сыпучей стружки. С применением пара давлением 4 атм достигнуто снижение масел и СОЖ с 15 % до 1 %, что позволило плавить стружку без предварительной тепловой обработки. Срок окупаемости линии удаления масел и СОЖ 0,5...0,8 года.

СПИРАЛЬНЫЙ ВИБРОГРОХОТ /78/, представляющий собой спираль диаметром 600 мм и длиной 2500 мм из прутка диаметром 16 мм. Виброгрохот разделял титановую губку на Усть-Каменогорском титано-магнелиевом комбинате одновременно на три фракции: 3...10 мм, 10...20 мм и 20...40 мм с производительностью 20 м³/ч. За время эксплуатации забивание просеивающей поверхности не наблюдалось. Конструкция защищена авт. свид. № 1034791, 1304910.

ВИБРОСУШИЛКА /78/, представляющая собой закрытый спиральный рабочий орган диаметром 1200 мм, высотой 1400 мм и шириной рабочего органа 170 мм. Привод вибросушилки эксцентриковый с параметрами колебаний:

$A = 3 \text{ мм}$, $\Pi = 720 \text{ мин}^{-1}$. Сушке в среде горячего азота подвергался медный электролитный порошок. Вибросушилки использованы на комбинате "Уралэлектромедь" (3 ед). Конструкция защищена авт. свид. № 854829.

ВИБРОКОНВЕЙЕРЫ. Основой для создания и совершенствования конструкции, расширения сферы их применения и настоящих исследований послужили исследования и промышленное использование виброконвейеров, разработанных под руководством и участия автора /2, 13, 14, 15, 16, 18, 78/. Одна из последних моделей эксплуатируется на заводе "Электроцинк" г. Владикавказ для транспортирования горячего оборотного агломерата. Амплитуда колебаний рабочего органа - 8 мм, частота колебаний - 570 мин^{-1} , угол вибрации 30° . Длина виброконвейеров (4 ед) по 24 м. Коэффициент режима работы поддерживался на уровне 2,0...2,6. Аналогичные виброконвейеры спроектированы и установлены в цехе плавки на Усть-Каменогорском титано-магниевом комбинате (3 ед). Конструкции защищены авт. свид. № 971740, 1250506.

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ /5, 78/. Виброконвейеры с водоохлаждаемым рабочим органом были спроектированы для транспортирования и охлаждения алюминиевого шлака, снимаемого с поверхности веркала плавильной печи на Санкт-Петербургском СП "ЛСТ-Металл". Одновременно с транспортированием происходит охлаждение шлака и его отделение от металла. При этом в металлургическое производство вовлекается до 15 % безвозвратно теряемого металла за счет его окисления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дано теоретическое обобщение и новое решение крупной научной проблемы, заключающейся в дополнении и совершенствовании общей теории процессов движения сыпучих материалов под воздействием рабочих органов вибромашин. Созданы и совершенствованы вибрационные машины для бункерного выпуска и контейнерной обработки на основе исследований поведения виброслоя CM на рабочих органах с замкнутым объемом и криволинейной ГП, присущих этим машинам. Разработаны научные основы установления кинематических и конструктивно-технологических параметров ВВЕУ и ВОВ.

На основании исследований получены следующие научные выводы и практические результаты:

I. Выявлены условия применения методов феноменологической реологии для процессов бункерного вибровыпуска и контейнерной вибросфоб.

адекватные движущемуся виброслою сыпучего материала. Получены дифференциальные уравнения движения моделей по рабочим органам вибромашин. Идентификация моделей реальному виброслою выполнена по фазным углам движения, усилиям сдвига монослоев друг относительно друга и с грузонесущей поверхностью, и скоростям движения монослоев сыпучих материалов.

2. Экспериментальным путем с помощью разработанных датчиков фазных углов движения, пневмодавления, скоростей движения монослоев, давления на зонд по монослоям изучены закономерности перемещения различных сыпучих материалов в рабочих органах вибромашин.

3. Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что для бункерного дозированного вибровыпуска предпочтителен предложенный вибропитатель с траекторией грузонесущей поверхности, описываемой уравнением $y = 0.3 \exp(0.1x)$. При этом рационален угол вибрации $\beta = 15^\circ$. Выпуск из бункеров насыщенных влагой плохосыпучих материалов с управляемой производительностью целесообразно осуществлять с помощью предложенных бункерных вибровыпускателей /воронок/ с маятниковой подвеской.

4. Разработаны алгоритмы и программы идентификации параметров упруго-вязких моделей реальному виброслою сыпучего материала. Методами математического моделирования на ЭВМ установлены параметры моделей, проанализировано их перемещение на этапах и участках движения и получены выражения для интегрального показателя процессов вибродвижения - скорости виброперемещения.

5. Теоретически и экспериментально исследованные внутрислоевые процессы, происходящие в сыпучих материалах при их движении в рабочих органах бункерных вибровыпускных устройств и виброобрабатывающих машин, а также разработанный и исследованный метод определения вязкости вибровыпускаемого влажного сыпучего материала, позволили объяснить физику рабочих процессов вибромашин и дать обоснованные рекомендации по определению степени необходимого применения вибрации на заданную производительность.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны методики расчета бункерных вибропитателей, вибровыпускателей и активных вибродниц-стенок, дополнена методика расчета виброобрабатывающих машин. Расчет бункерных вибровыпускных устройств сведен к САПРу.

6. Предложены новые способы интенсификации процесса бункерного вибровыпуска - за счет использования усилий сдвига сыпучего материала по криволинейной грузонесущей поверхности, процесса виброобра-

ботки сыпучей загрузки за счет использования сосредоточенного виброударного воздействия.

7. Выявлены рациональные режимы работы бункерных вибропитателей: $\eta = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\beta = 15^\circ$, выпускателей: $\eta = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\beta = 8^\circ$ и виброобработывающих машин: $A = 5 \dots 9 \text{ мм}$, $\eta = 1000 \dots 1500 \text{ мин}^{-1}$. На основе выполненных исследований разработаны новые конструкции вибромашин:

открытых и герметичных бункерных вибропитателей, позволяющих дозированно выпускать из бункеров сыпучие материалы, в том числе горячие, с высоким содержанием пылевидной фракции, большой удельной производительностью и низкой удельной энергоемкостью. При виброприводе ВСМ-10 производительность достигала $60 \text{ м}^3/\text{ч}$;

бункерных вибровыпускателей, позволяющих управляемо выпускать из бункеров практически все виды насыщенных влагой сыпучих материалов. При виброприводе ИВ-104 производительность по выпуску шламов или песка с тающим льдом достигала $120 \text{ м}^3/\text{ч}$;

бункерных побудителей истечения: стержневых и в виде активных виброднищ-стенок, позволяющих полностью устранить зависания сыпучих материалов в бункерах;

виброобработывающих машин, позволивших резко повысить обогатимость металлизированных отходов промышленности и сократить затраты по металлургическому переделу. Содержание металла в конечном продукте - корольках - достигала 98%.

Результаты исследований реализованы на Усть-Камнягорском титано-магнелиевом и свинцово-цинковом, Ленигорском полиметаллическом, Алтайском горно-обогатительном комбинатах, Семипалатинском АО "Силикат", заводах "Электротинк" г. Владикавказ, Щербинском и Верх-Нейвинском заводах "Вторцветмет", Донецком высоковольтных опор, Пятигорском мусорожигательном, опытном "ВНИИцветмета", МСП "ВИМИС" г. Донецк, ЦКМП "Металлы и сплавы", экспериментальной базе ДонИИМ и используются в учебном процессе при чтении лекций, выполнении дипломных и курсовых проектов /УК СДИ, МИСИ, ВТИСМ, МВМИ, ДПИ/.

Разработанные вибрационные машины внедрены в количестве 115 единиц на 12 предприятиях. Удельная энергоемкость бункерных вибропитателей достигнута в $0,004 \text{ кВт}$ установленной мощности на $1 \text{ м}^3/\text{ч}^{-1}$, для вибровыпускателей в $0,006 \text{ кВт}$ $\text{м}^{-3}/\text{ч}$.

Полный экономический эффект от внедрения указанных разработок составил более 7.5 млн.рублей /в ценах 1989 г./ . Долевое участие автора составило 1,5 млн.рублей.

Приоритет в разработке и решении рассматриваемой в диссертации проблемы защищен 72 опубликованными работами и 29 авторскими свидетельствами на изобретения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ ТРУДОВ, ОТОБРАЖАЮЩИХ
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

1. Архипенко В.П., Лютюв В.Н. Раздел 2.3 Вибропогрузка и вибровыпуск горной массы. - С. 110...136 в книге Гончаревич И.Ф. Вибротехника в горном производстве. М.: Недра. - 1992. - 319 с.
2. Бельков Н.И., Архипенко В.П. Транспортирование и подача горячего материала. - М.: ЦНИИТЭИ. - 1961. - 41 с.
3. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Измайлов А.И. Методические указания по определению параметров вибрационных машин, применяемых на предприятиях стройиндустрии. // НКМ. - Алма-Ата. - 1985. - 44 с.
4. Ачукурин А.Г., Хон Н.В., Архипенко В.П., Алтынбеков Е.Т., Ицук Е.Н., Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Подъемно-транспортные машины" // РУМК. - Алма-Ата. - 1989. - 96 с.
5. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Гель В.И., Троицман Г.А. Опытные-промышленные испытания вибрационного конвейера-трассоохладителя на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате. // Цветная металлургия. - 1977. - № 1. - С. 59...61
6. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Шадрин Г.К. Вибрационные питатели для загрузки металлургических агрегатов. / Механизация и автоматизация производства. - 1977. - № 10. - С. 4...5.
7. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Шадрин Г.К. Совершенствование подачи сыпучих материалов с помощью вибропитателей. // Цветные металлы. - 1977. - № 12. - С. 13...14.
8. Бельков Н.И., Архипенко В.П., Гончаревич И.Ф., Бекасов А.И. Исследования закономерностей и особенностей вибрационного перемещения тонкоизмельченных сыпучих материалов. // Сб. науч. тр. - Усть-Каменогорск.: ВНИИцветмет. - Вып. 31. - 1978. - С. 61...62.
9. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Чепогузов В.И., Терехин В.В. Параметры взаимодействия вибротранспортируемого материала с грузонесущей поверхностью. // Сб. науч. тр. - Усть-Каменогорск.: ВНИИцветмет. - Вып. 31 -

10. Бельков Н.И., Сергеев В.Е., Архипенко В.П. Влияние коэффициента трения, угла вибрации и режима работы на скорость вибротранспортирования сыпучих материалов. // Сб. науч. тр. - Усть-Каменогорск.: ВНИИцветмет. - Вып. 31. - 1978. - С. 82...87
11. Архипенко В.П., Бельков Н.И., Кудрявцев Ю.И., Гель В.И. Разработка и применение герметичных устройств для загрузки металлургических агрегатов. // Сб. науч. тр. - Усть-Каменогорск.: ВНИИцветмет. - 1978. - Вып. 31. - С. 87...93
12. Бельков Н.И., Архипенко В.П. Состояние и перспективы применения виброперемещающих машин на заводах цветной металлургии. // Цветные металлы. - 1978. - №1. - С. 25...27
13. Бельков Н.И., Тропман А.Г., Архипенко В.П., Сидоров С.К., Ковалев Д.И., Петров А.А. Применение вибрационных конвейеров ВНИИцветмета на Братском лесопромышленном комплексе. // Механизация и автоматизация производства. - 1978. - №1. - С. 23...25
14. Бельков Н.И., Тропман А.Г., Архипенко В.П. Вибрационные конвейеры для перемещения тонкоизмельченных и горячих сыпучих грузов. // Вестник машиностроения. - 1978. - №1. - С. 50...51
15. Бельков Н.И., Архипенко В.П., Матвеев Н.С., Беляев М.А., Зарянов Л.П. Внедрение вибрационных конвейеров на Братском алюминиевом заводе. // Цветная металлургия. - 1978. - №II. - С. 45...47
16. Бельков Н.И., Архипенко В.П., Шотт А.А. Вибрационный конвейер для транспортирования горячей извести. // Бумажная промышленность. - 1980. - №9. - С. 19...20
17. Архипенко В.П., Гончаревич И.Ф., Шадрин Г.К. Автоматический питатель-дозатор непрерывного действия с электромагнитным приводом. // Сб. науч. тр. "Шахтный и карьерный транспорт". - Вып. 5 "Недра" - 1980. - С. 173...174
18. Бельков Н.И., Архипенко В.П., Шотт А.А., Сабетов Х.З., Чепогузов Б.И. Транспортирование горячего свинцового агломерата однотрубным виброконвейером. // Механизация и автоматизация производства. - 1981. - №10. - С. 9...11
19. Архипенко В.П., Дитов В.Н. Задачи интенсификации рабочих процессов современных вибропитателей. // Исследования процессов активных рабочих органов строительно-дорожных машин. - Караганда. - 1986. - С. 120...127
20. Архипенко В.П., Гончаревич И.Ф. Выпуск сыпучих материалов из бункеров через вибропитатель. // Сб. науч. тр. - Вибротехника. - №2 (55). - Вильнюс. - 1986. - С. 91...97
21. Архипенко В.П., Хон Н.В., Прокопьев В.В., Гуринов Е.М., Власов В.М. Вибропитатель с криволинейным днищем. // Механизация и автоматизация

производственных процессов.—1986.—№1.—С.23...26

22. Архипенко В.П. Бункерные вибропобудители со стержневыми вращающимися элементами. // Межвуз. сб. науч. тр. Теория и технология подъемно-транспортных машин.—Каз. ПТИ.—Алма-Ата.—1987.—С.98...105

23. Архипенко В.П. Новые бункерные выпускные устройства. // Промышленный транспорт.—1988.—№18.—С.14...15

24. Archipenko V.P., Golcharevich J.F. Discharge of granular materials from hoppers through a vibratory feeder. *Vibration Engineering*, 2, 1988, v. 475... 482

25. Архипенко В.П. Выпускные бункерные виброборонки с маятниковой опорой. // Строительные и дорожные машины.—№3.—1989.—С.10...11

26. Архипенко В.П. Бункерные вибропитатели. // Строительство и архитектура.—1989.—№2.—С.107...109

27. Архипенко В.П., Родин А.М., Кудинов В.А. Опыт применения отвальных золошлаковых смесей в качестве легкого заполнителя. // Комплексное использование минерального сырья.—1989.—№5.—С.71...74

28. Гончаревич И.З., Архипенко В.П., Хон Н.В. Вибропитатель для подачи титановой губки. // Вопросы динамики и прочности.—Рига.—Зинатне.—1989.—Вып. 51.—С.85...92

29. Архипенко В.П., Гель В.И. Получение королек металла из металлизированных отходов промышленности. // Сб. науч. тр. ин-та Титана.—Запорожье.—1990.—С.41...46

30. Литов В.Н., Михайлов А.С., Архипенко В.П. Проектирование лотка вибропитателя с элементами САПР. // Системы автоматизированного проектирования в машиностроении. / Алма-Ата.—1990.—С.51...57

31. Гель В.И., Архипенко В.П. Опыт производства и использования раскислителей в виде гадтованных королек алюминиевых сплавов. // Цветная металлургия.—1991.—№4.—С.21...23

32. Архипенко В.П. Конструктивные особенности виброобработывающих машин для металлизированных отходов. // Сб. науч. тр. ин-та Титана.—Запорожье.—1991.—С.76...83

33. Архипенко В.П. Вибровыпускное бункерное устройство для плохосыпучих материалов. // Цветные металлы.—1991.—№1.—С.84

34. Архипенко В.П., Ежак А.Э. Расчет виброэологических параметров выпучей загрузки металлизированных отходов. // Цветная металлургия.—№9.—1992.—С.44...45

35. Архипенко В.П. Метод определения параметров движения слоя материала в вибрационных машинах. // Цветная металлургия.—№9.—1992.—С.46...47

36. А.С. 533531 (СССР). Питатель для высокотемпературных сыпучих мате-

- риалов /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1976, №40
- 37.А.С.852744 (СССР). Устройство для выгрузки сыпучего материала из бункера. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1981, №29
- 38.А.С.854829 (СССР). Привод для вертикальной вибрационной машины. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1981, №30
- 39.А.С.906824 (СССР). Бункер для сыпучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1982, №7
- 40.А.С.965148 (СССР). Инерционный питатель для непрерывной подачи материалов во вращающийся барабан печи. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1982, №11
- 41.А.С.971740 (СССР). Грузонесущая поверхность вибротранспортного устройства. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1982, №41
- 42.А.С.979335 (СССР). Расходный бункер. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И. 1982, №45
- 43.А.С.981157 (СССР). Питатель для сыпучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И. 1982, №46
- 44.А.С.986722 (СССР). Вибропитатель для герметичной подачи плохосыпучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1983, №2
- 45.А.С.1034791 (СССР). Устройство для разделения по крупности сыпучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1983, №30
- 46.А.С.1054503 (СССР). Гидропривод. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1983, №42
- 47.А.С.1211184 (СССР). Бункерное устройство. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1986, №6
- 48.А.С.1250506 (СССР). Виброконвейер для транспортирования мелкодисперсного материала. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1986, №30
- 49.А.С.1293077 (СССР). Вибропобудитель истечения плохосыпучих материалов из бункера. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И. 1987, №8
- 50.А.С.1304910 (СССР). Спиральный грохот. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1987, №15
- 51.А.С.1359218 (СССР). Устройство для обрушения сводов сыпучего материала в бункере. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1987, №41
- 52.А.С.1382787 (СССР). Устройство для обрушения сводов сыпучего материала. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1988, №11
- 53.А.С.1414723 (СССР). Устройство для выгрузки сыпучего материала из бункера. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1988, №29
- 54.А.С.1440944 (СССР). Установка для уплотнения материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опубл. в Б.И., 1988, №44
- 55.А.С.1446049 (СССР). Вибрационное бункерное выпускное устройство для

- сыпучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опублик. в Б.И., 1988, №47
56. А.С.1497127 (СССР). Бункерное устройство. /Архипенко В.П. и др.—
Опублик. в Б.И., 1989, №28
57. А.С.1497139 (СССР). Вибрационный бункер. /Архипенко В.П. и др.—
Опублик. в Б.И., 1989, №28
58. А.С.1504170 (СССР). Вибропитатель для герметичной подачи плоскоо-
пучих материалов. /Архипенко В.П. и др.—Опублик. в Б.И., 1989, №32
59. А.С.1585237 (СССР). Вибрационный бункер. /Архипенко В.П. и др.—
Опублик. в Б.И., 1990, №30
60. А.С.1630991 (СССР). Вибрационный бункер. /Архипенко В.П. и др.—
Опублик. в Б.И., 1991, №8
61. А.С.1763015 (СССР). Рабочая камера для виброударной обработки.
/Архипенко В.П. и др.—Опублик. в Б.И., 1992, №35
62. А.С.1772187 (СССР). Установка непрерывного действия для извлечения
олова из скрапа. /Архипенко В.П. и др.—Опублик. в Б.И., 1992, №40
63. А.С.1779653 (СССР). Вибрационное бункерное устройство. /Архипен-
ко В.П. и др.—Опублик. в Б.И., 1992, №45
64. Полож. реш. по заявке 4833086 от 16.12.91. Бункер для дозированной
выдачи плоскооупучих материалов. /Архипенко В.П. и др.
65. Архипенко В.П. Теоретические и экспериментальные исследования
вибровыпуска сыпучих материалов из бункеров. //Всес.н.-и. и пр.
ин-т втор.цвет.мет.-г.Донецк, 1990.—17с. Деп. в ЦНИИцветмет эконо-
номики и информации.— №1960.— ЦД 90 Деп.
66. Архипенко В.П., Гель В.И. Вибрационная обработка металлизированных
отходов во вторичной цветной металлургии. //Всес.н.-и. и пр. ин-т
втор.цвет.мет.—Донецк, 1990.—11с.—Деп. в ЦНИИЦМЭ.—1961.—ЦД90.—Деп.
67. Архипенко В.П., Бельков Н.И. Виброуплотнитель сыпучих материалов
в контейнерах. //Химтехника-89.—Том II //Тез. докл. на Всес. конф.
Дрославль.—1989.—С.183
68. Архипенко В.П. Вибровыпускные бункерные устройства. //Химтехника-89.
Том II. Тез. докл. на Всес. конф.—Дрославль.—1989.—С.184...185
69. Архипенко В.П., Бельков Н.И. Вибровыпуск из бункеров влажных элек-
тных сыпучих материалов. //Ускорение научно-технического прогрес-
са в промышленности строительных материалов и строительной индуст-
рии. Ч.6. Тез. докл. на Всес. конф.—Белгород.—1989.—С.74
70. Архипенко В.П., Лотов В.Н., Бельков Н.И. Исследование и создание
вибрационных бункерных питателей для сыпучих материалов. //Фунда-
ментальные исследования и новые технологии в строительном матери-
аловедении. Ч.6. Тез. докл. на Всес. конф.—Белгород.—1989.—С.91

71. Бельков Н.И., Измайлов А.И., Архипенко В.П. Разработка и внедрение вибропитателя для подачи горячего оборотного материала. // Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении. Ч. 6. Тез. докл. на Всес. конф. - Белгород. - 1989. - С. 92
72. Архипенко В.П. Бункерные вибровыпускные устройства для плоскоструйных материалов. // Проблемы развития и совершенствования подъемно-транспортной, складской техники и технологии. Тез. докл. на II-ой Всес. конф. // М.: ВДНХ СССР. - 1990. - С. 132...133
73. Гель В.И., Архипенко В.П. Холодная обработка шлаков с помощью виброагрегатов-грохотов. // Втормет-90. Тез. докл. на II-ой национ. научно-техн. конф. с международным участием. 23-25 октября 1990. - Варна. - Болгария. - С. 34...35
74. Архипенко В.П., Гель В.И. Вибровыпускные бункерные устройства для стружки, лома и шлака. / Втормет-90. Тез. докл. на II-ой национ. научно-техн. конф. с международным участием, 23-25 октября 1990. - Варна. - Болгария. - С. 35...36
75. Архипенко В.П., Лютов В.Н., Бельков Н.И. Исследование, разработка и внедрение вибрационных выпускных устройств. // Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Ч. 3. Тез. докл. на Всес. конф. - Белгород. - 1991. - С. 77...78
76. Архипенко В.П. Использование принципа вибротранспортирования при объединении и описании циркуляционного движения в виброобработывающих машинах. / Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Тез. докл. на Всес. конф. Ч. 3. Белгород. - С. 123
77. Архипенко В.П. Виброударные контейнерные установки для обработки металлизированных отходов промышленности. / Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. / Тез. докл. на Всес. конф. - Ч. 3. - Белгород. - 1991. - С. 124
78. Архипенко В.П. Использование вибротехники при подготовке сырья и производстве металлов. // Тез. докл. на межд. научно-техн. конф. "Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов". - Днепрпетровск, 1994. - С. 34...35

Arhipenko V.P. Mechano-processing base for development of vibrational machines for hopper discharge and container processing.

Dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences according to speciality 05.05.06 - Coal Machines, Institute of Geotechnical Mechanics NAS, Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995.

70 scientific works and 29 certificates of authorship, comprising theoretical examination of hopper vibro-discharge and container vibro-process machines, are defended. For working heads with closed volume and curved load bearing surface the working processes should be considered in a single defined section. For vibrating feeder the working head with bottom transforming into back wall described by the equation $y=0.3\exp 0.1x$ and vibration angle $15...20^\circ$ is the most rational, for vibrodischarge device - the one with 3° vibration angle at outlet window. The machines and devices are introduced in industry, data of their efficiency in the working processes are given

Key words: free flowing material, load bearing surface, vibro-discharge, vibroprocessing, elastic-viscous model, reology.

Архіпенко В.П. Механіко-технологічні основи створення вібраційних машин для бункерного випуску та контейнерної обробки.

Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за фахом 05.05.06 - гірничі машини. Інститут геотехнічної механіки ДАН України, м.Дніпропетровськ, 1994 рік.

Захищено 70 наукових праць та 29 авторських свідоцтв, які містять теоретичні дослідження бункерних вібровипускових та контейнерних віброобробних машин, що мають криволінійну вантажонесійову поверхню. Встановлено, що на робочих органах із замкнутим обсягом та криволінійною вантажонесійовою поверхнею робочі процеси необхідно розглядати в одному, цілком визначеному перетині. Для віброживача раціонально, щоб робочий орган з днищем, яке повільно переходить у задню стінку за законом, що описується рівнянням $y = 0,3 \exp 0,1x$ при куті вібрації $15...20^\circ$, а для вібровипускача - з кутом вібрації біля випускного вікна - 3° .

Здійснено промислове впровадження машин та обладнання, приводять-ся дані про їх ефективність у процесі експлуатації.

Ключові слова: сипкий матеріал, вантажонесуча поверхня, вібро-випуск, віброобробка, пружно-в'язка модель, реологія.



АВ 33.787

АВ 33.787

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск В. Г. Перенелца

Підписано до друку 27.12.94. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умови друк. арк. 2,0. Умови фарб. відб. 2,0. Тираж 100. Замовлення N 793. Замовлене. Видавничо-поліграфічне орендне підприємство "Дніпро" ВПОП "Дніпро", 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Сєрова, 7.