

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А.Н. КОРЧЕВСКИЙ

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ
ВИБРАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ**

Монография

Донецк – 2015

УДК 622.7002.33

ББК 33.4

К 70

Рекомендовано к печати Ученым советом ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (протокол № 2 от 20 марта 2015 г.)

Рецензенты:

Олейник Т.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Обогащение полезных ископаемых» ГВУЗ «Криворожский технический университет» (г. Кривой Рог).

Полулях А.Д. - доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательской Приднепровской лаборатории ОП «УкрНИИУглеобогащение» ГП «НТЦ «Углеинновация» (г. Днепропетровск).

Корчевский А.Н.

Опыт применения процессов и аппаратов вибрационного пневматического обогащения сырьевых ресурсов. / Монография // Корчевский А.Н. – Донецк: « », 2015. – 233 с.

ISBN

Монография посвящена решению проблемы развития научных основ и методов исследования ряда процессов обогащения полезных ископаемых с целью совершенствования технологических схем и обоснования параметров, обеспечивающих повышение эффективности производства и качества выпускаемой продукции. Представлены математические модели процессов, обоснованы современные методы расчета параметров технологических схем и предложены направления модернизации технологии и оборудования обогатительного производства.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, а также для аспирантов и студентов старших курсов учебных заведений горного профиля, обучающихся по направлению «Переработка полезных ископаемых».

УДК 622.7002.33

ББК 33.4

К 70

ISBN

© А.Н. Корчевский, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ЧАСТЬ I. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ	7
Раздел 1. Исторические вехи развития вибрационных пневматических сепараторов	7
1.1. Сепаратор S - J (Steel Jig).....	8
1.2. Сепаратор Y (игрек).....	13
1.3. Сепаратор Peale-Davis.....	19
1.4. Сепаратор Arms'a.....	20
Раздел 2. Современное состояние развития вибрационных пневматических сепараторов и технологий для обогащения угля	23
2.1. Общая характеристика вибрационных пневматических сепараторов отечественного производства.....	23
2.2. Классификация рабочих поверхностей сит дек вибрационных пневматических сепараторов.....	33
2.3. Системы регенерации оборотных пылевоздушных потоков.....	37
2.4. Параметры регулировки и настройки работы вибрационных пневматических сепараторов.....	41
Раздел 3. Особенности процесса обогащения на вибрационных пневматических сепараторах	48
3.1. Принцип действия вибрационного пневматического сепаратора.....	48
3.2. Система выделения циркулирующего продукта.....	50
3.3. Влияние технологических параметров сырья на процесс разделения.....	54
Раздел 4. Исследование влияния различных параметров на процесс вибрационной пневматической сепарации	55
4.1. Описание промышленного модульного обогатительного комплекса на базе сепаратора СВП-5,5х1.....	56
4.2. Исследование влияния содержания мелких классов на показатели вибрационной пневматической сепарации.....	63
4.3. Сравнительные испытания вибрационных пневматических сепараторов разного типа.....	88
4.4. Выводы по разделу 4.....	92

ЧАСТЬ II. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА С ВОСХОДЯЩИМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЛОМА КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ.....	96
Раздел 1. Разделение многокомпонентного лома кабельной продукции.....	96
1.1. Анализ технологий обогащения лома из отходов, содержащих цветные металлы.....	98
1.2. Анализ конструкций машин для воздушной сепарации.....	109
Раздел 2. Экспериментальные исследования свойств частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции, предназначенного для сепарации.....	116
2.1. Исследование свойств многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции как объекта обогащения.....	117
2.2. Исследование условий разделения многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции гравитационными методами.....	124
2.2.1. Выбор методики расчета скорости движения частиц лома кабельно-проводниковой продукции в восходящем потоке воздуха...	124
2.2.2. Исследование скорости движения частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в свободных условиях.....	132
2.2.3. Определение скоростей витания частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в стесненных условиях....	142
2.3. Экспериментальное определение аэродинамических характеристик компонентов лома кабельно-проводниковой продукции.....	153
Раздел 3. Лабораторные исследования процессов воздушной сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции.....	166
3.1. Определение закономерностей движения материала по верхнему и нижнему ситам сепаратора.....	167
3.2. Результаты лабораторных экспериментов по разделению отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции.....	171
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	192
Приложение А.....	204
Приложение Б.....	217

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экономический потенциал государства на данном этапе развития неразрывно связано с деятельностью и развитием, как первичных, так и вторичных областей промышленности (угольной, химической, металлургической, строительной и др.).

Важнейшим этапом подготовки сырьевых ресурсов есть предварительное обогащение, с целью более рентабельного и эффективного дальнейшего его использования в стадиях передела.

Комплексная переработка первичных и вторичных сырьевых ресурсов включает ряд базовых процессов, таких, как гравитационная сепарация, магнитная и электрическая сепарации, флотация, обезвоживание и другие. Вместе с тем, традиционные классические современные технологии пока не обеспечивают должной эффективности и рентабельности, что приводит к повышенной себестоимости передела на одну тонну входящего сырья и соответственно выходящего товарного продукта.

В этой связи актуальной является задача усовершенствования технологических схем подготовки материалов и оптимизации параметров процессов.

Важнейшим этапом разработки технологических систем является производство лабораторных исследований на обогатимость сырья, проведение полупромышленных испытаний установок в действии с вновь разработанными высокоэффективными аппаратами, построение математической модели объекта или процесса. На базе лабораторных исследований формируются балансы продуктов обогащения, критерии качества и ограничения глубины обогащения, выбираются структура и параметры проекта системы, технические средства реализации.

В данной работе предпринята попытка произвести анализ работоспособности систем с «сухими» процессами на основе

вибрационных пневматических сепараторов с веерным разделением и перпендикулярными направлениями разделения продуктов.

Учитывая сходность представленного материала и вариативность содержания отдельных разделов, монография составлена из двух частей, связанных общей направленностью. Первая часть представлена материалами применения сепараторов для обогащения рядовых углей и вторичных углесодержащих отходов, вторая – проблемам подготовки концентрата из отходов кабельно-проводниковой продукции, и в определенной степени представляют собой самостоятельную составляющую в общем комплексе решения проблем совершенствования технологий обогащения полезных ископаемых на основе развития методов и средств исследования процессов и обоснования параметров производственного оборудования.

Автор монографии, не претендует на полноту охвата всех проблемных вопросов в современных технологиях обогащения полезных ископаемых. Надеется на то, что материалы данной работы найдут позитивные отклики как среди работников отраслевой науки, так и среди инженерно-технических работников обогатительных предприятий, а также среди преподавателей и сотрудников технических ВУЗов, магистрантов, аспирантов и студентов.

Автор выражает свою признательность и благодарность профессору, д.т.н. Назимко Е.И. за руководство в научно-практическом направлении, а также за рецензировании монографии и помощь в редактировании профессору, д.т.н. Олейник Т.А., и профессору, д.т.н. Полулях А.Д.

ЧАСТЬ I

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

Раздел 1 Исторические вехи развития вибрационных пневматических сепараторов

Применение сочетаний вибрационного и пневматического воздействий на материал, подвергающийся процессам улучшения качества – обогащению, впервые было применено в конце 19 века в Америке тремя лицами: Sutton, Steele и Steele.

Начальные шаги данный процесс начинал с продуктов сельскохозяйственного назначения, затем осуществилось применение при обогащении руд и лишь с 20-х годов 20-го столетия эти процессы нашли свое применение при обогащении углей. Первым названием машин вибрационно-пневматического действия работы было – пневматические столы [53].

Первая фабрика промышленного масштаба была построена на руднике Brilliant Mine of the St. Louis Rocky Mountain and Pacific Company в 1919 г.

К 1927 году в Америке и Канаде было построено 25 фабрик для обогащения курных углей, полуантрацитов и антрацитов, с общей производительностью до 400 тонн/час. В Англии к 1928 г. эксплуатировалось 33 вибропневмосепараторов. Общая установленная производительность всех столов – 865 тонн/час, что соответствовало 2 900 000 тонн/год, при условии работы по 12 часов в день.

В зависимости от конструктивных особенностей существовало несколько типов пневматических сепараторов: сепаратор S-J (Steel Jig), сепаратор Y (игрек) и сепаратор H-Y (полуигрек), сепаратор Peale-Davis, сепаратор Arms'a.

1.1 Сепаратор S - J (Steel Jig)

Поверхность сепаратора S - J (Steel Jig) , на которой происходит обогащение, состоит из тонкого проволочного сита с отверстиями, сообразно обогащаемому классу (рис. 1.1, 1.2). Вместо сита, для обогащения мелких сортов также применялся перфорированный цинковый лист и даже специальная ткань. В таблице 1.1 приведены типичные размеры отверстий поверхности деки (дюймы и миллиметры).

Таблица 1.1

Размеры отверстий рабочей поверхности деки

Размер обогащаемого угля	Размер отверстий в сите
1" (25 мм)	1/8" x 1/8" (3x3 мм)
1-1/4" (25-6 мм)	1/16" x 1/16" (1.5x1.5 мм)
1/4" (6 мм)	1/32" x 1/32" (0.8x0.8)

Сито поддерживается декой, состоящей из деревянных реек, высотой 2" – 2,5" (50–63 мм), расположенных параллельно движению стола, на расстоянии 1" (25 мм) одна от другой.

К этим рейкам прикреплены сверху сита нарифления, сделанные из изогнутого углом гальванизированного листа. Нарифления имеют со стороны приводного механизма высоту при 2" – 1 1/4" (50 – 32 мм) и постепенно скашиваются до 3/32" (2,5 мм), не доходя до борта стола, чтобы дать породе возможность беспрепятственно продвигаться вдоль борта к разгрузочному концу стола, как показано на рис. 1.1.

Под декой находится воздушная коробка, куда подводится гибким рукавом дутье от специального вентилятора, под давлением 2"–5" (50–125 мм) водяного столба. При помощи особых клапанов, управляемых снаружи, струя воздуха может быть направлена в любую часть деки и под любым углом к ней (рис. 1.3).

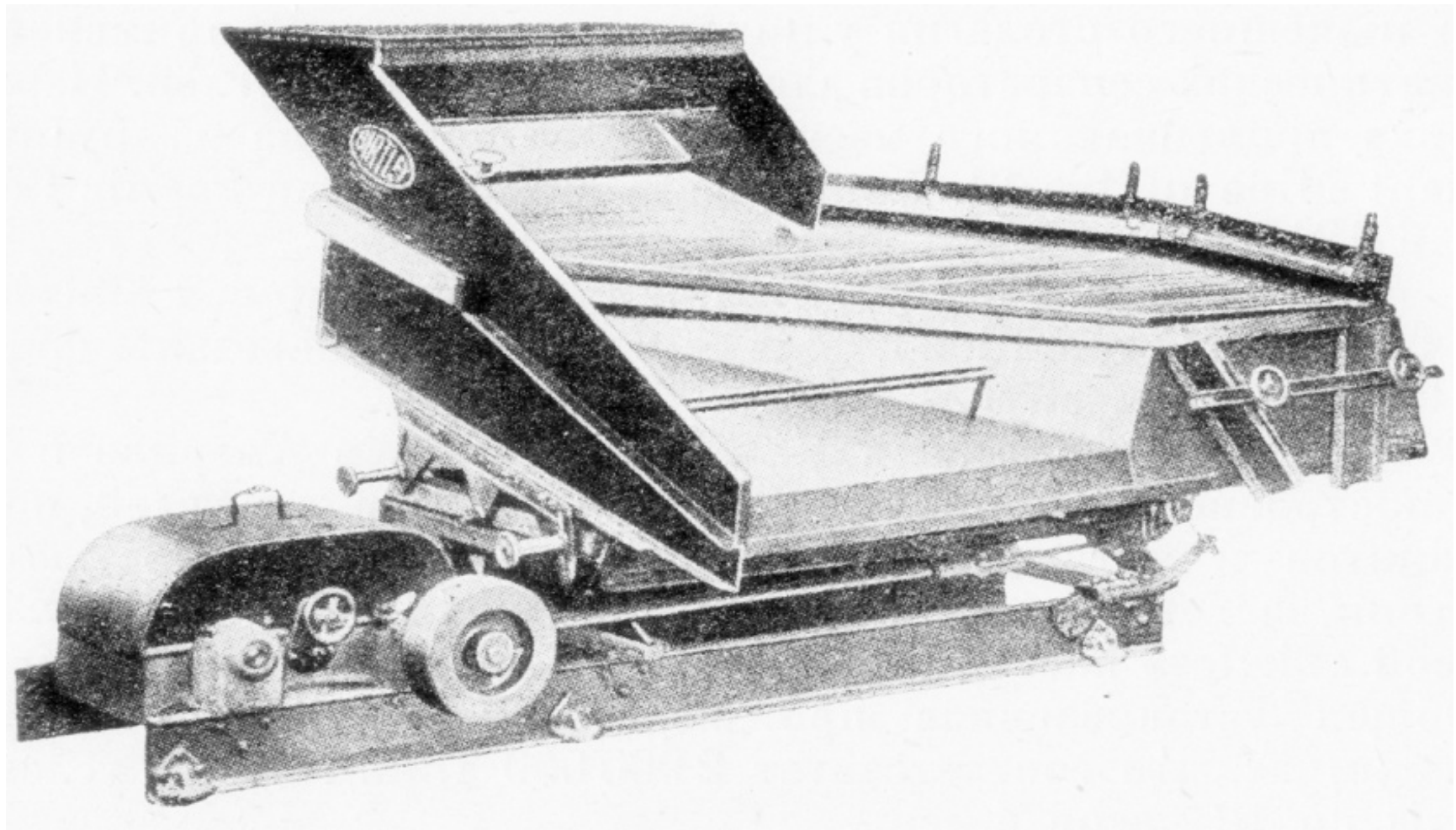


Рисунок 1.1. Сепаратор S - J (Steel Jig). Вид со стороны разгрузки продуктов обогащения

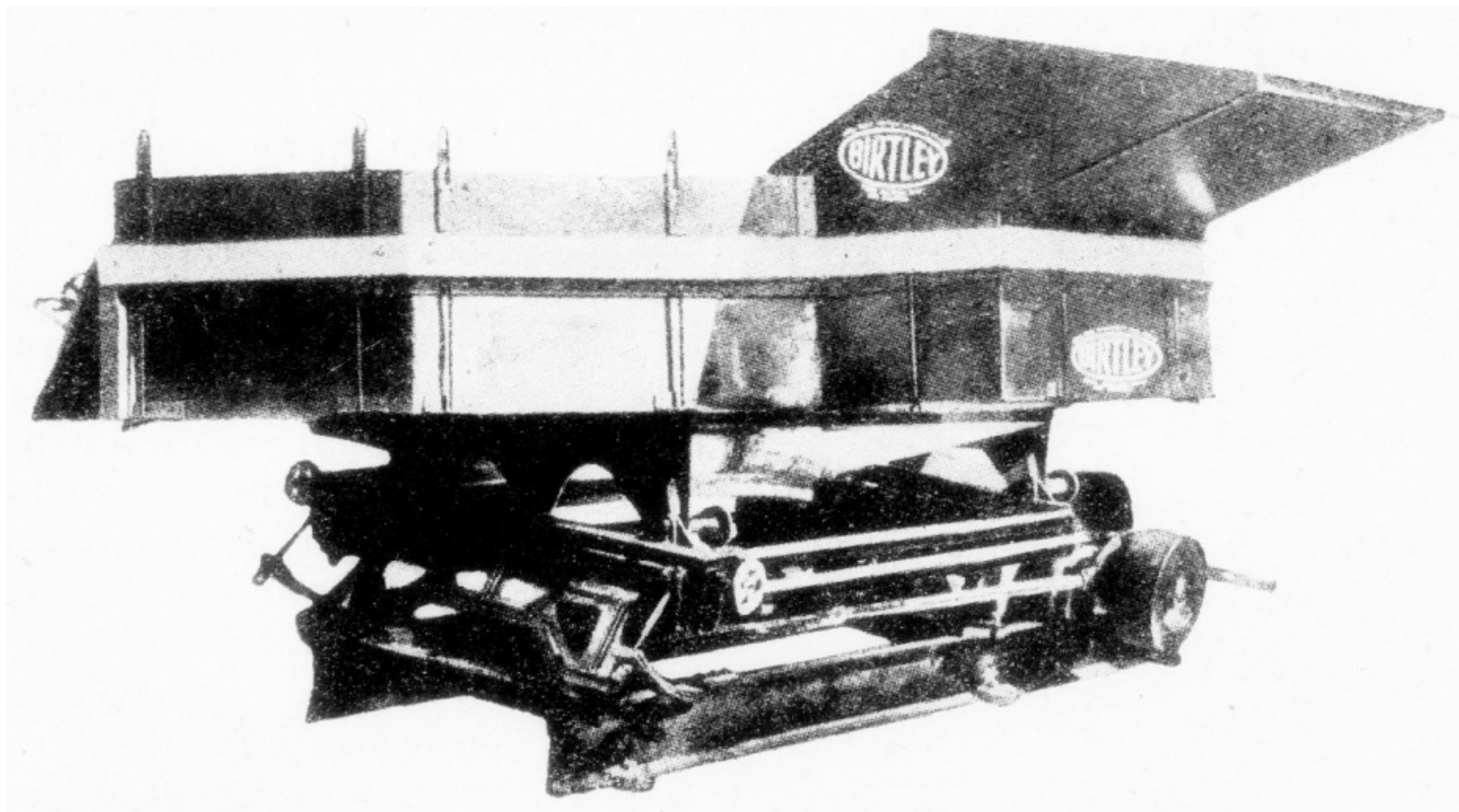


Рисунок. 1.2. Сепаратор S - J (Steel Jig). Вид со стороны загрузки рядового угля

Иногда нарифления выполняются каскадами в направлении, перпендикулярном к движению стола, с той целью, чтобы при «перелопачивании» чистого угля дать возможность случайно вынесенным вверх плоским кускам (по термину, распространенному в Донбассе, - «плоскушка») повернуться тонким краем и опуститься на деку сепаратора (рис. 1.4).

Стол монтирован на стальной раме при помощи двух неподвижных шарниров и четырех кинематических пар, состоящих из одного установочного болта и одной фрезерованной канавки каждая. Установочные болты укреплены на раме, канавки же сделаны в особых отростках самого стола. Цель конструкции – дать возможность установить стол под желаемым поперечным наклоном (в плоскости приводного механизма); канавки и установочные болты видны на рис. 1.1 и 1.2.

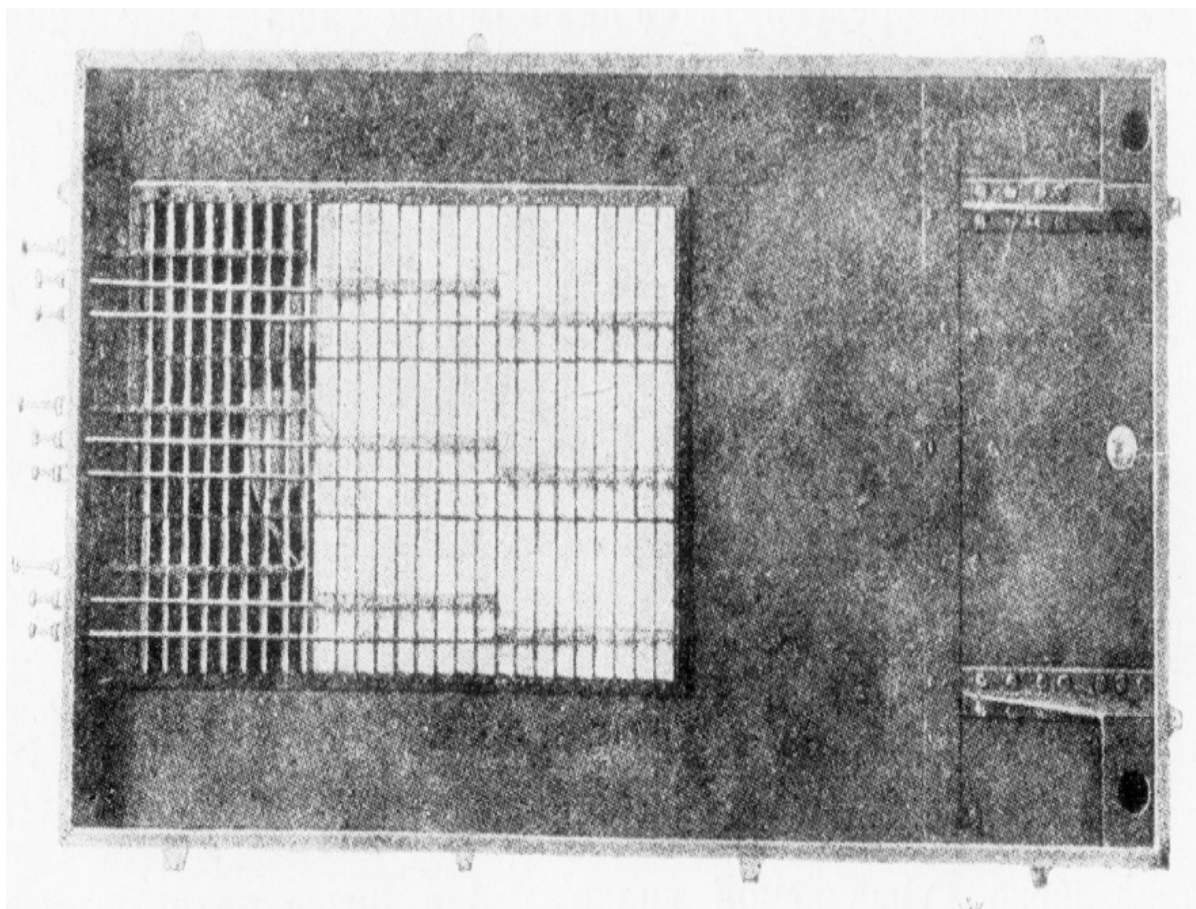


Рисунок 1.3. Сепаратор S - J (Steel Jig).

Устройство для направления потока воздуха под деку

Рама, на которой укреплен стол, в свою очередь опирается на две наклонные качающиеся плиты, получающие движение от эксцентрикового механизма.

Наклон плит выбран таким, чтобы при ходе эксцентрика в сторону механизма стол быстро опускался и этим способствовал передвижению угля вверх (от механизма). Кроме того, конструкция соединения рамы с качающимися плитами такова, что рама, а, следовательно, и стол, может изменять углы наклона от загрузочного конца к разгрузочному. При помощи четырех рессорных пружин и четырех тяг достигается надежное притягивание стола с качающимися плитами к станине. В более новых конструкциях рессорные пружины заменены круглыми спиральными. Стол получает возвратно-поступательное движение от эксцентрикового привода, имеющего эксцентриситет $3/8''-3/4''$ (10–20 мм), при 320 об/мин. Число оборотов вала легко регулируется при помощи пары длинных конических шкивов, по которым приводной ремень может передвигаться легко управляемой вилкой. Для более крупных углей берется больший ход эксцентрика при меньшем числе оборотов, и наоборот.

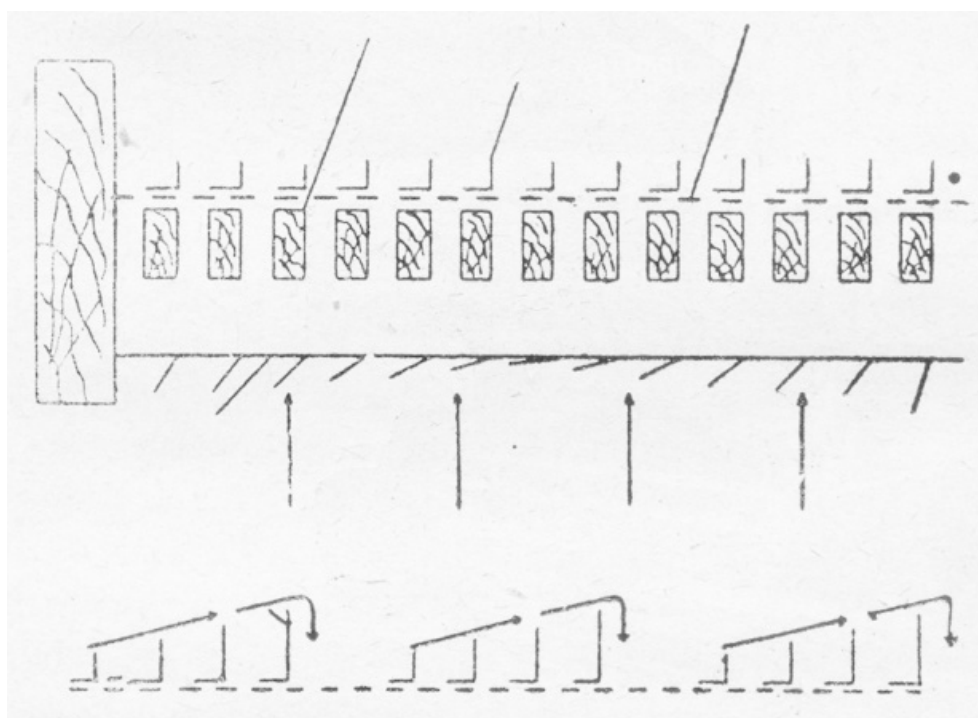


Рисунок 1.4. Схема поперечного разреза деки

Процесс обогащения происходит следующим образом: уголь поступает из под питателя в загрузочную воронку стола, откуда он равномерным слоем расходуется по всей поверхности деки. После предварительного расслоения необогащенного угля, под действием механизма стола и воздушной струи, на отдельные фракции, последние образуют на поверхности стола зоны с более или менее ясными границами. Устанавливая на периферии стола специальные перегородки, можно получить три продукта: обогащенный уголь, породу и промежуточный продукт. Перегородки ясно видны справа на рис. 1.1.

На сепараторе S–J обогащенный уголь получается ближе к загрузочной воронке. Промежуточный продукт, представляющий собой смесь угля и породы, получается по середине разгрузочного торца (на рис. 1 спереди); правее за промежуточным продуктом выходит и порода. По существу, порода могла бы выходить с правой стороны стола (рис. 1.1), противоположной приводному механизму; однако, для более тщательной очистки ее от угля, правая сторона стола ограждена бортом. При этом порода, под действием движущего механизма, все время прижата к борту, благодаря чему случайно увлеченные ею частицы чистого угля как бы выжимаются породой и скатываются в сторону, обращенную к приводному механизму.

1.2 Сепаратор Y (игрек)

На рис. 1.5 показан сепаратор Y. Этот тип пневматического сепаратора появился в результате дальнейшего усовершенствования сепаратора S – J.

Достоинством этого сепаратора является способность его обогащать угли не только при более широкой классификации их (3:1 или 4:1), но, главным образом, мелкие сорта ниже 1/8" (3 мм).

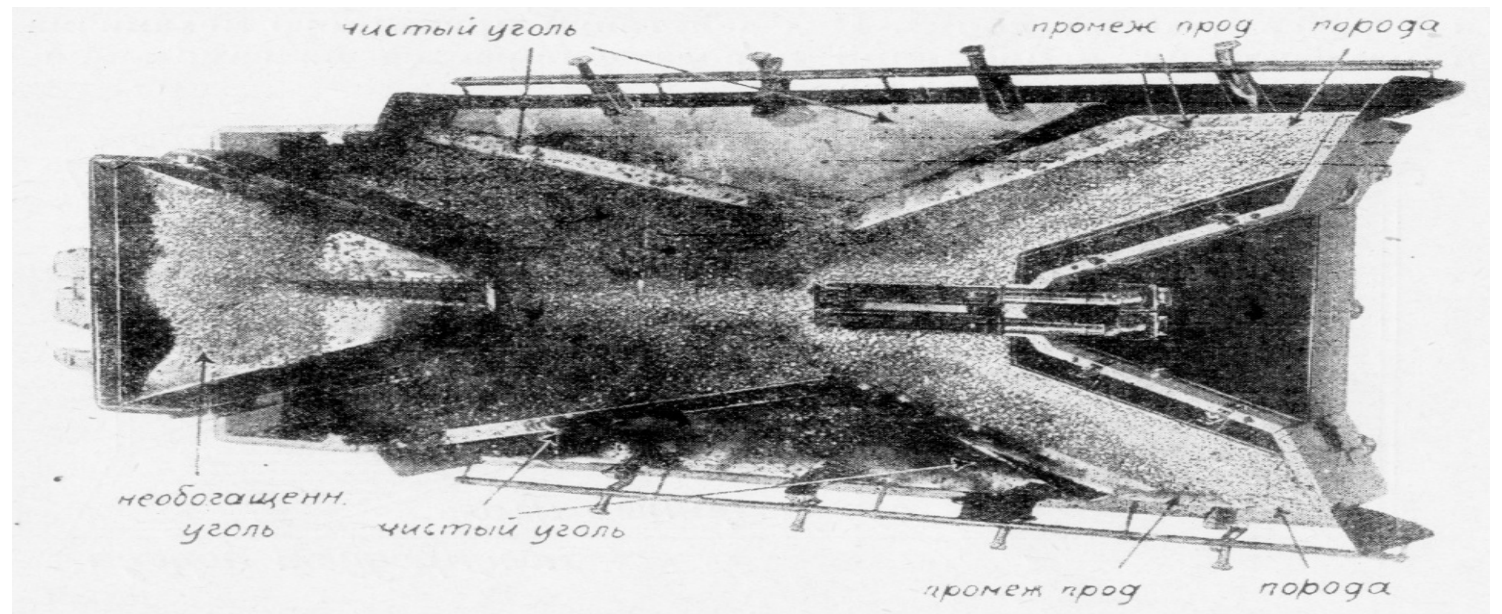
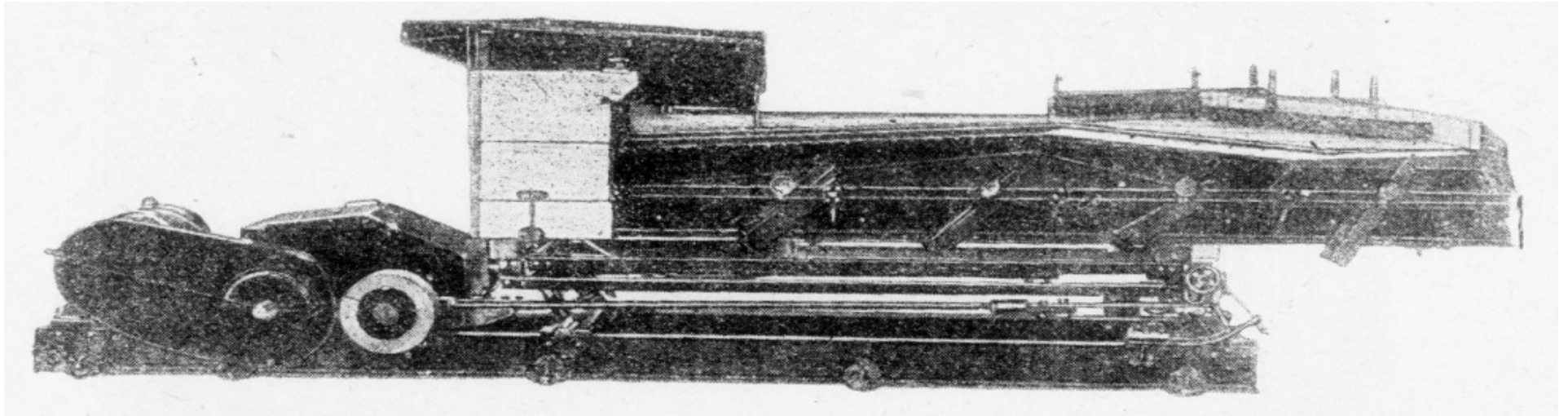


Рисунок 1.5. Сепаратор Y (игрек). Вид сбоку и вид сверху

Отличие сепаратора Y от S-J заключается в форме деки и нарифлений, дающих более совершенную стратификацию угля. Название свое описываемый тип сепаратора получил благодаря форме нарифлений, создающих рисунок из ряда игреков с общей осью.

Сырой уголь поступает в питательную воронку, имеющую посередине во всю длину щель. Через эту щель он равномерно распределяется по продольной оси деки, имеющей два боковых ската; одновременно гребень деки имеет подъем к середине стола. Дальше к разгрузочному концу дека слегка наклонена вниз, все же сохраняя боковые скаты. В головной части деки нарифления направлены от боков сепаратора к его продольной оси и к разгрузочному концу. Под действием приводного механизма и направления нарифлений порода собирается на самом центральном гребне сепаратора.

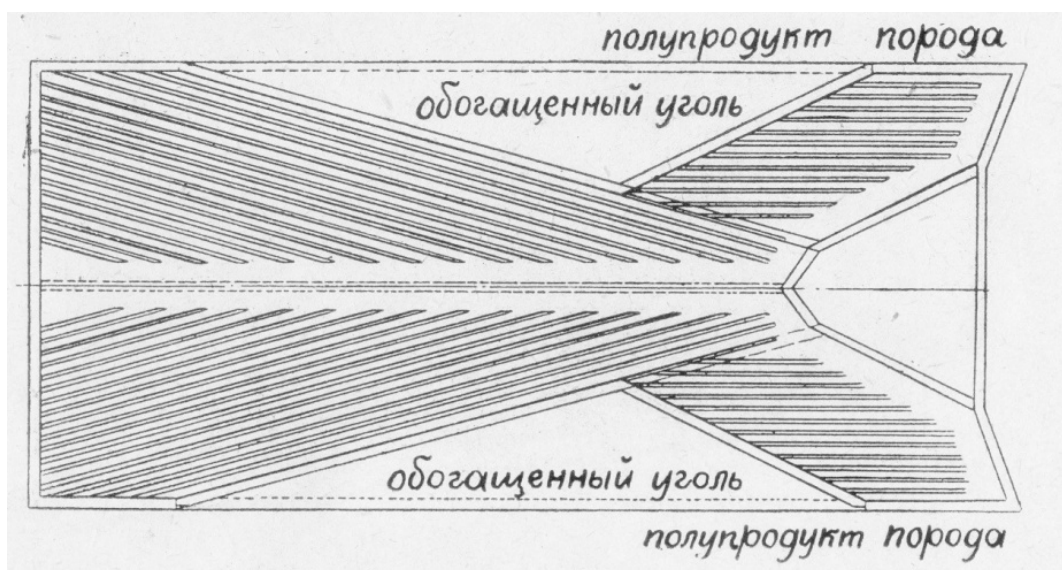


Рисунок 1.6. Схема распределения продуктов обогащения в плане деки

Так как живое сечение деки все время уменьшается к середине стола, то порода, при продвижении вперед, как бы «выжимает» случайно попавшие частицы угля. Последние, под действием воздушной струи, выносятся наверх постели и скатываются по бокам стола. Сначала отходит мелкий уголь, а затем и более крупный. В конце стола имеются два разгрузочных отростка деки, так называемые «ножки» (legs),

представляющие собой в миниатюре столы S–J. Они служат для дальнейшей очистки угля и для окончательного отделения чистой породы. Так как нарифления в этой части стола параллельны его оси, то, очевидно, что порода выносится ими к внутренним бортам. Получая от эксцентрикового привода (рис. 1.8) ряд толчков, порода передвигается вдоль этих бортов по наклону вбок, отжимая при этом случайные кусочки угля в сторону, обращенную к приводному механизму, как и в сепараторе S – J. Таким образом, в самом конце придатков деки получается чистая порода и промежуточный продукт, идущий снова в обогащение.

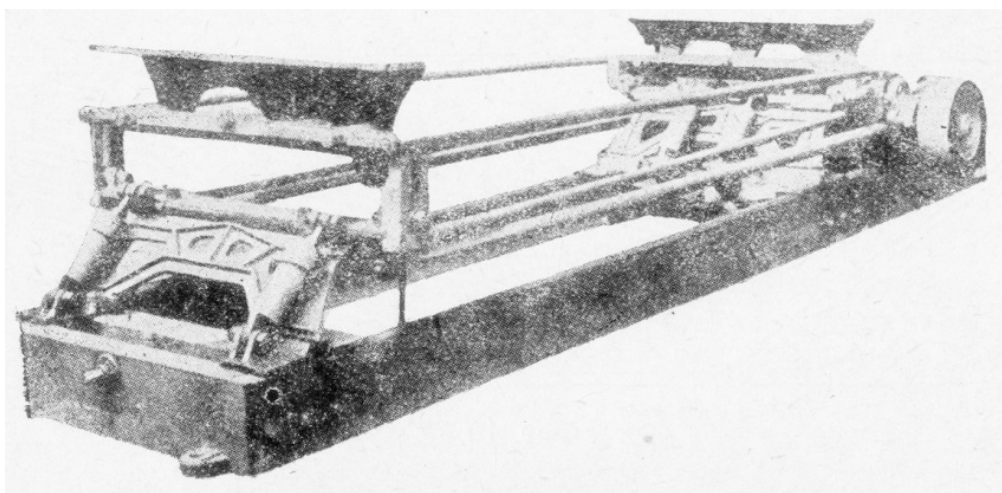


Рисунок 1.7. Опорная рама с приводом колебаний

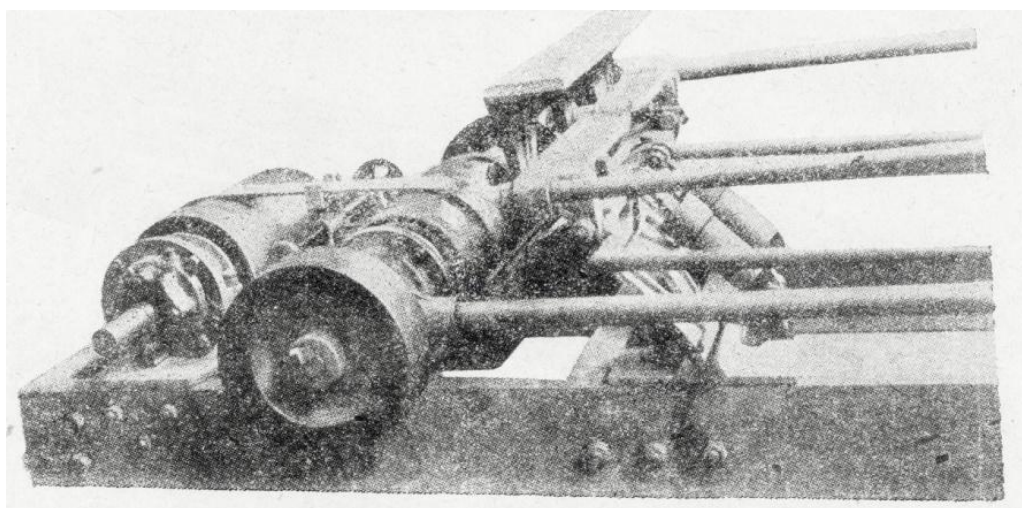


Рисунок 1.8. Привод (вибровозбудитель) деки

Для более полной очистки породы, в конце осевого гребня стола подводится через особые трубы воздух, чтобы больше разрыхлить накопившийся в этом месте уголь и облегчить породе возможность опуститься на деку стола (рис. 1.5).

Конструкция деки в остальном похожа на конструкцию сепаратора S – J, только, вместо сетки, ставят перфорированный цинковый лист. Нарифления для сепараторов, обогащающих уголь ниже 1/8" (3 мм), имеют высоту в 1/4" (6 мм) у оси стола и в 3/4" (20 мм) у краев. По мере приближения к середине стола все измерения постепенно уменьшаются до 3/32" (2.5 мм). Нарифления на отрезках стола имеют у середины стола высоту 3/4"–1/4" (20–6 мм) и постепенно скашиваются потокам до 3/32"–1/32" (2,5–0,8 мм).

Приводный механизм и станина показаны на рис. 7 и 8. В основном конструкция механизма подобна конструкции, применяемой в столах S – J, но несколько солиднее последней.

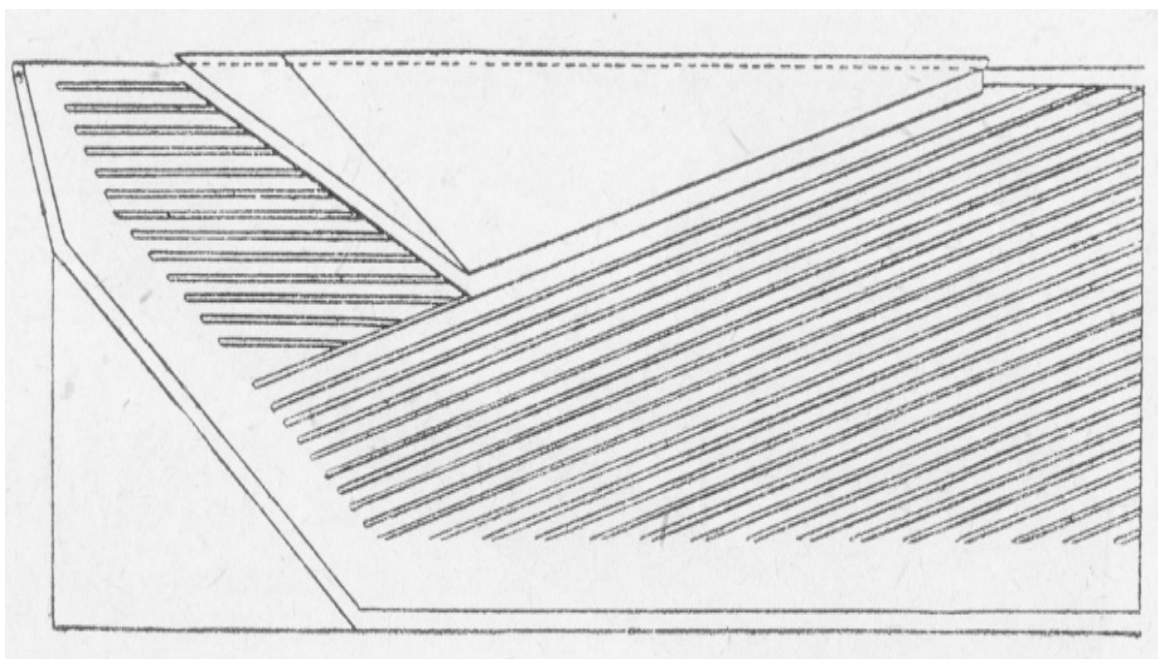


Рисунок 1.9. Система расположения рифлей на деке

Плоские рессорные пружины для прижимания качающейся рамы к станине заменены круглыми спиральными. Закрепление того или иного уклона стола производится более солидно, чем в системе S–J, хотя и в

ущерб легкости изменения уклона. Последнее обстоятельство не вносит ухудшения в эксплуатацию сепаратора, в виду того, что величина боковых и продольных наклонов деки вообще мало влияет на процесс обогащения.

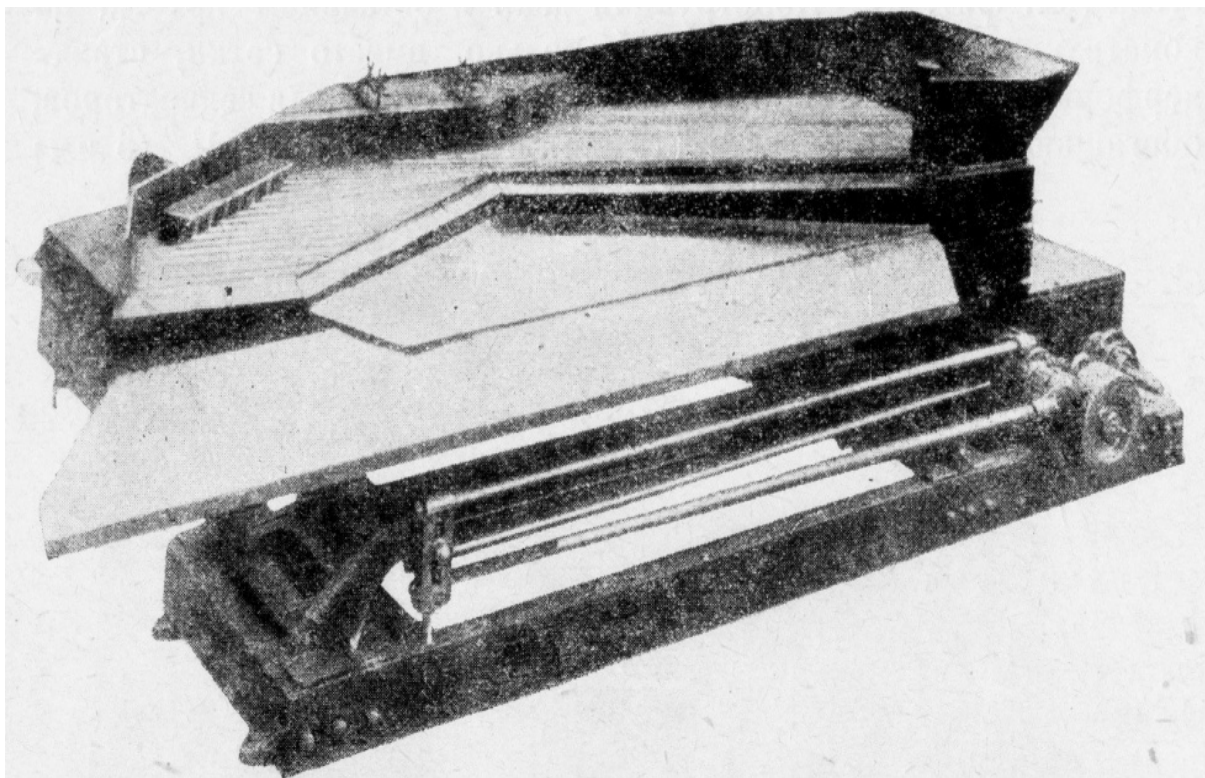


Рисунок 1.10. Положение деки в пространстве с учетом продольного и поперечного углов наклона.

Для более мелких фабрик, где выход в некоторых обогащаемых классах ниже производительности стола «игрек», применяется стол «полуигрек» (рис. 1.9, 1.10). Последний представляет собой тот же стол «игрек», но разделенный пополам. Понятно, что производительность стола «полуигрек» вдвое меньше.

Конструкция рамы и привода остается совершенно одинаковой, как для типа К, так и для типа полуигрек (Н–У).

Таким образом, переход от одного типа стола к другому осуществляется лишь заменой дек.

В последнее время выпущены столы типа У – А, замечательные тем, что на одной деке можно обрабатывать два класса. Это достигается разделением деки на две части, совершенно независимые одна от другой.

Введение таких столов уменьшает капитальные затраты по оборудованию и по зданию, а также и расход энергии.

1.3 Сепаратор Peale-Davis

Следующим приемным стал сепаратор Peale Davis (рис. 1.11). Впервые сепаратор был испытан в 1914 г. в Америке. После удачных испытаний было принято в эксплуатацию пять установок, оборудованных столами Peale-Davis. Этот сепаратор прежде всего замечателен тем, что он обогащает, судя по литературным данным, неклассифицированную смесь ниже 3" (75 мм). Другими ценными свойствами сепаратора являются следующие: широкие пределы производительности, от 25 до 250 тонн/час, и отсутствие отдельного обеспыливающего устройства. Указанные особенности описываемого сепаратора обратили на него серьезное внимание, так как, в случае положительных результатов его работы, за ним остается крупное преимущество перед всеми остальными системами, заключающееся в отпадении предварительной классификации. Принцип действия самого сепаратора по существу не изменился по сравнению с сепараторами S – J.

Изменениям подверглась лишь форма деки, главным образом – ее поперечный разрез и расположение нарифлений. В отличие от сепаратора Y, дека Peale-Davis имеет мультобразную форму.

В связи с этим нарифления направлены от оси стола наружу как показано на рис. 1.11.

Нарифления имеют наибольшую высоту по середине стола и наименьшую по краям. Подвод воздуха распределяется таким образом, чтобы сильнее продувать головную, т.-е. самую глубокую часть постели. Порода, попадая между нарифлениями, выносится ими на боковые стороны и передается на два породных транспортера, идущих параллельно столу с обеих сторон его. Чистый уголь выходит посередине стола и

попадает на угольный транспортер, расположенный симметрично по отношению к столу. Расход воздуха составляет, примерно, около 1000 м³ на 1 тонну угля, прошедшего через сепаратор.

1.4 Сепаратор Arms'a

Этот сепаратор точно так же является модификацией сепараторов S–J. Строится он в Америке фирмой Roberts and Schaefer, а в Англии – фирмой Hugh Wood & Co.

Основную часть сепаратора и здесь составляет дека с нарифлениями (рис. 1.12). Последние постепенно уменьшаются от 1" (25 мм) со стороны механизма до 1/4" (6 мм) у места выхода породы. Раньше нарифления делались параллельно плоскости движения стола, в новейших же конструкциях они направлены слегка вверх, что значительно улучшило работу сепаратора. Стол имеет некоторый подъем со стороны привода в сторону разгрузки породы; в то же время загрузочная воронка расположена на самом высоком пункте деки.

Под действием приводного механизма и воздуха происходит обычная стратификация постели угля, при этом чистый уголь скатывается вниз и сходит в нижнем правом углу стола, порода же доходит до борта, перерезающего стол сверху вниз и справа налево.

Спускаясь вдоль борта, порода выходит в нижнем левом углу стола. Дека стола может изменять угол наклона в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В Америке к 1930 году работало 15 установок, оборудованных столами Армса, с общей производительностью в 1870 тонн/час.

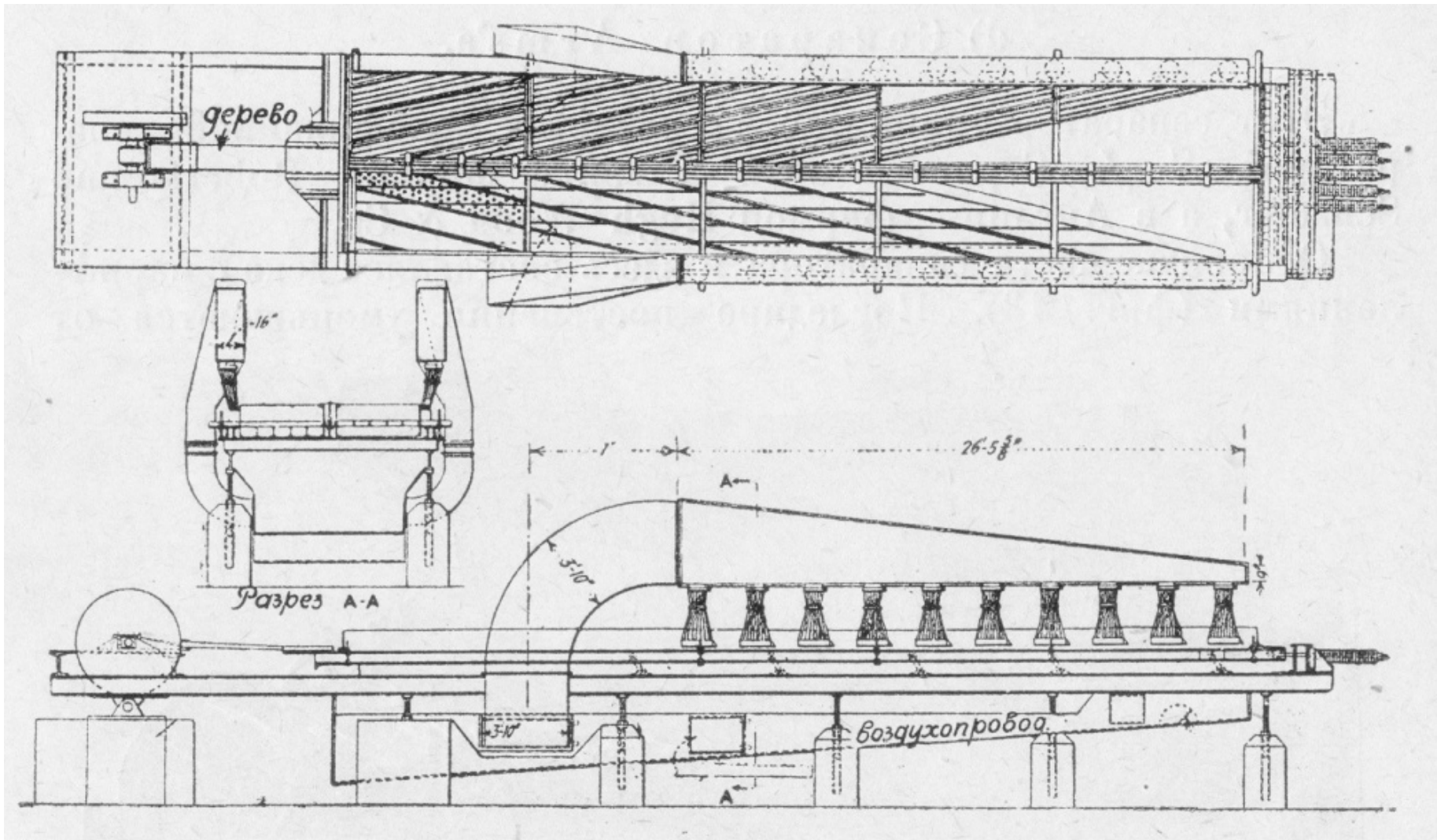


Рисунок 1.11. Сепаратор Peale-Davis.

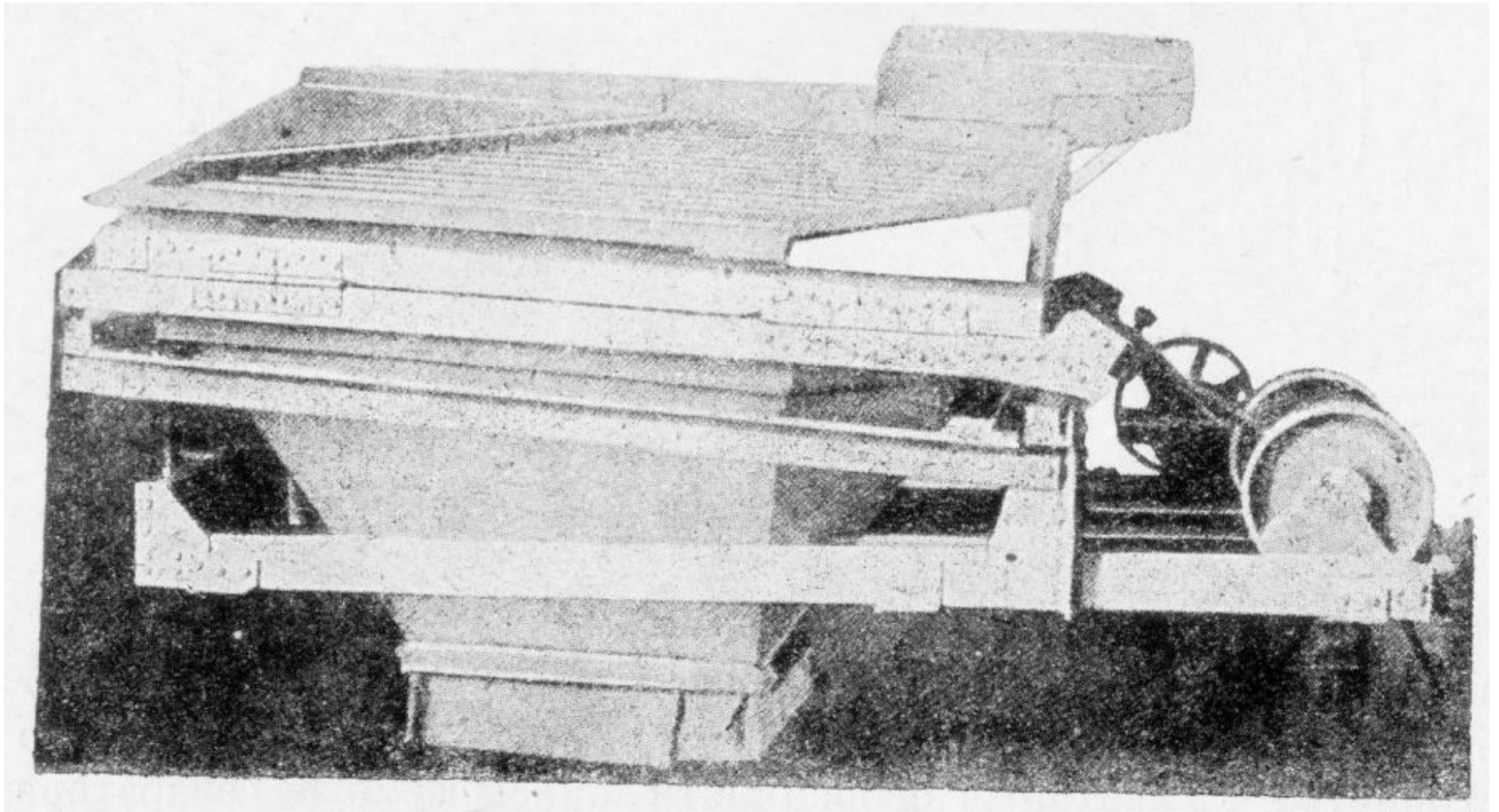


Рисунок 1.12. Сепаратор Arms'a

Раздел 2 Современное состояние развития вибрационных пневматических сепараторов и технологий для обогащения угля

Пневматические сепараторы предназначены и в основном используются для обогащения углей крупных классов (от 6-25 до 50-100 мм). Чтобы применять их для обогащения углей мелких классов, требуется реконструкция некоторых узлов машин (рабочей поверхности, системы нарифления дек, приемных воронок, пульсаторов), а также соответствующее изменение воздушной системы, обеспечивающей ее работу с пониженными расходами воздуха.

2.1 Общая характеристика вибрационных пневматических сепараторов отечественного производства

Общий вид пневматического сепаратора СП-12 показан на рис. 1.13. Техническая характеристика пневматических сепараторов СП-12, СП-6, ОСП-100, СПБ-100М, СПБ-100, СПК-40А, СПК-40 и УШ-3 приведена в табл. 1.2 [51, 53]. Все эти сепараторы (табл. 1.2) относятся к поперечнопоточным с продольным и поперечным наклонами рабочей поверхности к горизонту. Продольное продвижение материала вверх по декам в сепараторах осуществляется за счет их качаний.

Пневматический сепаратор СП-12 (рис. 1.13) имеет одну односкатную деку, состоящую из короба и рамы. Короб по длине разделен на четыре поля с самостоятельным подводом воздуха через воздухопроводящие прорезиненные рукава к диффузорам. В качестве рабочей поверхности полей используются резиновые или металлические сита. Под рабочей поверхностью внутри диффузоров имеются три перегородки, разделяющие воздухоподводящий канал по ширине на четыре отсека. В каждом отсеке в горловине диффузора имеются

дроссельные заслонки с рукоятками, регулирующие распределение воздуха по ширине деки.

Под дроссельными заслонками расположены пульсаторы.

Над ситами полей установлены рамки с рифлями для создания направленного движения нижнего слоя расслаивающейся постели обогащаемого материала.

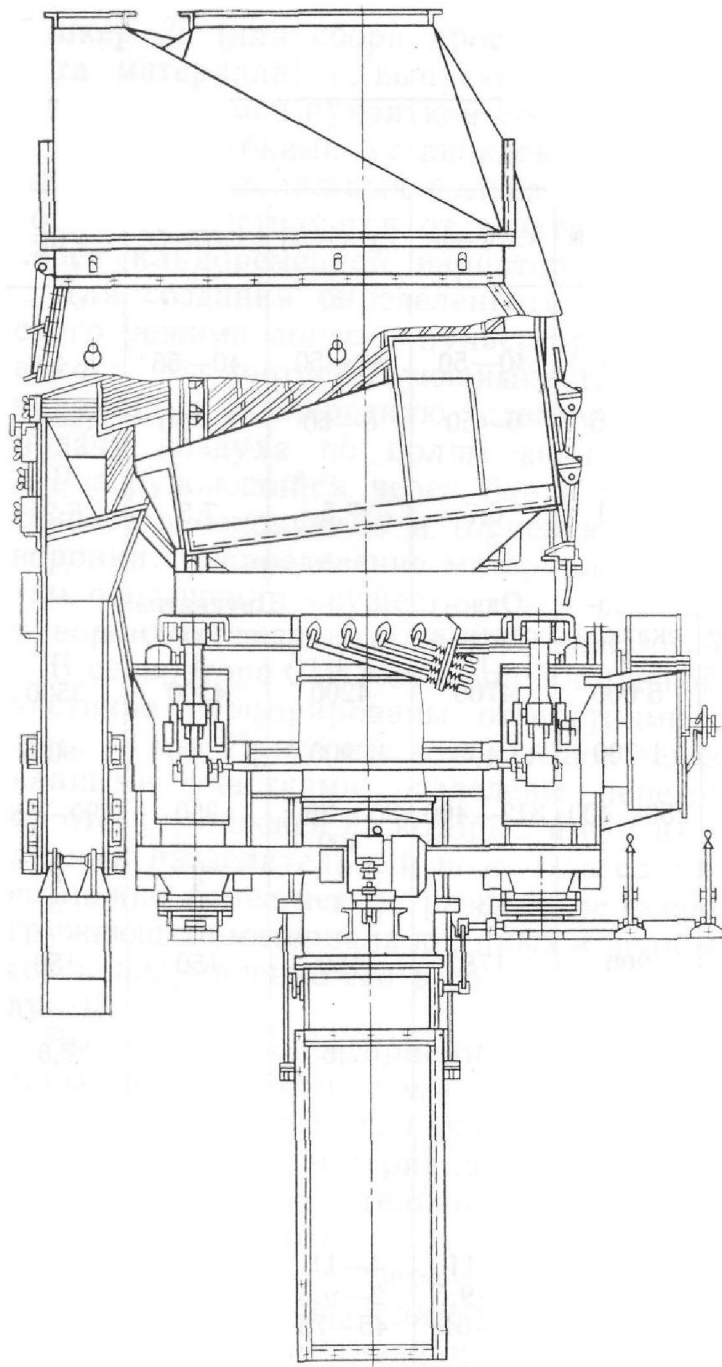


Рис. 1.13. Пневматический сепаратор СП-12

В задней части короба имеется питающий лоток для поступающего исходного угля. На верхней боковой стороне короба установлен отбойный рифль, на нижней и верхней торцевой – выдвижные (боковой и торцевой) борта, с помощью которых регулируется высота постели на рабочей поверхности.

Короб нижней боковой стороной посредством шарниров крепится к раме. Поперечный наклон короба регулируется винтовыми механизмами, а закрепление короба в заданном положении производится стопорными механизмами.

Рама деки с помощью задней и передней опор опирается на поворотную раму сепаратора.

Угол подбрасывания материала на рабочей поверхности регулируется изменением углов наклона опор деки к горизонту путем перемещения с помощью винтов нижних опорных кареток в направляющих, закрепленных на поворотной раме.

Качание деки осуществляется посредством эксцентрикошатунного механизма, установленного на поворотной раме. Концы двух шатунов шарнирно закреплены в кронштейнах короба. Силы инерции качающихся масс короба уравниваются с помощью двух валов с противовесами.

Привод эксцентрикошатунного механизма осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. Частота качаний деки регулируется механическим вариатором.

Поворотная рама задним концом опирается на шарниры опорных кронштейнов, а передним – на два винтовых подъемных механизма 8, которыми регулируется ее наклон к горизонту. Для фиксации заданного положения подъемные механизмы снабжены стопорными гайками.

Воздух под сепаратор от технологического вентилятора подается через воздуховод, разделенный в верхней части на четыре патрубка, в которых установлены дроссельные заслонки для регулирования распределения воздуха по полям. Снизу воздуховод имеет бункер (для

сбора просыпающегося через сита материала) с выпускным клапаном, открываемым рукояткой со стопором.

Над патрубками установлены четыре индивидуальных лопастных пульсатора, привод которых осуществляется от электродвигателя через клиноременной вариатор.

Для создания определенного аэродинамического режима лопасти пульсаторов устанавливаются под соответствующими углами.

Углы наклона обеспечивают поочередную (сдвинутую по фазе) подачу воздуха по полям деки.

Разгружающийся через борта материал поступает в боковую и торцевую приемные воронки. Распределение материала по продуктам обогащения осуществляется помещенными в воронках разделительными ножами.

В сепараторе СП-12 боковой и торцевой борта частично перфорированы отверстиями диаметром 13 мм. Приемные воронки под перфорированными участками разделены перегородкой на отсеки, каждый из которых имеет индивидуальный разделительный нож. Благодаря этому возможно более четкое разделение вееров разгружающего материала крупных и мелких классов и направление его в соответствующие продукты.

Выдвижные части приемных воронок закреплены на поворотных рамах, чтобы при изменении продольного угла наклона дек во избежание просыпания материала положение приемных воронок относительно разгрузочных бортов не изменялось.

Дека сепаратора сверху закрыта зонтом, через который производится отсос запыленного воздуха. Для герметизации щели между зонтом и декой применяются брезентовые шторки.

Сепараторы СП-6, СПК-40А и ОСП-100 также имеют одну плоскость обогащения на одной односкатной деке.

Таблица 1.2

Техническая характеристика сепараторов

Показатели	Тип сепаратора								
	СП-12	СП-6	ОСП-100	СПБ-100М	СПБ-100	СПК-40А	СПК-40М	СПК-40	УШ-3
Производительность, т/ч	100	40–50	100	До 150	100	40–50	40–50	40–55	40
Крупность обогащаемого материала, мм	6–75	6–50	6–75	6–75	6–75	6–50	6–50	6–50	6–50
Площадь рабочей поверхности, м ²	12,0	6,7	12,0	17,0	17,0	6,7	7,5	7,5	6,24
Дека: тип	Одно- скатная	Одно- скатная	Одно- скатная	Одно- скатная	Одно- скатная	Одно- скатная	Двускатная крышеобразная		
Число, шт.	1	1	1	2	2	1	1	1	1
рабочая длина, мм	6000	4700	6000	5 000	5 000	4700	4200	4200	3500
рабочая ширина (полудеки), мм	2000	1400	2000	1 700	1 700	1 400	900	900	900
частота качаний, кач/мин	310–400	310–400	200–450	250-400	250–400	312–400	300-400	350	290–480
Число полудек	–	–	–	–	–	–	2	2	2
Число полей в каждой деке (полудеке)	4	3	4	4	4	3	3	3	3

Окончание табл. 1.2

Расстояние между рифлями, мм	230	178	230	200	200	178	150	150	150
Угол наклона дековых рифлей к продольной оси сепаратора, градус	10,5	7	9	10	10	7	7,5	7,5	7,5
Угол наклона деки (полудеки) к горизонту, градус: продольный	4–11	4–11	4–11	4–10	4–10	4–11	4–11	4–11	4–11
поперечный	4–11	3–10	2–12	4–10	4–10	3–9,5	2–9,5	2–9,5	2–9,5
Угол наклона опор деки к горизонту, градус	38-75 *	40-70 *	34-61	45-75	45-75	34-61	45-75	45-75	45-75
Эксцентриситет приводного вала, мм	10	6	10	10	8, 10, 12	6	6	6	6
Частота пульсаций воздуха, пульс/мин	-	83–130	-	62-144	125–200	83–130	100–130	98-192	-
Мощность электродвигателей, кВт	20	10,5	23,6	31,7	27,3	10,8	11	13	10,5
Габариты, мм: длина	8150	6410	7950	16 000	16 000	6410	6300	6300	5070
ширина	3590	2985	3950	5250	8515	2985	3020	3020	3040
высота	7403	5500	9860	8300	7060	5080	4920	4860	2480
Масса, т	14,6	8,1	16,1	32,4	29,9	7,8	8,4	6,6	5,8

У сепараторов СПК-40М, СПК-40 и УШ-3 на одной деке находятся две плоскости обогащения (крышеобразно расположенные полудеки). У сепараторов СПБ-100М и СПБ-100 две кинематически связанные односкатные деки. При таком варианте уравниваются горизонтальные составляющие сил инерции, передаваемых на приводной вал от качающихся дек.

На сепараторах с двумя плоскостями обогащения (деками или полудеками) поступающий исходный уголь и режимы работы обеих плоскостей в значительной степени отличаются друг от друга, поэтому различны их производительности и качество получаемых на них продуктов. Существенно различаются также плотность обогащения и точность разделения, что снижает эффективность обогащения в целом по машине и не позволяет оптимизировать процессы на обеих плоскостях. Следовательно, перспективны лишь пневматические сепараторы с одной односкатной декой.

Сепараторы СПК-40, СПК-40М, СПК-40А и СП-6 вместо четвертых полей в конце третьих имеют шарнирно-соединенные с ними породоперемывочные площадки с самостоятельно регулируемым продольным наклоном их к горизонтали.

В сепараторах ОСП-100, СПБ-100М и СПБ-100 поворотные рамы спереди опираются на опорные стойки, внутри которых установлены винтовые механизмы для регулирования продольного наклона деки. В сепараторе ОСП-100 эти механизмы имеют электропривод.

В сепараторах СПК-40М, СПК-40 и УШ-3 поворотные рамы отсутствуют, рамы деки в них через ножевые опоры опираются сзади на раму сепаратора, а спереди – на опорные стойки с винтовыми механизмами.

Качание дек во всех сепараторах осуществляется с помощью эксцентрикошатунных механизмов. В однодечных сепараторах СП-6, ОСП-100 и СПК-40А привод также расположен на поворотной раме.

Уравновешивание сил инерции качающихся масс в сепараторе СП-6 происходит так же, как в сепараторе СП-12, – посредством двух валов с противовесами, а в сепараторе ОСП-100 – специальным приводом с противовесами, закрепленными на встречно вращающихся эксцентриковых валах. В сепараторах СПБ-100М и СПБ-100 эксцентриковый вал расположен между поворотными рамами. В этих машинах уравновешивание горизонтальных составляющих сил инерции качающихся дек достигается за счет разворота эксцентриков. Для уравновешивания вертикальных составляющих служат специальные компенсаторы с встречно вращающимися противовесами. В сепараторах УШ-3, СПК-40 и СПК-40М привод расположен сзади, рядом с рамой машины. Для частичной разгрузки приводного вала деки этих сепараторов опираются на пружинные и рессорные амортизаторы.

Частота качаний дек в сепараторах СП-6, СПК-40А, СПК-40М и УШ-3 регулируется с помощью механических вариаторов, в сепараторе СПК-40 – сменой шкивов, в остальных машинах – изменением сопротивления в цепи фазного ротора электродвигателя привода.

Загрузка дек исходным материалом во всех сепараторах осуществляется через питающие лотки, расположенные в задних частях коробов дек. В сепараторах СПБ-100М и СПБ-100 исходный материал в лотки подается через расположенные в центральной части питатели. Сепаратор СПБ-100 имеет двусторонний питатель с вибрирующими наклонными днищами.

Изменение производительности в этом питателе осуществляется вертикально перемещающимися шиберами, положение которых регулируется вручную с помощью реечного механизма и червячного привода. В сепараторе СПБ-100М используется двусторонний качающийся питатель с двумя секторными затворами.

Для регулирования положения затворов применяется электропривод. В остальных машинах питание дек исходным материалом осуществляется

из качающихся и вибрационных питателей, не входящих в конструкцию машины.

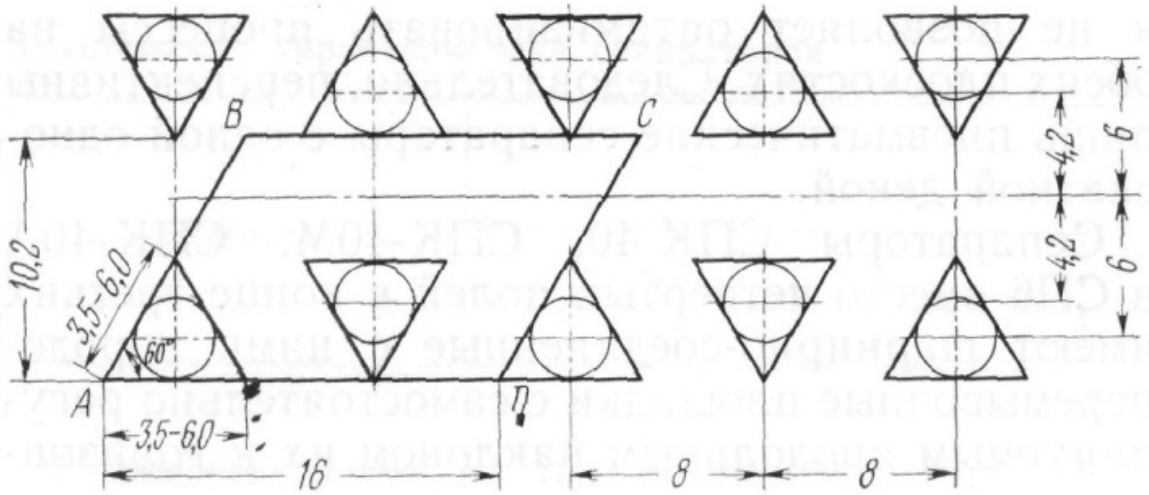


Рис. 1.14. Уплотненное расположение отверстий в рашпильных ситах

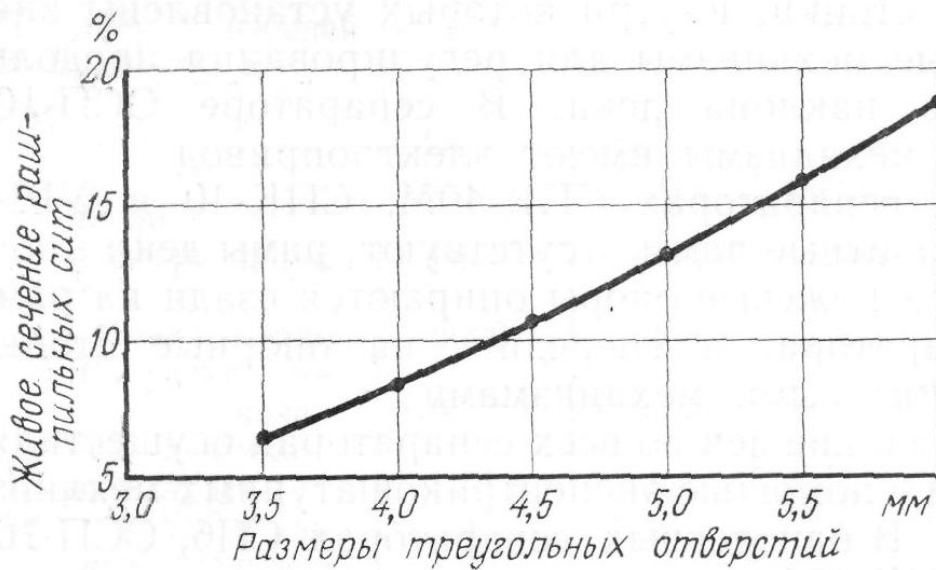


Рис. 1.15. Зависимость живого сечения рашпильных сит от размеров пробиваемых отверстий при уплотненном их расположении

Воздух под сепараторы подается от технологических вентиляторов через воздухопроводы, разделяющиеся на патрубки по числу дек, полудек и

полей в машине. Для регулирования подачи воздуха и его распределения по полям и участкам полей в сепараторах используются дроссели. В сепараторах СП-6, ОСП-100, СПК-40А, СПБ-100, СПБ-100М и УШ-3, как и в сепараторе СП-12, под каждым полем в подводящем воздуховоде установлены дроссельные заслонки. В СП-6, ОСП-100 и СПК-40А поля деки разделены в поперечном направлении на четыре отсека с самостоятельной регулировкой подачи воздуха дросселями, расположенными в диффузорах полей. В сепараторах СПК-40 и СПК-40М регулировка распределения воздуха дроссельными заслонками производится в каждом межрифельном отсеке.

Воздух от неподвижных патрубков воздуховода к движущимся диффузорам подается по прорезиненным рукавам.

Для осуществления пульсирующей подачи воздуха во всех сепараторах (кроме УШ-3, работающего с непрерывной подачей воздуха) имеются пульсаторы.

В сепараторах СПК-40А, ОСП-100, СП-6 и СПБ-100М предусмотрены индивидуальные пульсаторы под полями с самостоятельными приводами, аналогичные пульсаторам СП-12. В сепараторах СПК-40А, ОСП-100 и СП-6 частота пульсаций изменяется с помощью клиноременных вариаторов. В сепараторе СПБ-100М пульсаторы каждой деки имеют отдельные приводы, а частота пульсаций регулируется сменными звездочками цепных передач.

В машинах СПК-40, СПК-40М и СПБ-100 на общих воздуховодах установлены пульсаторы, у которых лопасти для поочередной подачи воздуха под каждую деку или полудеку развернуты на 90°. Привод пульсатора сепаратора СПК-40 осуществляется от специального электродвигателя, а привод пульсаторов сепараторов СПК-40М и СПБ-100 – от приводных валов сепараторов. Однако на обогатительных фабриках для этих машин устанавливались индивидуальные электроприводы пульсаторов.

2.2 Классификация рабочих поверхностей сит дек вибрационных пневматических сепараторов

Для рабочей поверхности вибрационных пневматических сепараторов используют металлические рашпильные и гофрированные, а также резиновые ступенчатые сита [35, 51, 53].

В зависимости от компоновки воздушной системы сепаратора, типа рабочей поверхности и, в первую очередь, живого сечения на преодоление ее сопротивления расходуется обычно 15–20% энергии воздуха, получаемой им в технологическом вентиляторе. В отдельных случаях при небольшом живом сечении, например рашпильных сит, затраты энергии воздуха на преодоление их сопротивления составляют 40–60%.

Из различных конструкций рашпильных сит сепараторов лучшие технологические и эксплуатационные показатели работы были достигнуты на ситах с уплотненным расположением отверстий (рис. 1.16). Зависимость живого сечения рашпильных сит от размеров пробиваемых (при разной осадке пуансонов) отверстий при уплотненном их расположении. Такая схема расположения отверстий по сравнению с обычной шахматной позволяет увеличить живое сечение сит в 1,3–1,4 раза без снижения их прочности. Это обеспечивает уменьшение затрат энергии на прохождение воздуха через рабочую поверхность и повышение его расхода.

Рабочая поверхность из рашпильных сит характеризуется коэффициентом сопротивления сдвигу материала $f_{р.п.}$, не зависящим от направления движения.

При работе сепаратора заусенцы рашпильных сит стираются сравнительно быстро, поэтому режим движения материала по такой рабочей поверхности нестабильный. Для новых рашпильных сит коэффициент сопротивления сдвигу породы и угля относительно сита при скольжении составляет около 0,85, а при трогании с места: для аргиллита

доходит до 2,2, для угля – до 1,4. Коэффициент сопротивления сдвигу угля и породы относительно рашпиль-ного сита со стертыми заусенцами при скольжении составляет 0,3–0,4, при трогании с места – 0,4–0,5.

Существенными недостатками рашпильных сит являются низкие износостойкость и прочность. Обычно рашпильные сита штампуются из низкоуглеродистой листовой стали толщиной 1–1,5 мм. При этом срок службы по условиям износа заусенцев составляет около 300 ч. Затем в связи со значительным снижением $f_{р.п.}$ они должны быть заменены.

Гофрированные сита (рис. 1.16) обладают большей износостойкостью и прочностью. Их конструкция позволяет использовать листовую сталь толщиной 2–3 мм, а волнообразный профиль стабилизирует процесс обогащения, так как $f_{р.п.}$ при эксплуатации практически не изменяется. При ступенчатой рабочей поверхности из этих сит величина $f_{р.п.}$ зависит от направления: против уступов $f_{р.п.}$ повышается. Живое сечение гофрированных сит увеличивается за счет гофрирования листа. Их общее живое сечение может быть доведено до 40–47%, что позволяет значительно снижать сопротивление рабочей поверхности и за счет этого повышать расходы воздуха по сепаратору. Срок службы гофрированных сит при толщине листа 3 мм может быть доведен до 2 лет. Недостаток гофрированных сит – сравнительно слабое сцепление материала с рабочей поверхностью вследствие закругления уступов и низкого коэффициента трения материала по стали. По этой причине они не обеспечивают эффективного продвижения породного слоя постели материала вперед к разгрузочному торцу деки машины. Кроме того, при большой толщине листа (2,5–3,0 мм) гофрирование искажает форму отверстий, отчего снижается живое сечение сит.

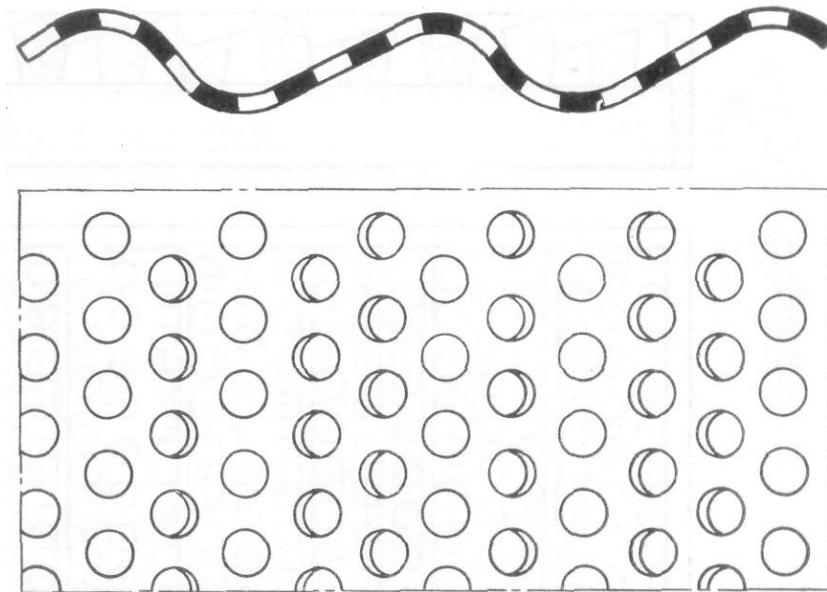


Рис. 1.16. Металлическое гофрированное сито для пневматических сепараторов

Резиновые сита со ступенчатой рабочей поверхностью обладают высокой износостойкостью и хорошим сцеплением уступов с материалом, благодаря незначительному износу уступов обеспечивают стабильность процесса обогащения. Срок службы резиновых сит составляет 2–3 года.

Таблица 1.3

Техническая характеристика резиновых сит сепараторов

Живое сечение,	32,2	34,4
Размеры, мм:		
длина	490	393
ширина	326	323
высота	48	46
площадь, дм ²	15,97	12,69
число отверстий	774	1229
Уступы:		
число	12	13
высота, мм	11	10
шаг, мм	39,6	29
Размеры эллиптических отверстий на рабочей поверхности, мм:		
минимальные	8,40x8,80	6x6,6
максимальные	9,60x10,0	7x7,5

На рис. 1.17 показана карта резинового сита изготовления ЗАО «Ана-Темс» г. Днепропетровск.

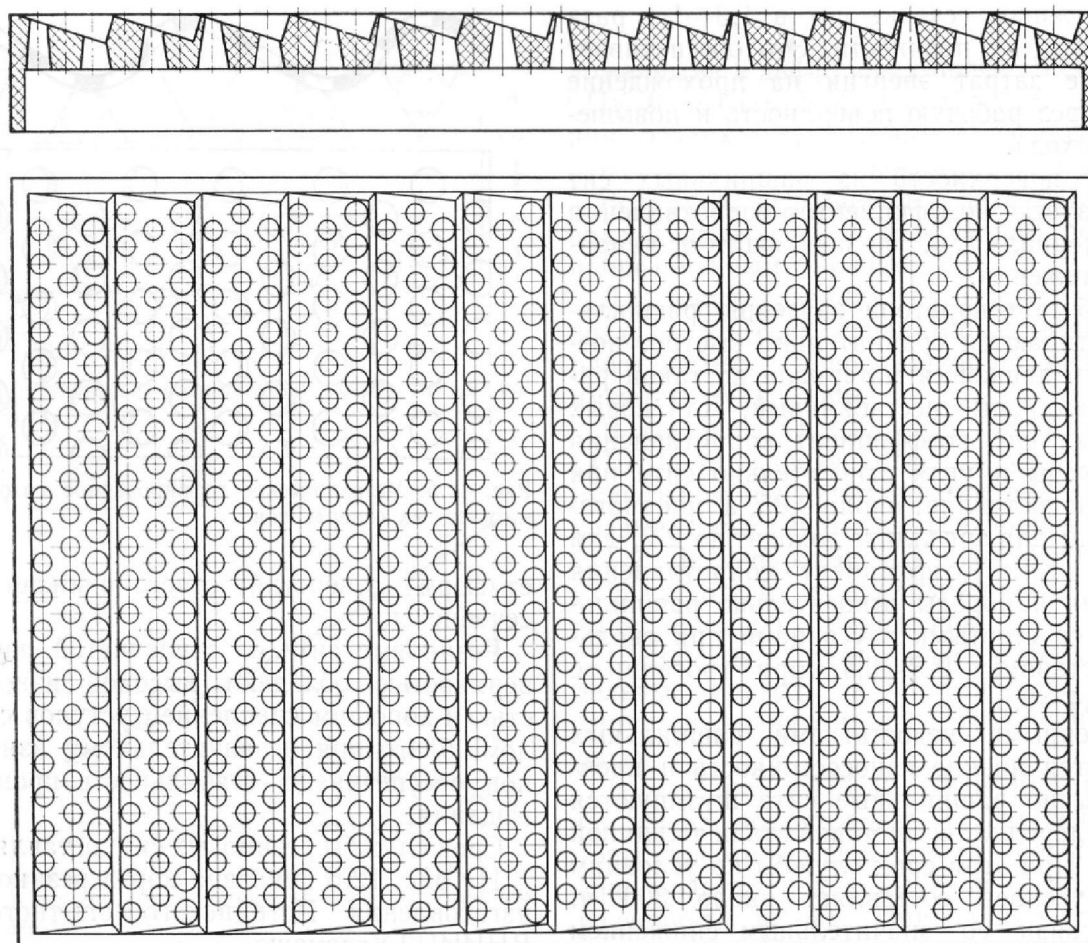


Рис.1.17. Карта резинового сита для сепараторов СП-12 (ОСП-100)

Резиновые сита изготавливаются из протекторной износостойкой резиномеси марки 4РМ562 или резины ИРШ-520 [35, 51].

Карты типоразмера 1 устанавливаются в сепараторах СП-12 и ОСП-100, типоразмера 2 – в СПБ-100М и СПБ-100. На деках других типов сепараторов (например, СП-6) рабочая поверхность набирается из карт обоих типоразмеров.

Рабочая поверхность склеивается из отдельных карт в поля. Расположение карт резинового сита на деках сепараторов СШ-2 (ОСП-100) и СПБ-100М (СПБ-100) показано на рис. 1.18 и 1.19, а крепление сит сепараторов СПБ-100М и ОСП-100 – на рис. 1.18 и 1.19.

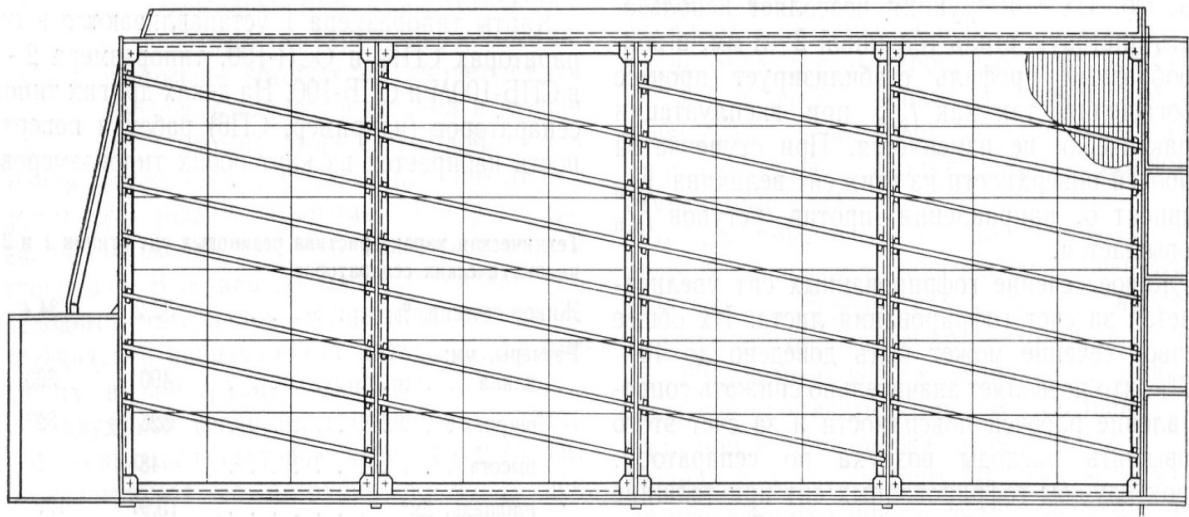


Рис. 1.18. Расположение сит на деке сепаратора ОСП-100 (СП-12)

Для крепления резиновых сит на поле в каждую карту снизу вставляется металлическая рамка, которая опирается на ввариваемый подрамник. Сверху поле с резиновыми ситами прижимается рамкой с рифлями.

2.3 Системы регенерации оборотных пылевоздушных потоков

Для пневматических сепараторов используются замкнутые воздушные системы с очисткой циркулирующего воздуха в циклонах или батарейных пылеуловителях.

При обогащении сухих углей с малым содержанием глины в пыли обычно используются батарейные пылеуловители (БПР-50А, БПР-75А, БПР-100А), а влажных углей с высоким содержанием глины – циклоны.

Для снижения выброса пыли в помещения воздушные схемы предусматривают дополнительный (15–20%) отсос воздуха из-под зонтов сепараторов и выброс его после очистки от пыли в атмосферу. Отсос дополнительного воздуха из зонтов сепараторов обычно производится через специальные карманы.

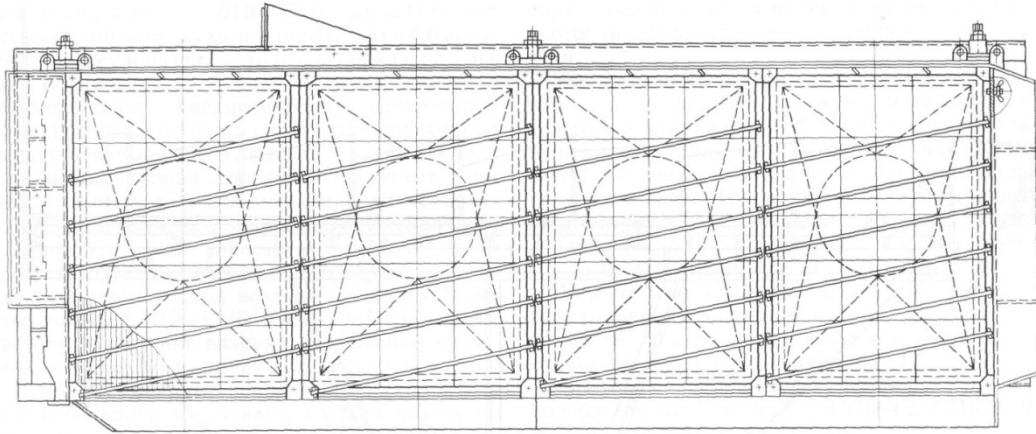


Рис. 1.19. Расположение резиновых сит на деке сепаратора

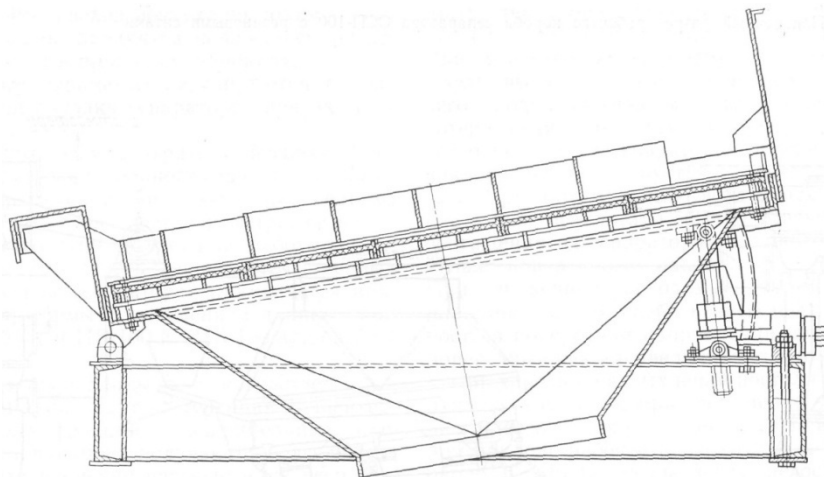


Рис. 1.20. Поперечный разрез рабочего короба сепараторов СПБ-100М и СПБ-100 с резиновыми ситами

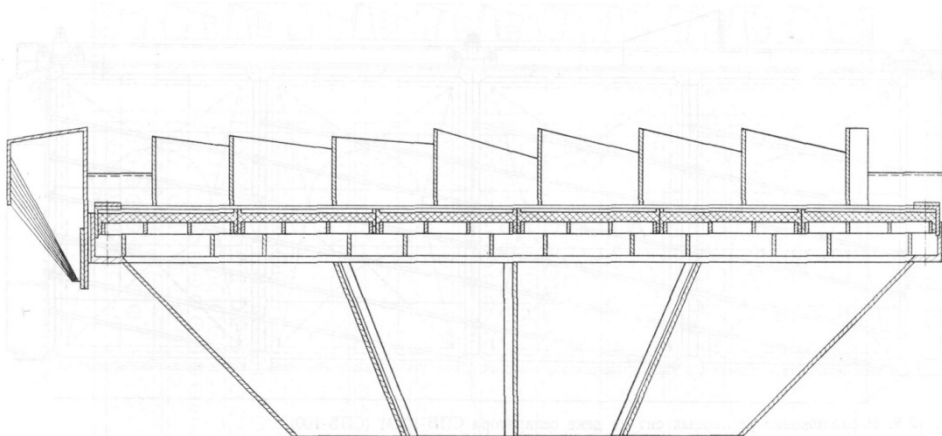


Рис. 1.21. Поперечный разрез рабочего короба сепаратора ОСП-100 с резиновыми ситами

Выбрасываемый в атмосферу воздух очищается от пыли в одну или две стадии. Сухую очистку воздуха от пыли в одну стадию осуществляют в батарейных пылеуловителях, а мокрую – в циклонах с орошением стенок водой. При очистке воздуха от пыли в две стадии в первой стадии применяют циклоны или батарейные пылеуловители, во второй – агрегаты мокрого пылеулавливания ПМ35А, циклоны-промыватели типа СИОТ и другие мокрые пылеуловители.

Схема воздушной системы сепаратора СП-6 с очисткой циркулирующего воздуха в батарейном пылеуловителе БПР-75 и дополнительно отсасываемого воздуха в одну стадию в батарейном пылеуловителе БПР-15 показана на рис. 1.22.

Конструкции пневматических сепараторов позволяют регулировать следующие параметры: высоту боковых бортов; высоту торцевых бортов или углов наклона породоперемывочных площадок; высоту дековых рифлей; углы продольного и поперечного наклона дек (полудек) к горизонту; углы наклона к горизонту опор дек у загрузки и разгрузочного торца; частоту качаний деки; расход воздуха по полям и зо-нам полей (СП-12, СП6, ОСП-100, СПК-40А); частоту пульсаций воздуха; положение разделяющих ножей в приемных воронках.

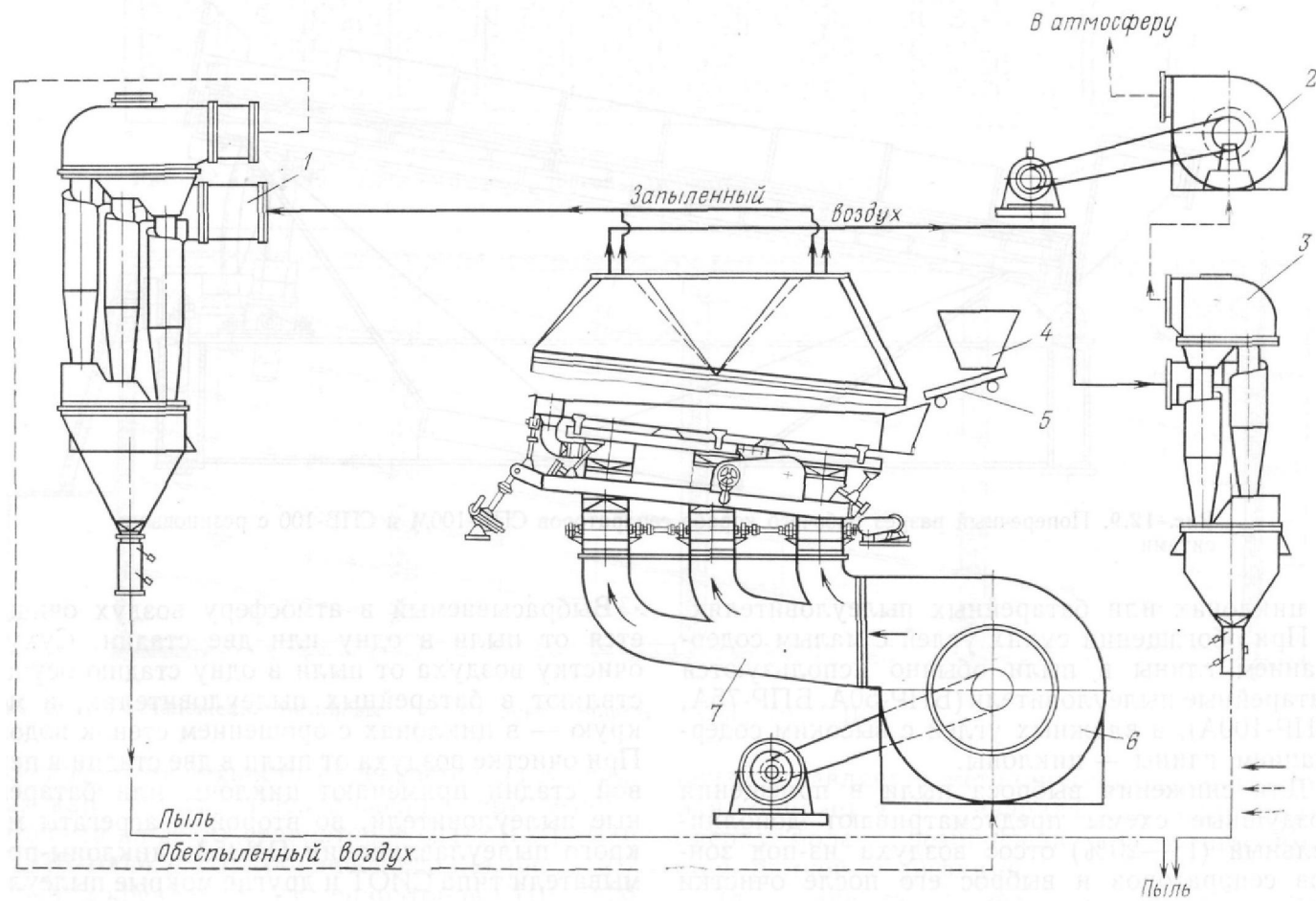


Рис. 1.22. Схема воздушной системы сепаратора СП6:

1 – батарейный пылеуловитель типа БПР-75; 2 – отсасывающий вентилятор ВД-10; 3 – батарейный пылеуловитель БПР-15; 4 – бункер; 5 – питатель; 6 – технологический вентилятор ВД-15,5; 7 – сепаратор пневматический СП-6

2.4. Параметры регулировки и настройки работы вибрационных пневматических сепараторов

В процессе оперативной настройки сепаратора при небольших колебаниях состава исходного материала обычно без остановки машины регулируют: частоту качаний деки (кроме сепаратора СПК-40), расход воздуха по полям и ширину зон съема продуктов положением разделяющих ножей в приемных воронках.

Остальные параметры регулируются в ходе специальной наладки сепараторов при их остановке [35, 51, 53].

Производительность по разгружающимся продуктам, их состав и зольность зависят от формы деки, расположения зоны загрузки, системы нарифления, наклона деки, параметров ее встряхивания и воздушного режима работы.

Рабочая поверхность деки в отечественных пневматических сепараторах применяется прямоугольной формы с отношением длины к ширине от 2,9/1 (СПБ-100 и СПБ-100М) до 4,7/1 (СПК-40).

С увеличением длины деки возрастает путь, на котором происходит постепенная концентрация тяжелых фракций в межрифельных отсеках, и, следовательно, получаются более чистые отходы. Одновременно растягивается веер разгрузки материала по бортовому рифлю и создаются условия для более четкого разделения зон концентрата и промпродукта. С увеличением ширины деки удлиняется путь материала к бортовому рифлю и увеличивается количество его перечисток в межрифельных отсеках, что способствует получению более чистого концентрата. Поэтому для углей с низким содержанием тяжелых фракций целесообразнее удлиненные деки, а для углей с высоким содержанием – более широкие.

Высота дековых рифлей устанавливается в зависимости от фракционного состава исходного материала: чем больше содержание тяжелых фракций, тем выше рифли. Высота рифлей, максимальная на

первом поле у разгрузочного борта, уменьшается в поперечном направлении к отбойному брусу и в продольном – к торцу деки.

Увеличение угла наклона рифлей к продольной оси сепаратора снижает интенсивность разгрузки материала по бортовому рифлю, увеличивая ее в торце деки, что при улучшении качества концентрата вызывает повышение потерь угля с отходами. В современных отечественных сепараторах углы наклона дековых рифлей к продольной оси сепаратора составляют от 7,5 (УШ-3, СПК-40) до 10,5° (СП-12).

Ширина межрифельных отсеков по условиям расклинивания крупных кусков должна быть не менее трехкратного размера максимальных кусков обогащаемого материала. В различных сепараторах ширина межрифельных отсеков колеблется от 150 мм (УШ-3, СПК-40, СПК-40М) до 230 мм (СП-12, ОСП-100).

Чем больше поперечный наклон деки к горизонту, тем выше скорость перемещения верхних слоев постели в поперечном направлении. При этом интенсивнее разгрузка через бортовой рифль, выше засорение разгружающихся через него продуктов тяжелыми фракциями и ниже потери угля в отходах. В эксплуатируемых в настоящее время сепараторах поперечный угол наклона дек регулируется в пределах от 2 до 12°. При оптимальных воздушных режимах наилучшие результаты обычно бывают в случае обогащения на сепараторах крупного угля при углах поперечного наклона дек около 6°. При заниженных расходах воздуха, когда верхние слои постели слабо разрыхлены и их скорость в поперечном направлении недостаточна, поперечный наклон увеличивается до 8–10°.

При хорошем разрыхлении постели материала лучшие результаты при обогащении угля крупных классов обычно достигаются при продольном наклоне рабочей поверхности к горизонту около 6°. Если разрыхление недостаточно и разница в скоростях движения вдоль деки верхних и нижних слоев не обеспечивает требуемой концентрации

материала, то продольный наклон к горизонту обычно увеличивается до 8° и выше.

Углы подбрасывания определяются продольным наклоном деки и ее опор у загрузки и разгрузочного торца. Оптимальные результаты обогащения получаются при углах наклона опор деки к горизонту у загрузки в пределах $38\text{--}45^\circ$, у разгрузочного торца – $50\text{--}56^\circ$. С уменьшением содержания тяжелых фракций в исходном угле разница в наклонах опор деки должна возрастать. Благодаря этому обеспечивается накапливание тяжелых фракций у разгрузочного торца, что требуется для получения чистых отходов.

Амплитуды качания деки на отдельных участках определяются эксцентриситетом приводного вала и параметрами кинематической схемы при установленном положении опор. С увеличением эксцентриситета повышаются разрыхленность постели, особенно для нижних слоев, и скорость ее продвижения вдоль деки. На отечественных сепараторах эксцентриситеты приводных валов составляют от 6 до 12 мм.

Наиболее действенным способом оперативного регулирования режима встряхивания, определяющего как разрыхленность постели, так и скорость ее продвижения, является изменение частоты качаний деки. С увеличением частоты качаний деки увеличиваются разрыхленность и скорость продвижения постели к разгрузочному торцу, производительность сепаратора; улучшается качество продуктов, разгружающихся с боковых сторон дек, повышается засорение углем отходов. Частота встряхивания устанавливается при принятых остальных параметрах в зависимости от качества продукта, разгружающегося в торце деки.

Количество воздуха, необходимое при обогащении на пневматических сепараторах, зависит от гранулометрического и фракционного составов исходного угля [104, 107, 128]. При обогащении ширококлассифицированного угля с уменьшением расхода воздуха

эффективность обогащения мелких классов растет, крупных – падает, с увеличением же, наоборот, значительно растет эффективность обогащения крупных классов, а для мелких снижается.

При непрерывной подаче воздуха максимальная эффективность обогащения на сепараторах угля различной крупности достигается при следующих удельных расходах:

Класс, мм:							
13–100	13–75	25–50	13–50	25–40	13–20	6–13	3–6
Удельный расход воздуха, тыс-м ³ /(ч-м ²)							
15,5	14,5	13,6	12,8	12,0	9,6	8,0	6,4

При этих расходах достигается так называемое «критическое» состояние постели, при котором происходит максимальное взвешивание зерен воздухом без нарушения постели. Они характеризуют случай обогащения угля указанных классов в присутствии незначительного (менее 10–15%) количества мелочи крупностью менее нижней границы класса.

С увеличением содержания мелочи в исходном угле снижается пористость постели, повышается ее сопротивление проходящему потоку воздуха, возрастает перепад давления по высоте постели, а следовательно, направленная вверх сила аэродинамического воздействия воздуха на крупные куски материала (при тех же расходах воздуха). Поэтому в случаях, когда для создания оптимального режима обогащения крупного материала без мелочи расход воздуха недостаточен, ее присутствие в постели приближает условия аэродинамического воздействия воздуха на крупные куски к оптимальным, способствуя лучшему расслоению постели, и повышает эффективность обогащения крупного угля.

Для получения равноценной эффективности обогащения угля крупных классов +13 мм в присутствии мелочи крупностью 0–13 мм при равной производительности по углю крупного класса необходимый расход непрерывно подаваемого воздуха снижается на 1,7% на каждый процент

увеличения содержания мелочи. Такая закономерность относится как к случаю непрерывной подачи воздуха, так и к пульсирующей.

В связи с этим обогащение угля крупных классов целесообразно производить в присутствии угольной мелочи, снижающей расход воздуха. При этом производительность сепараторов крупного зерна по крупным классам обычно сохраняется без снижения эффективности обогащения по ним, несмотря на увеличение общей производительности машин за счет повышенного содержания мелочи.

Расход воздуха на сепараторе должен устанавливаться исходя из задачи получения продуктов соответствующего качества. При заниженном его расходе в случае как непрерывной, так и пульсирующей подачи получаемый концентрат характеризуется высоким содержанием минеральных примесей в крупных классах. С увеличением подачи воздуха их содержание падает и может быть доведено до значений, обычно укладываемых в существующие нормы (2,0–2,5%) даже в случае получения сортовых концентратов.

При пульсирующей подаче воздуха на пневматических сепараторах обогащение угля происходит с равнозначными эффективностью и производительностью при расходах в среднем на 25% ниже по сравнению с режимами с непрерывной его подачей.

При обогащении крупного угля в сепараторах СПБ-100, СПБ-100М, ОСП-100 и СП-12 целесообразно использовать частоту пульсаций не выше 120 в минуту.

При обогащении на сепараторе большое значение имеет рациональное распределение воздуха по рабочей поверхности. Для лучшего разрыхления постели материала на деке расход воздуха на отдельных участках должен соответствовать составу постели на них. На сепараторах с непрерывной, а также пульсирующей (с помощью пульсатора на общем воздуховоде) подачей воздуха регулирование распределения воздуха по длине деки достигается дросселями под их

полями, а на некоторых машинах и установленными в воздуховоде отсекателями потока.

На сепараторах с пульсирующей подачей воздуха (при индивидуальных пульсаторах под полями дек) его распределение регулируется дополнительно путем использования определенной последовательности пульсаций по полям.

С точки зрения возможности осуществления максимальной концентрации потока воздуха на каком-либо поле и минимальной неравномерности живого сечения за цикл индивидуальные пульсаторы под полями дек имеют преимущество перед пульсатором на общем воздуховоде.

В поперечном направлении регулирование распределения воздуха предусмотрено лишь в сепараторах СП-12, СП-6, СПК-40А и ОСП-100 (четыре отсека по ширине каждого поля), СПК-40 и СПК-40М (в каждом межрифельном отсеке) дросселями в диффузорных отсеках полей под рабочей поверхностью. На сепараторах других конструкций рациональное распределение воздуха по ширине рабочей поверхности каждого поля может производиться лишь с помощью сит, живое сечение которых на разных участках подбирается различным.

Более высокая эффективность обогащения углей достигается на сепараторах с односкатной декой типа СП-12(ОСП-100) и СП-6(СПК-40А).

При оптимальных (и в первую очередь, воздушных) режимах работы сепаратора удельная производительность без снижения эффективности обогащения угля машинного класса 13–75 мм может быть доведена до 11–13 т/(ч·м²). Для этого в воздушной системе сепаратора необходимо иметь резерв напора, обеспечивающий сохранение расхода воздуха при возрастании сопротивления постели материала с увеличением ее толщины на рабочей поверхности машины. При повышении удельной производительности более 13 т/(ч·м²) эффективность обогащения угля начинает заметно снижаться.

На рабочей поверхности пневматического сепаратора могут быть созданы оптимальные условия обогащения угля класса 13–75 мм при затратах удельной мощности непрерывно подаваемого воздуха на взвешивание постели в среднем по сепаратору в пределах 2–3 кВт/м². При удельной производительности сепаратора около 10 т/(ч·м²) энергоемкость обогащения 1 т угля по взвешиванию постели воздухом составляет около 0,2–0,3 кВт·ч/т.

На процесс обогащения материала на деке сепаратора затрачивается обычно лишь 18–30% энергии воздуха, получаемой им в вентиляторе. Остальная же часть расходуется на преодоление сопротивлений различных участков технологической части воздушной системы. Величина этих затрат энергии зависит от компоновки воздушной системы, пылеулавливающей аппаратуры, сечения и конфигурации воздухопроводов, дросселирования, сопротивления рабочей поверхности и режима работы (расхода воздуха). При использовании для очистки от пыли циркулирующего воздуха центробежных пылеосадительных аппаратов (циклонов и батарейных пылеуловителей) затраты энергии воздуха на преодоление сопротивлений на участках от зонтов до технологических вентиляторов составляют от 24 до 43% всей энергии воздуха. В случае применения для очистки воздуха пылеосадительных камер затраты энергии на преодоление сопротивлений всасывающих участков получаются ниже – около 12%.

При непрерывной подаче воздуха под сепаратор в зависимости от степени герметизации наддекового пространства дополнительный отсос воздуха из-под зонтов должен составлять 15–20% от объема циркулирующего воздуха. При пульсирующей подаче, осуществляемой с помощью индивидуальных пульсаторов (СПБ-100М) или пульсатора на общем воздуховоде в однодечных машинах с двумя плоскостями обогащения, закрытыми одним зонтом (СПК-40), количество отсасываемого воздуха должно составлять 20–30% от объема

циркулирующего в технологической части. В двухдечных сепараторах СПБ-100 при использовании пульсирующей подачи воздуха поочередно то под одну, то под другую деки количество дополнительно отсасываемого воздуха должно быть не менее 30% от объема циркулирующего. Расход энергии на дополнительный отсос воздуха из-под зонтов сепараторов составляет от 20 до 40% затрат энергии в технологической части воздушной системы.

Раздел 3 Особенности процесса обогащения на вибрационных пневматических сепараторах

3.1 Принцип действия вибрационного пневматического сепаратора

Принцип действия пневматических сепараторов. Как уже отмечалось, на современных обогатительных фабриках освоены пневматические сепараторы типа УШ-3 и СПБ-100. Эти сепараторы отличаются друг от друга своей конструкцией, но по принципу действия все они имеют много общего.

Разделение угля, промпродукта и породы на всех пневматических сепараторах осуществляется на наклонных качающихся деках с поверхностью из рашпильных сит, через отверстия в которых подается воздух. Дека располагается под углом к горизонту в поперечном направлении и имеет восстающий наклон в продольном направлении.

На деке сепараторов имеются нарифления, располагающиеся под углом к продольной оси сепаратора.

Высота нарифлений различна. Наибольшую высоту они имеют в переднем нижнем углу деки, со стороны разгрузки угля. Высота нарифлений и в продольном, и в поперечном направлении постепенно уменьшается. В конце деки рифли имеют минимальную высоту.

Уголь, подаваемый на деку через питатель, распределяется слоем, называемым угольной постелью.

Дека, расположенная на наклонных ножевых опорах, совершает возвратнопоступательные движения под углом к поверхности деки. При качаниях изменение направления движения деки с прямого на обратное происходит резко, благодаря чему угольная постель, двигаясь по инерции подбрасывается вверх в направлении, перпендикулярно плоскости ножевых опор. В результате подбрасываний и воздействия подаваемого воздуха угольная постель разрыхляется, приобретает «текучее» состояние. Расход и напор воздуха подбираются таким образом, чтобы под воздействием воздушных струй, пронизывающих угольную постель, более легкие угольные зерна из нижних слоев постели поднимались вверх, а более тяжелые – породные зерна опускались вниз на рашпильные сита. В результате угольная постель разделится на три слоя. Вверху сконцентрируются наиболее легкие угольные зерна, внизу образуется тяжелый породный слой, а между ними расположатся промежуточные по удельному весу промпродуктовые зерна.

Высота рифлей устанавливается с таким расчетом, чтобы в начале деки между нарифлениями полностью задерживались породные и промпродуктовые зерна, располагающиеся слоем в нижней части постели. При этом угольный слой остается свободным и не задерживается нарифлениями.

Ввиду того, что подбрасывание происходит не вертикально, а под углом к поверхности деки, разрыхленная постель продвигается по восстающей деке. При этом верхний угольный слой, располагающийся над нарифлениями, будет перемещаться по наклонной деке в поперечном направлении под углом к оси сепаратора, разгружаясь вдоль борта сепаратора в передней части деки. Нижние тяжелые слои постели задерживаются нарифлениями и будут перемещаться вдоль каналов, образованных нарифлениями. По мере уменьшения высоты нарифлений

промпродуктовые зерна, продвигаясь вдоль каналов, будут освобождаться из каналов и также начнут перемещаться в поперечном направлении, разгружаясь вслед за угольным концентратом вдоль борта деки ближе к торцовой части сепаратора. Самый нижний породный слой дольше всего удерживается нарифлениями и двигается между ними вдоль всей деки, разгружаясь в торцовой части сепаратора.

Помимо перечисленных трех продуктов обогащения, как правило, с деки выделяют еще циркулирующий продукт, представляющий смесь зерен различного удельного веса.

3.2 Система выделения циркулирующего продукта

Необходимость выделения циркулирующего продукта диктуется тем обстоятельством, что на деке сепаратора не достигается идеально точного разделения угольной постели на слои различного удельного веса, в результате нет и резких границ между зонами разгрузки угольных промпродуктовых и породных зерен. Между зонами выделяются продукты, представляющие смесь зерен различного удельного веса. Для того чтобы уменьшить засорение концентрата тяжелыми высокозольными зернами и снизить потери угля с другими продуктами, между зоной разгрузки концентрата и промпродукта выделяется циркулирующий продукт. На рис. 1.24 приведена схема выделения продуктов обогащения с деки сепаратора.

Факторы, влияющие на качество продуктов пневматической сепарации. Как уже отмечалось, при обогащении на пневматических сепараторах не достигается совершенно точного разделения чистого угля, промежуточных зерен и породы. Получаемые продукты обогащения содержат некоторое количество посторонних фракций. Так, в концентрате частично остаются промежуточные по зольности и удельному весу зерна и

некоторое количество породы. В промпродукт увлекается много угля и породы, а в породе теряется уголь и промежуточные зерна.

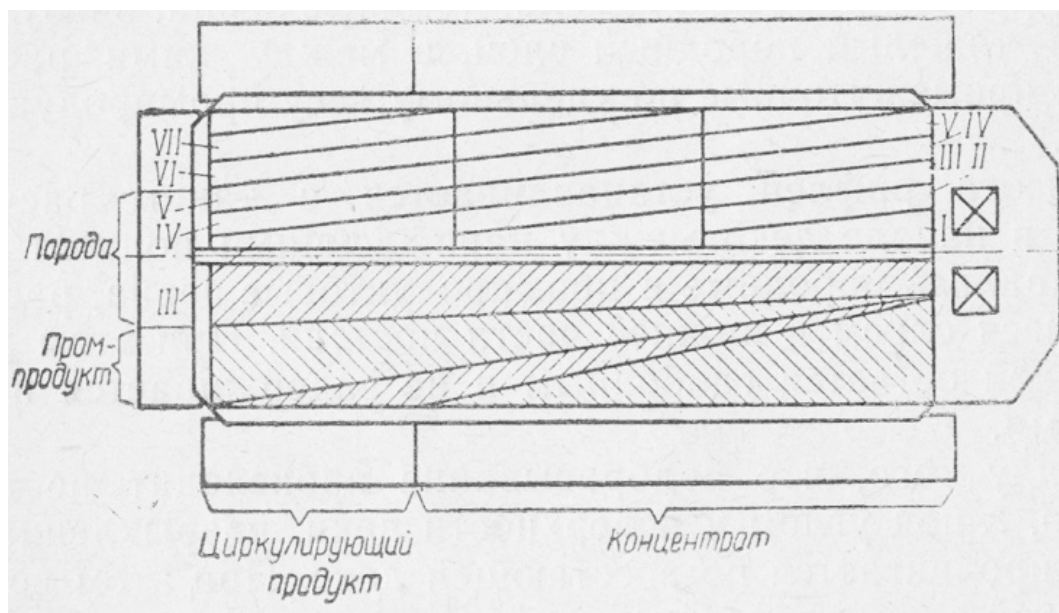


Рисунок 1.24. Дека сепаратора: верхняя часть – схема расположения дековых нарифлений (без угольной постели); нижняя часть – схема разгрузки продуктов обогащения с деки сепаратора

Засорение продуктов обогащения посторонними фракциями зависит от крупности, от ситового и фракционного состава и влажности обогащаемого угля, от постоянства его качества, от нагрузки на сепаратор, а также от регулировки сепаратора.

Влияние крупности обогащаемого угля сказывается в следующем.

От крупности обогащаемого угля зависит расход и напор подаваемого воздуха, толщина слоя угольной постели и интенсивность подбрасывания угольной постели на деке сепаратора. Чем крупнее обогащаемый уголь, тем больше должна быть толщина угольной постели, тем интенсивнее должно происходить подбрасывание для создания «текучести» постели и тем больший расход и напор воздуха должны быть обеспечены для поднятия более тяжелых крупных угольных зерен в верхние слои постели, не допустив потери их с породой. Причем мелкие классы угля обогащаются с меньшей эффективностью, чем более крупные.

Ситовый состав угля сказывается на процессе сепарации следующим образом.

При небольшом содержании угольной мелочи в исходном угле постель на деке сепаратора ложится неплотным слоем и воздух свободно проходит через постель в промежутки между отдельными частицами, не разрыхляя в достаточной мере угольную постель. Для нормализации процесса толщина угольной постели должна быть увеличена. Соответственно должен быть увеличен расход и напор подаваемого воздуха. В противном случае постель может оказаться недостаточно разрыхленной, крупные породные зерна из верхних слоев не смогут опуститься в нижний породный слой и неизбежно попадут в угольный концентрат. В результате концентрат получится высокозольным.

При достаточном содержании угольной мелочи в крупных классах угольная постель на деке сепаратора отличается большей подвижностью, что обеспечивает более эффективное обогащение крупного угля. Однако при этом мелочь почти не обогащается и полностью выделяется с сепаратора в начале деки вместе с концентратом.

Влияние фракционного состава угля сказывается на выходе и качестве продуктов обогащения.

Обогащаемый уголь представляет смесь угольных, породных и промежуточных зерен с различным удельным весом и с различным содержанием золы.

Угольные зерна, или легкая фракция, характеризуются минимальным содержанием золы и удельным весом отдельных зерен до 1,5 (фракция – 1,5). Породные зерна составляют тяжелую фракцию с удельным весом зерен более 1,8 (фракция +1,8) и с содержанием золы более 60%. Промежуточные зерна, или промежуточная фракция, представляют высокозольные частицы угля с содержанием золы от 15–20 до 50–60% и с удельным весом от 1,5 до 1,8 (фракция +1,5–1,8). На результаты обогащения прежде всего оказывает влияние содержание в угле

промежуточной фракции. Если обогащаемый уголь представляет смесь только угольных и породных зерен, то в результате при значительной разнице удельных весов этих зерен при обогащении можно получить довольно четкое разделение угля и породы. Потери угля в породе будут незначительными, выход концентрата максимальным.

Если наряду с породными и угольными зернами в угле содержится значительное количество промежуточных зерен, то резкой разницы удельных весов разделяемых зерен не будет и достичь четкого разделения угля на продукты, состоящие только из угольных, только из породных и только из промежуточных зерен очень трудно. Получаемые продукты будут значительно засорены посторонними фракциями: концентрат – высокозольными промежуточными инородными зернами, порода – большим количеством угольных частиц, а в промпродукт будет увлекаться большое количество угольных и породных частиц. В результате выход концентрата снизится, зольность его возрастет по сравнению с зольностью угольной фракции, а порода получится? низкозольной.

В зависимости от фракционного состава (содержание промежуточной фракции указано в скобках) угли по обогатимости различают на:

легкообогатимые (менее 4%);

среднеобогатимые (4–8%);

труднообогатимые (8–12%);

очень труднообогатимые (свыше 12%).

Загрузка сепараторов обогащаемым углем должна быть равномерной и соответствовать оптимальной производительности сепаратора. При чрезмерном увеличении нагрузки возрастает толщина угольной постели на деке сепаратора, количество воздуха окажется недостаточным и условия обогащения угля ухудшатся. При снижении загрузки сепаратора углем толщина постели на деке сепаратора, наоборот, уменьшится, что также вызовет нарушение условий разделения угольных, промежуточных и

породных зерен между собой. Таким образом, для устойчивого режима обогащения угля необходимо обеспечить равномерную загрузку сепараторов обогащаемым углем.

3.3 Влияние технологических параметров сырья на процесс разделения

Влияние равномерности ситового и фракционного состава обогащаемого угля на качество продуктов обогащения является весьма существенным и состоит в следующем [56, 57, 104, 107, 108].

Колебание ситового состава угля неизбежно вызовет изменение в загрузке сепараторов углем, что является недопустимым. Так же недопустимы колебания и во фракционном составе обогащаемого угля.

Если в угле повышается содержание породы против обычного, то соответственно увеличится толщина породного слоя на деке сепаратора и высота нарифлений может оказаться недостаточной. В результате верхние слои породной постели и промежуточный слой не будут задерживаться нарифлениями, частично будут разгружаться в поперечном направлении и попадут в концентрат. Наоборот, если содержание породы в поступающем на сепаратор угле уменьшится, то высота нарифлений может оказаться излишней и в каналах между нарифлениями будет удерживаться не только порода и промежуточные зерна, но частично и уголь, который будет увлекаться с породой в торцовую часть сепаратора и разгружаться там вместе с породой. В результате возрастут потери угля и выход концентрата снизится.

С целью получения устойчивого качества продуктов обогащения необходимо обеспечить поступление на сепаратор углей постоянного фракционного состава. Для этого необходимо поступающий на фабрику уголь подвергать усреднению в аккумулялирующих бункерах и в питающих воронках сепараторов. Однако на обогатительных фабриках не всегда

уделяют должное внимание данному фактору и часто работают без заполнения бункеров и воронок исходным углем.

Влияние влажности на пневматическую сепарацию сказывается в следующем. При увеличении содержания в угле внешней влаги на поверхности угольных зерен образуется водная пленка, и частички угля и породы, особенно при обогащении мелких классов, приобретают способность слипаться друг с другом. При этом снижается подвижность отдельных зерен в угольной постели и затрудняется опускание в нижние слои постели тяжелых – породных зерен и выдувание в верхние слои более легких – угольных. Мелкие частички могут слипаться друг с другом настолько прочно, что разъединить их в процессе пневматической сепарации невозможно. В итоге засорение продуктов обогащения при повышении влажности исходного угля возрастает, а качество продуктов ухудшается.

Для устранения вредного влияния повышенной влажности обогащаемого угля необходимо при поступлении на обогатительную фабрику мокрого угля шихтовать его с более сухим в аккумулирующих бункерах, а если это невозможно, мокрый уголь следует направляться склад необогащенных углей. Помимо этого большое значение имеет правильная регулировка сепаратора. Методы регулировки сепараторов различного типа будут описаны в соответствующих разделах. Чем тщательнее отрегулирован режим обогащения на сепараторе, тем разделение обогащаемого угля по удельному весу идет более четко, тем выше качество получаемых продуктов.

Раздел 4 Исследование влияния различных параметров на процесс виброационной пневматической сепарации

Как было сказано выше, результаты разделения материалов на плоских подвижных поверхностях зависят от целого ряда конструктивных

и технологических параметров, от свойств исходного материала и несущей среды. Для проверки теоретических гипотез были проведены непосредственные эксперименты на установках, использующих указанный принцип разделения. При этом исследовательские работы выполнялись на действующем промышленном пневмо-вибрационном сепараторе СВП-5,5х1, входящем в состав малогабаритной модульной установки. На установку подавались угли разных марок и технологическая схема их обогащения интерпретировалась в зависимости от задач исследования.

4.1 Описание промышленного модульного обогатительного комплекса на базе сепаратора СВП-5,5х1

Под руководством кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», ГП «Укруглекачество», ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я. Пархоменко», ООО «Райт», и ООО «Качество Плюс» совместными усилиями в 2009г. осуществили реализацию проекта и курирование строительства модульного обогатительного комплекса вибропневматической сепарации МОК-ВПС на базе вибропневматического сепаратора СВП-5,5х1. Ситуационный план размещения установки представлен на рис. 1.25, а схема оборудования и сепаратор на рис. 1.26 и 1.27.

Конструкция сепаратора СВП-5,5х1 [56, 57, 107] основана на принципе пульсирующей подачи технологического воздуха под перфорированную деку. Бигармонический режим колебаний позволяет получать высокие технологические показатели и может применяться для выделения товарного продукта из углесодержащего сырья с широким диапазоном крупности и зольности. Обогащение рядового угля (РУ) или горной массы террикона (ГМТ) гравитационной крупности (0-75мм) происходит на наклонной качающейся деке сепаратора с рифленой и

перфорированной рабочей поверхностью, через отверстия которой нагнетается воздух. На рис. 1.28 показан фрагмент деки.

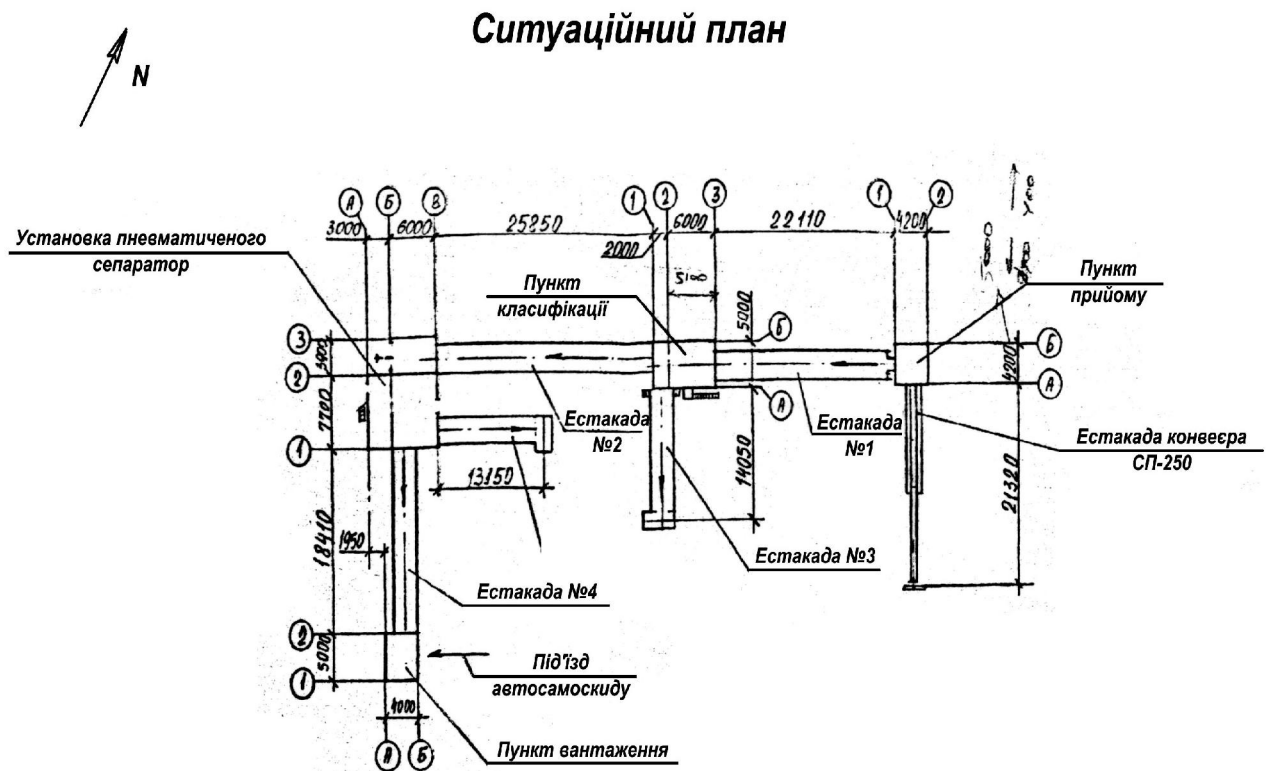


Рис. 1.25. Ситуаційний план модульного обогатительного комплексу (копія проекту будівництва комплексу)

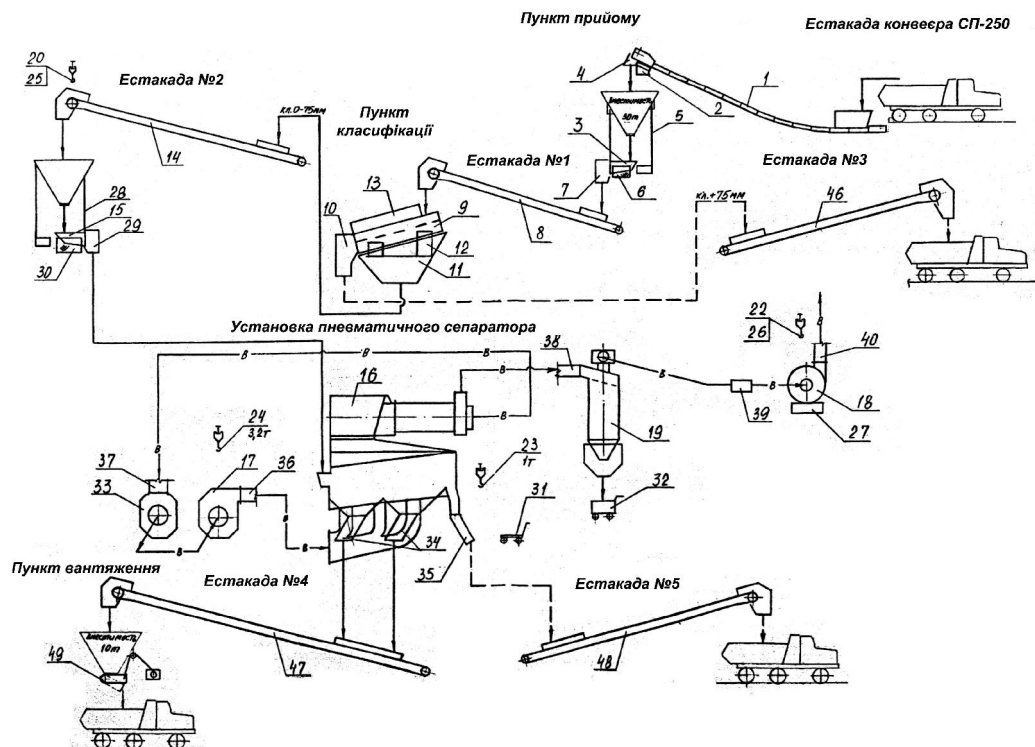


Рис. 1.26. Схема обладнання модульного обогатительного комплексу (перечень обладнання з указанням позицій приведено в табл. 1.3)

Таблица 1.4

Оборудование модульного обогатительного комплекса

Позиция	Наименование
1	2
1	Скребковый конвейер с бункером приема исходного материала
2	Привод скребкового конвейера с турбомуфтой
3	Приемная воронка пителя
4	Прямоточный спуск - желоб
5	Аккумулирующий бункер Q = 30 тонн
6	Качающийся питатель
7	Прямоточный спуск - желоб
8	Ленточный ковейер
9	Вибрационный грохот ГИЛ-1,5х2Д
10	Каскадный спуск – желоб надрешетного продукта
11	Прямоточный спуск – приемная воронка подрешетного продукта
12	Виброизолирующая опора грохота
13	Пылеотсасывающий зонт
14	Ленточный конвейер
15	Приемная воронка пителя
16	Горизонтальный спиральный пылеуловитель
17	Дымомос ДН-21
18	Вентилятор дутьево ВДН-12,5
19	Циклон-1600
20	Кран-балка
21	Вытяжной зонт сепаратора
22	Кран-балка
23	Ручной тельфер
24	Ручной тельфер
25	Монорельс

1	2
26	Монорельс
27	Рама вентиллятора ВДН-12,5
28	Аккумулирующий бункер Q = 30 тонн
29	Прямоточный спуск - желоб
30	Качающийся питатель
31	Ремонтная тележка
32	Бункер-накопитель просыпи пыли
33	Спрамляющий аппарат лопаток дымососа
34	Устройство разрузки концентрата
35	Устройство разрузки породы
36	Всасывающий патрубок дымососа
37	Патрубок нагнетания избыточного воздуха
38	Патрубок ввода пылевоздушной смеси в циклон
39	Пелевоздушный трубопровод
40	Патрубок выброса очищенного технологического воздуха
41	Устройство приема надрешетного продукта на ленточный конвейер
42	Устройство приема концентрата на ленточный конвейер
43	Устройство приема отходов на ленточный конвейер
44	Устройство выпуска отходов
45	Бункер концентрата
46	Ленточный конвейер
47	Ленточный конвейер
48	Ленточный конвейер
49	Секторный затвор выпуска концентрата

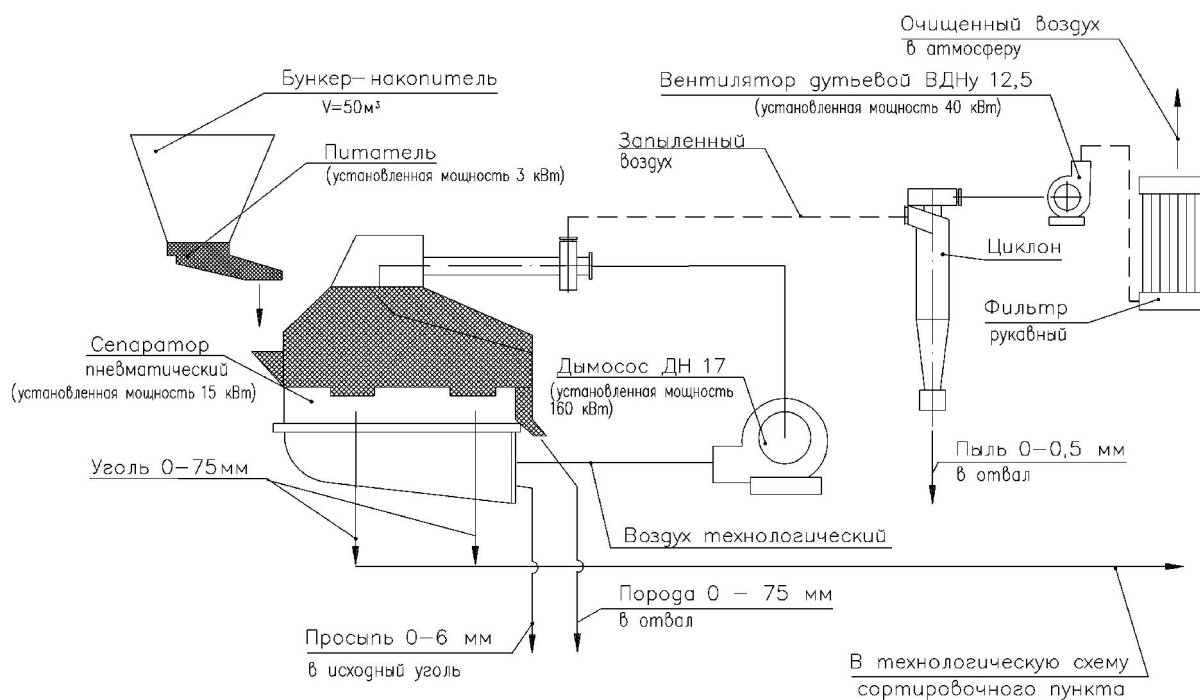


Рис. 1.27. Вспомогательное оборудование непосредственно для работы сепаратора СВП-5,5х1

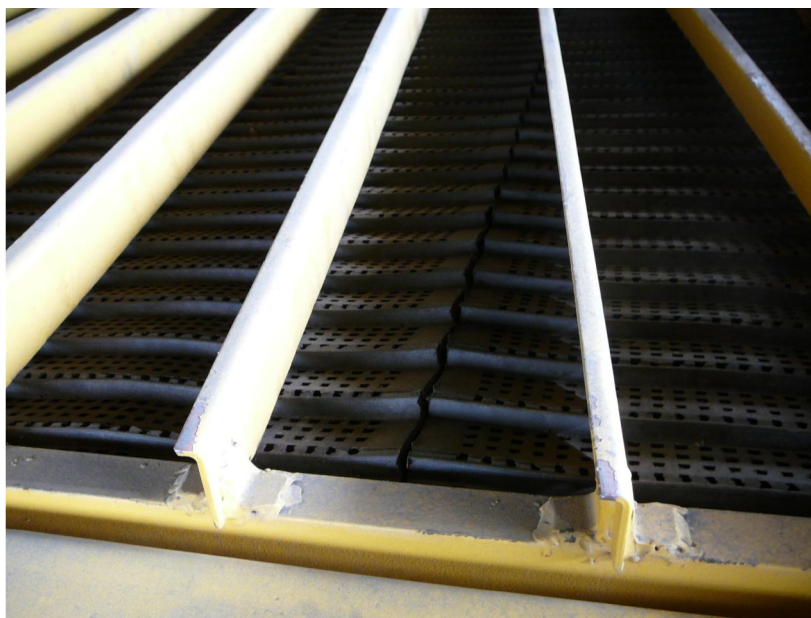


Рис. 1.28. Фрагмент перфорированной деки сепаратора СВП-5,5х1

Конструкция деки предусматривает возможность изменения углов ее наклона в поперечном и продольном направлениях. Дека содержит

направляющие (рифли), изготовленные из стальных полос разной высоты. Наибольшую высоту рифли имеют в зоне разгрузки концентрата. Высота направляющих постепенно уменьшается как в продольном, так и в поперечном направлении. Высота рифлей в зоне выгрузки отходов минимальна.

Конструкция сепаратора СВП-5,5х1 позволяет осуществлять пульсирующее нагнетание воздуха под деку. Воздух под деку нагнетается технологическим вентилятором через воздуховод, разделенный в верхней части на патрубки и диффузоры. Число патрубков и диффузоров соответствует числу воздушных полей сепаратора. Запыленный воздух удаляется через брезентовый зонт, расположенный над сепаратором.

Материал из загрузочного устройства поступает на деку сепаратора, где с помощью питателя распределяется и образует «постель». Дека установлена на наклонных опорах и совершает возвратно-поступательные движения, благодаря чему «постель» по инерции подбрасывается вверх в направлении, перпендикулярном к плоскости опор. В результате одновременного подбрасывания и нагнетания потока воздуха материал «постели» разрыхляется и приобретает свойства текучести. Благодаря наклону деки в поперечном направлении и поступательному движению верхний (легкий) слой «постели», расположенный выше рифлей постепенно сползает вниз, под углом к оси сепаратора и разгружается вдоль его борта в передней части деки. Нижний (тяжелый) слой «постели», находящийся между рифлями, движется вдоль них. Разгрузка продуктов сепарации происходит по периметру деки. Распределение зольности продуктов сепарации в потоке движения возрастает в дифференциальной зависимости по периметру разгрузочной части деки и повторяет закон распределения зольности и выходов фракций исходного сырья.

Технические характеристики сепаратора СВП-5,5х1 приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Технические параметры сепаратора СВП-5,5х1

Наименование параметра и размерность	Величина
1. Рабочая площадь разделения, м ²	6,7
2. Ширина деки, м	1,4
3 Производительность по исходному материалу, т/ч,	50
4. Крупность обогащаемого материала, мм	до 75
5. Поверхностная влага материала, %	до 8
6. Насыпная плотность материала, т/м ³	до 2,8
7. Погрешность разделения (при максимальной производительности)	0,25
8. Диапазон регулируемой частоты качания деки, с ⁻¹	3,0-6,7
9. Габаритные размеры, мм	
длина	6450
ширина	3900
высота	7800
10. Масса, кг	12600
11. Установленная мощность, кВт, не более	15

Общий вид модульной установки и сепаратор показаны на рис. 1.29 и 1.30.



Рис. 1.29. Общий вид модульной установки в период монтажа

Установка была запущена в 2009г. и продолжает успешно функционировать. В зависимости от свойств поступающего сырья и требований потребителей на сепараторе можно выделять два или три (концентрат, промпродукт, порода) конечных продукта.

При проведении исследований выполнялось периодическое опробование питания и продуктов сепарации, пробы накапливались, усреднялись и далее обрабатывались по стандартной методике. Физико-химический анализ выполнялся в аккредитованной лаборатории кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ДонНТУ в соответствии с принятыми стандартами.



Рис. 1.30. Общий вид сепаратора СВП-5,5х1 (без кожуха)

4.2 Исследование влияния содержания мелких классов на показатели вибрационной пневматической сепарации

В данном исследовании переработке подвергался рядовой уголь марки Ж. Материал направлялся на подготовительное грохочение для отделения мелочи - класса 0-3мм. Надрешетный продукт грохота класс 3-

50мм поступал на обогащение в сепаратор для разделения на два продукта – концентрат и отходы.

Ниже приведены результаты исследования влияния гранулометрического состава питания сепаратора на показатели разделения для углей марки Ж. Гранулометрический и фракционный состав углей представлен в табл. 1.6. и 1.7.

Из данных гранулометрического состава следует, что содержание крупных классов (13-50мм) в питании небольшое и составляет только пятую часть (21,6%), в классе 25-50мм значительное содержание породы, что обуславливает его высокую зольность 82,2%. Практически половина питания представлена материалом с размером менее 3мм, его содержание – 46,5% при зольности около 15%. Это свидетельствует о необходимости более тщательной подготовки питания сепарации по крупности.

Таблица 1.6

Гранулометрический состав углей марки Ж, поступающих в сепаратор

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
1	2	3
25-50	12,5	82,2
13-25	9,11	64,8
6-13	13,88	44,4
3-6	17,98	20,6
1-3	25,54	18,3
0,5-1	8,62	12,8
0-0,5	12,37	15
Всего	100	33,68

Классы средней крупности (6-13мм) содержатся в питании в количестве порядка 14% с зольностью около 44%. По фракционному

составу материал, поступающий на обогащение в сепаратор, также неоднороден (см. данные табл. 1.7.).

Таблица 1.7.

Фракционный состав питания сепаратора

Плотность фракций, т/м ³	Выход, %		Зольность, %
	к исходному	к классу	
1	2	3	4
Класс 25-50мм			
-1,4	1,07	8,54	2,4
1,4-1,5	0,03	0,26	25,73
1,5-1,8	0	0	42
+1,8	11,4	91,20	89,83
Всего	12,50	100,0	82,2
Класс 13-25мм			
-1,4	2,70	29,64	1,72
1,4-1,5	0,05	0,55	5,10
1,5-1,8	0,04	0,44	19,53
+1,8	6,32	69,37	92,51
Всего	9,11	100	64,80
Класс 6-13мм			
-1,4	7,22	52,02	4,16
1,4-1,5	0,05	0,36	28,00
1,5-1,8	0,04	0,29	41,70
+1,8	6,57	47,33	86,96
Всего	13,88	100	43,55
Класс 3-6мм			
-1,4	13,31	74,03	4,62
1,4-1,5	0,12	0,67	30,60

Продолжение табл. 1.7

1	2	3	4
1,5-1,8	0,04	0,22	42,95
+1,8	4,51	25,08	67,28
Всего	17,98	100	20,60
Класс 1-3мм			
-1,4	22,00	86,14	7,60
1,4-1,5	0,09	0,35	24,79
1,5-1,8	0,08	0,31	35,73
+1,8	3,37	13,19	87,53
Всего	25,54	100	18,30
Класс 0,5-1мм			
-1,4	7,77	90,14	5,67
1,4-1,5	0,07	0,81	16,07
1,5-1,8	0,03	0,35	34,07
+1,8	0,75	8,70	85,46
Всего	8,62	100	12,80
Класс 0-0,5мм			
-1,4	10,49	84,80	7,72
1,4-1,5	0,50	4,04	19,86
1,5-1,8	0,52	4,20	40,06
+1,8	0,86	6,95	85,84
Всего	12,37	100	15,00
Всего класс 0-50мм			
-1,4	64,56	64,56	6,06
1,4-1,5	0,91	0,91	21,31
1,5-1,8	0,75	0,75	38,51
+1,8	33,78	33,78	86,34
Всего	100,00	100	33,56

Как следует из данных табл. 1.7. с уменьшением крупности снижается количество породных фракций в классе с 91,2% для класса 25-50мм до 6,95% для класса 0-0,5мм при одновременном росте количества легких фракций. Промежуточные фракции присутствуют в основном в классах крупностью менее 0,5мм, их содержание здесь максимальное и составляет 4,2% при зольности 40%.

По данным опробования продуктов обогащения и фракционного анализа классов были определены извлечения легких фракций в концентрат по известным зависимостям и построены кривые Тромпа для концентрата, что позволило определить значения среднего вероятного отклонения $E_{\text{рт}}$ для каждого класса крупности и фактическую плотность разделения. Анализ полученных данных показывает, что при снижении крупности материала кривая Тромпа все больше отклоняется от вертикали, увеличивается количество мигрирующих фракций и соответственно происходит рост параметра $E_{\text{рт}}$ при одновременном повышении значения фактической плотности разделения. Для материала крупностью 25-50мм фактическая плотность разделения составляет $1,55\text{т/м}^3$, а для класса 6-13мм уже $1,75\text{т/м}^3$. Затем для наиболее мелких частиц фактическая плотность разделения повышается до $1,93\text{т/м}^3$. Это свидетельствует о том, что разделение этого материала имеет минимальную эффективность и практически не происходит. В целом для питания сепарации крупностью 0-50мм плотность разделения составляет $1,7\text{т/м}^3$, обеспечивая получение концентрата зольностью 14% при выходе около 68% и общих отходов зольностью 74% при зольности питания 33%. Снижение зольности общих отходов по сравнению с результатами фракционного анализа питания связано с малоэффективным обогащением мелких классов и их большим количеством в сепараторе.

При снижении крупности частиц и высоком содержании мелочи в питании сепаратора, что имело место в данном случае, повышается взаимное засорение продуктов сепарации.

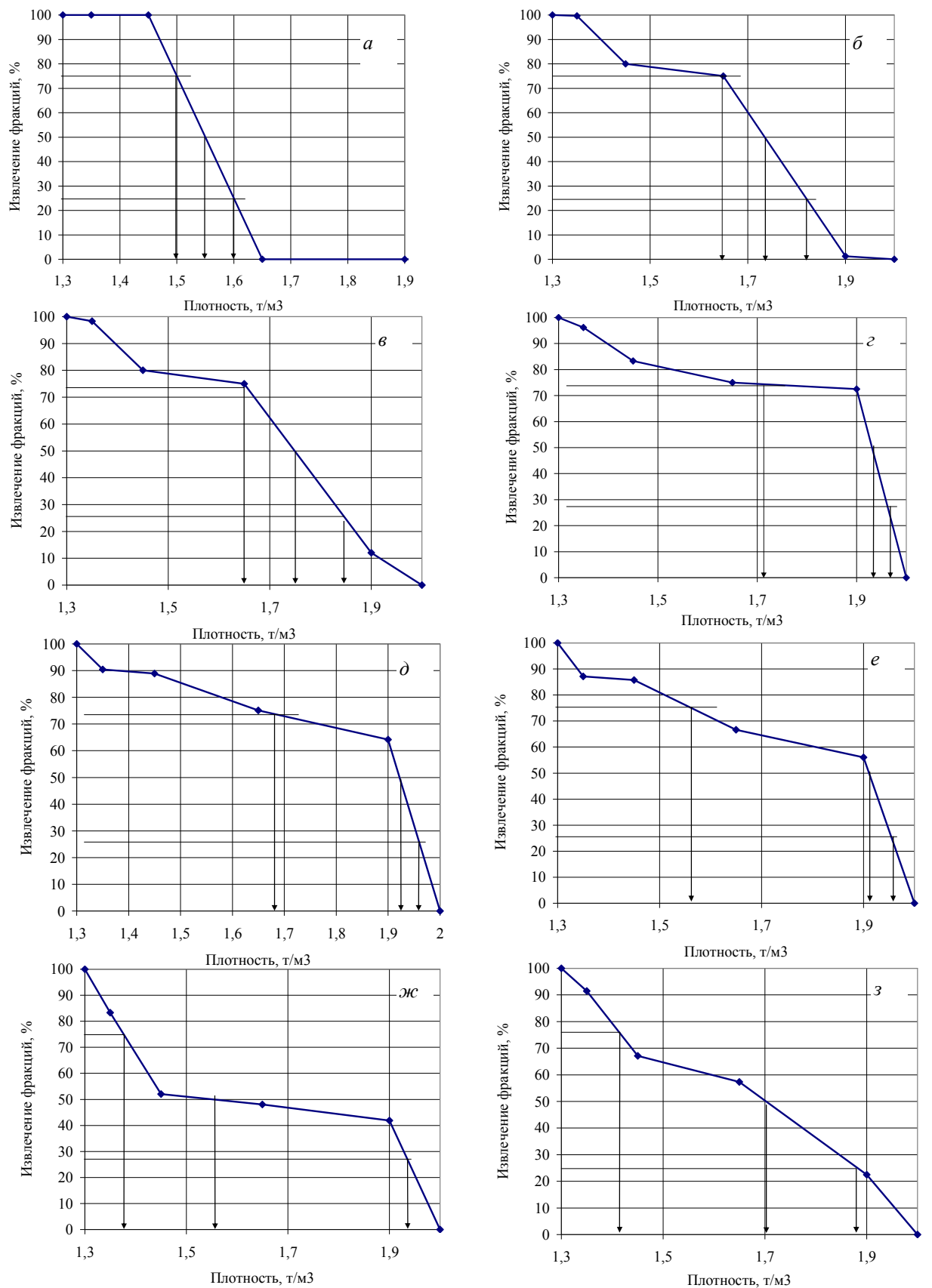


Рис. 1.31. Кривые Тромпа для концентрата пневмовибрационной сепарации угля 0-50мм марки Ж для классов: а – 25-50мм, б – 13-25мм, в – 6-13мм, г – 3-6мм, д – 1-3мм, е – 0,5-1мм, ж – 0-0,5мм, з – 0-50мм

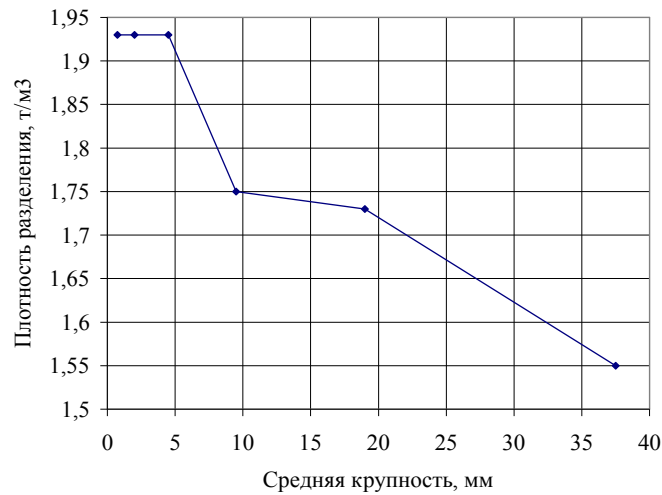


Рис. 1.32. Зависимость фактической плотности разделения от средней крупности классов при высоком содержании мелочи в питании (марка Ж)

Влияние крупности материала на значение показателя E_{pm} при поступлении в сепаратор широко классифицированного питания представлено на рис. 1.33.

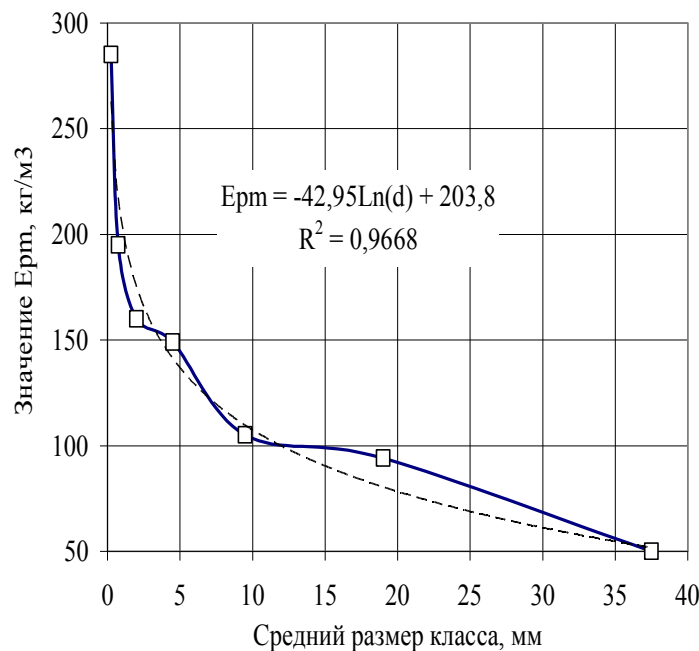


Рис. 1.33. Влияние крупности материала на значение показателя E_{pm} при высоком содержании мелких классов в питании

Анализ данных свидетельствует о том, что параметр E_{pm} растет от 50 кг/м^3 для класса 25-50 мм до 100 кг/м^3 для класса 6-13 мм и далее до 200-

280кг/м³ для материала крупностью менее 6мм. Это является следствием высокого содержания класса 0-6мм, которое приводит к уплотнению постели. Последнее затрудняет процесс поддержания ее разрыхленности в необходимых пределах. Для этого следует увеличивать расход несущей среды – воздуха, что фактически повышает скорость его движения.

Для параметра E_{pm} получена логарифмическая регрессионная зависимость от среднего размера частиц d с высокой степенью аппроксимации R^2 , которая имеет вид (рис 1.33):

$$E_{pm} = -42,95\text{Ln}(d) + 203,8 \quad R^2 = 0,9668 \quad (4.1)$$

Далее было выполнена подготовка машинных классов размером 13-50, 6-13 и 0-6мм из рядового угля марки Г и их отдельное обогащение в сепараторе. Результаты исследования гранулометрического состава представлены в табл. 1.8, 1.9 и 1.10, фракционного – в табл. 1.11-1.13.

Таблица 1.8

Гранулометрический состав углей класса 13-50мм, поступающих в сепаратор

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
25-50	45,23	43,5
13-25	42,12	38,67
6-13	3,85	34,18
3-6	2,05	27,81
1-3	2,14	24,42
0,5-1	1,98	26,21
0-0,5	2,63	26,82
Всего	100	39,6

Таблица 1.9

Гранулометрический состав углей класса 6-13мм

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
13-25	6,72	39,56
6-13	71,25	35,12
3-6	11,15	28,51
1-3	3,56	27,89
0,5-1	2,31	25,3
0-0,5	5,01	26,92
Всего	100	33,79

Таблица 1.10

Гранулометрический состав углей класса 0-6мм

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
6-13	4,12	31,08
3-6	28,17	30,56
1-3	30,05	29,41
0,5-1	18,79	28,65
0-0,5	18,87	26,44
Всего	100	29,10

Анализ данных гранулометрического состава показывает, что наиболее высокзольный материал сосредоточен в классах 25-50 и 13-25мм. Содержание мелочи (класс 0-6мм) в составе класса 13-50мм находится в пределах 8-9% с зольностью около 26% (табл. 1.8). Класс 6-13мм имеет засорение более крупными зернами 13-25мм порядка 7% с

зольностью 40%, а мелкими 0-3мм – 22% (табл. 1.9). Класс 0-6мм засорен более крупными зернами 6-13мм незначительно (табл. 1.10).

Таблица 1.11

Фракционный анализ питания сепаратора крупностью 13-50мм и классов, входящих в его состав

Плотность фракций, т/м ³	Выход, %		Зольность, %
	к исходному	к классу	
Класс 25-50мм			
-1,4	25,60	56,6	7,37
1,4-1,5	0,32	0,7	27,56
1,5-1,6	0,50	1,1	32,46
1,6-1,8	0,54	1,2	42,5
+1,8	18,27	40,4	94,72
Всего	45,23	100	43,5
Класс 13-25мм			
-1,4	24,30	57,7	4,2
1,4-1,5	0,21	0,5	17,5
1,5-1,6	0,38	0,9	20,5
1,6-1,8	0,59	1,4	33,17
+1,8	16,64	39,5	89,91
Всего	42,12	100	38,67
Класс 6-13мм			
-1,4	2,39	62	3,78
1,4-1,5	0,02	0,6	21,12
1,5-1,6	0,04	1	28,51
1,6-1,8	0,05	1,3	35,22
+1,8	1,35	35,1	88,22
Всего	3,85	100	34,18

Таблица 1.12

Фракционный анализ питания сепаратора крупностью 6-13мм и классов,
входящих в его состав

Плотность фракций, т/м ³	Выход, %		Зольность, %
	к исходному	к классу	
1	2	3	4
Класс 13-25мм			
-1,4	3,80	56,5	4,12
1,4-1,5	0,05	0,8	11,89
1,5-1,6	0,10	1,5	23,51
1,6-1,8	0,22	3,2	36,8
+1,8	2,55	38	90,15
Всего	6,72	100	38,21
Класс 6-13мм			
-1,4	40,89	60	4,51
1,4-1,5	1,28	0,7	12,12
1,5-1,6	1,88	1,4	26,5
1,6-1,8	3,02	3,8	36,9
+1,8	24,18	34,1	88,56
Всего	71,25	100	35,12
Класс 3-6мм			
-1,4	7,49	67,2	4,3
1,4-1,5	0,08	0,3	13,2
1,5-1,6	0,10	1,3	27,1
1,6-1,8	0,37	3,3	36,8
+1,8	3,11	27,9	86,12
Всего	11,15	100	28,47

Окончание табл. 1.12

1	2	3	4
Класс 1-3мм			
-1,4	2,46	69,2	6,54
1,4-1,5	0,03	0,8	16,55
1,5-1,6	0,06	1,6	28,74
1,6-1,8	0,15	4,2	35,84
+1,8	0,86	24,2	87,76
Всего	3,56	100	27,86
Всего класс 0,5-1мм			
-1,4	1,68	72,6	6,2
1,4-1,5	0,04	0,4	16,78
1,5-1,6	0,05	1,3	29,3
1,6-1,8	0,09	3,7	39,62
+1,8	0,46	22	87,18
Всего	2,31	100	24,23
Всего класс 0-0,5мм			
-1,4	3,51	70	6,5
1,4-1,5	0,03	0,6	17,23
1,5-1,6	0,08	1,6	28,92
1,6-1,8	0,21	4,1	40,12
+1,8	1,19	23,7	85,1
Всего	5,01	100	26,93

Исследование фракционного состава питания сепаратора крупностью 13-50мм свидетельствуют о том, что породные фракции имеют высокую зольность 88-95%, их содержание примерно одинаковое во всех классах и находится в пределах 35-40%. Для классов 6-13мм и 0-6мм порода также высокозольная, содержание породных фракций максимально в классах 13-

25 и 6-13мм (34-38%), затем постепенно снижается при уменьшении крупности до 22%.

Таблица 1.13.

Фракционный анализ питания сепаратора крупностью 0-6мм и классов, входящих в его состав

Плотность фракций, т/м ³	Выход, %		Зольность, %
	к исходному	к классу	
1	2	3	4
Класс 6-13мм			
-1,4	2,49	60,5	4,1
1,4-1,5	0,04	0,9	10,24
1,5-1,6	0,09	2,1	21,15
1,6-1,8	0,14	3,3	30,08
+1,8	1,37	33,2	81,53
Всего	4,12	100	31,08
Класс 3-6мм			
-1,4	17,92	63,6	4,8
1,4-1,5	0,34	1,2	11,91
1,5-1,6	0,51	1,8	28,51
1,6-1,8	1,01	3,6	36,92
+1,8	8,39	29,8	85,64
Всего	28,17	100	30,56
Класс 1-3мм			
-1,4	19,50	64,9	5,07
1,4-1,5	0,33	1,1	13,28
1,5-1,6	0,60	2	28,02
1,6-1,8	1,02	3,4	37,06
+1,8	8,59	28,6	84,45

Окончание табл. 1.13

1	2	3	4
Всего	30,05	100	29,41
Класс 0,5-1мм			
-1,4	12,11	67,5	5,18
1,4-1,5	0,25	0,8	14,23
1,5-1,6	0,41	1,6	29,04
1,6-1,8	0,72	3,5	37,15
+1,8	5,30	26,6	81,74
Всего	18,79	100	28,64
Класс 0-0,5мм			
-1,4	12,49	66,2	4,85
1,4-1,5	0,21	1,1	13,41
1,5-1,6	0,36	1,9	28,07
1,6-1,8	0,68	3,6	33,02
+1,8	5,13	27,2	78,5
Всего	18,87	100	26,43

По результатам опробования продуктов и их фракционного анализа определены извлечения легких фракций в концентрат и построены кривые Тромпа для концентрата, что позволило определить значение показателя $E_{\text{рт}}$ при раздельном обогащении классов разной крупности.

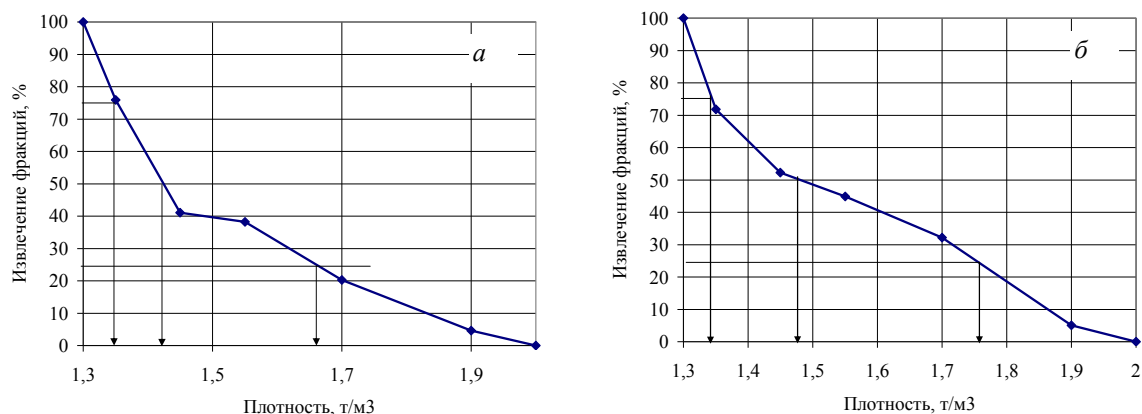


Рис. 1.34. Кривые Тромпа для концентрата сепарации крупностью 13-50мм и классов, входящих в его состав: *a* – 25-50мм, *б* – 13-25мм

Опробование продуктов сепарации показало, что класс 6-13мм на 85% ушел в систему пылеулавливания и был присажен к концентрату после этого. В результате обогащения класса 13-50мм получен концентрат зольностью около 8% в количестве 40% и низкозольные отходы (61%).

Низкая зольность отходов связана с недостаточным количеством мелочи в питании, что привело к потерям крупных легких концентратных фракций в отходах при параллельном засорении концентратных фракций более мелкой породой. При этом плотность разделения снижалась до 1,5-1,6т/м³.

Анализ полученных данных, представленных на рис. 1.35, позволяет прийти к заключению, что фактическая плотность разделения крупных классов при их обогащении на сепараторе при малом количестве мелочи (6-13мм) в питании, которое не превышало 4%, занижена. Это привело к недостаточной зольности отходов (68%) при том, что зольность породных фракции высокая по данным фракционного анализа. Количество промежуточных фракций не превышает 1%.

Параметр E_{pm} для классов 25-50 и 13-25мм гораздо выше, чем при обогащении материала с большим содержанием мелочи. В первом случае (при малом содержании мелочи) параметр E_{pm} составляет 150 и 200кг/м³, соответственно, а во втором – 50 и 80кг/м³, т.е. более чем вдвое меньше.

Для преодоления этих недостатков необходимо повышать динамический режим работы сепаратора. Последнее достигается увеличением частоты и амплитуды колебаний деки сепаратора, а также приводит повышению расхода воздуха, т.е. скорости перемещения несущей среды.

Таким образом, наличие мелких зерен в питании сепаратора оказывает благоприятное воздействие на состояние псевдооживленного слоя на подвижной деке, где и происходит сегрегация и разделение материала.

Кривые Тромпа для концентрата сепарации крупностью 6-13мм и классов, входящих в его состав, свидетельствуют о том, что частицы крупностью 13-25мм, находящиеся в составе класса 6-13мм, обогащаются более эффективно, чем в составе класса 13-50мм. При близкой зольности концентрата (7,4%) получены более зольные отходы -71,5%.

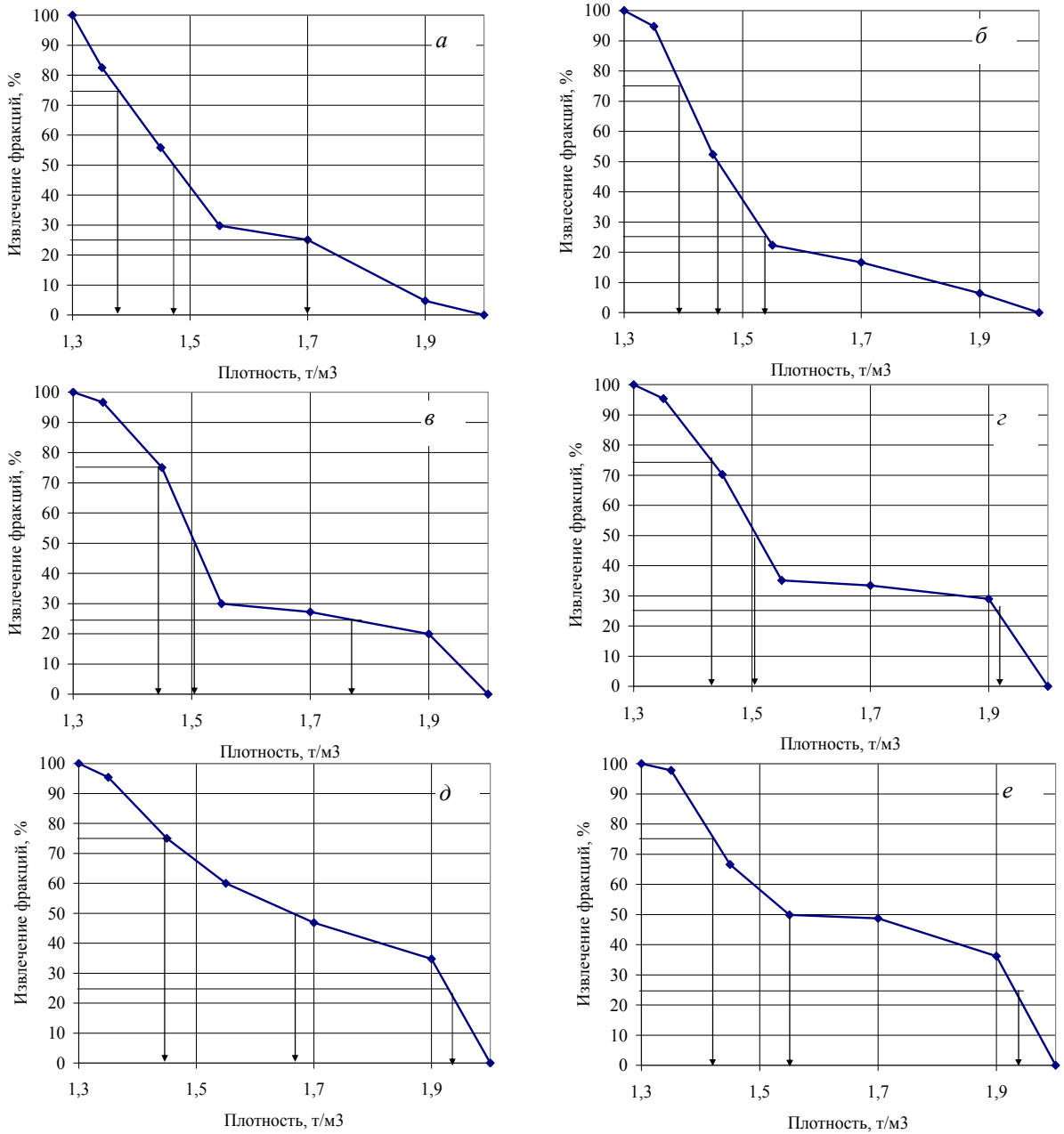


Рис. 1.35. Кривые Тромпа для концентрата сепарации крупностью 6-13мм и классов, входящих в его состав: а – 13-25мм, б – 6-13мм, в – 3-6мм, г – 1-3мм, д – 0,5-1мм, е – 0, -0,5мм

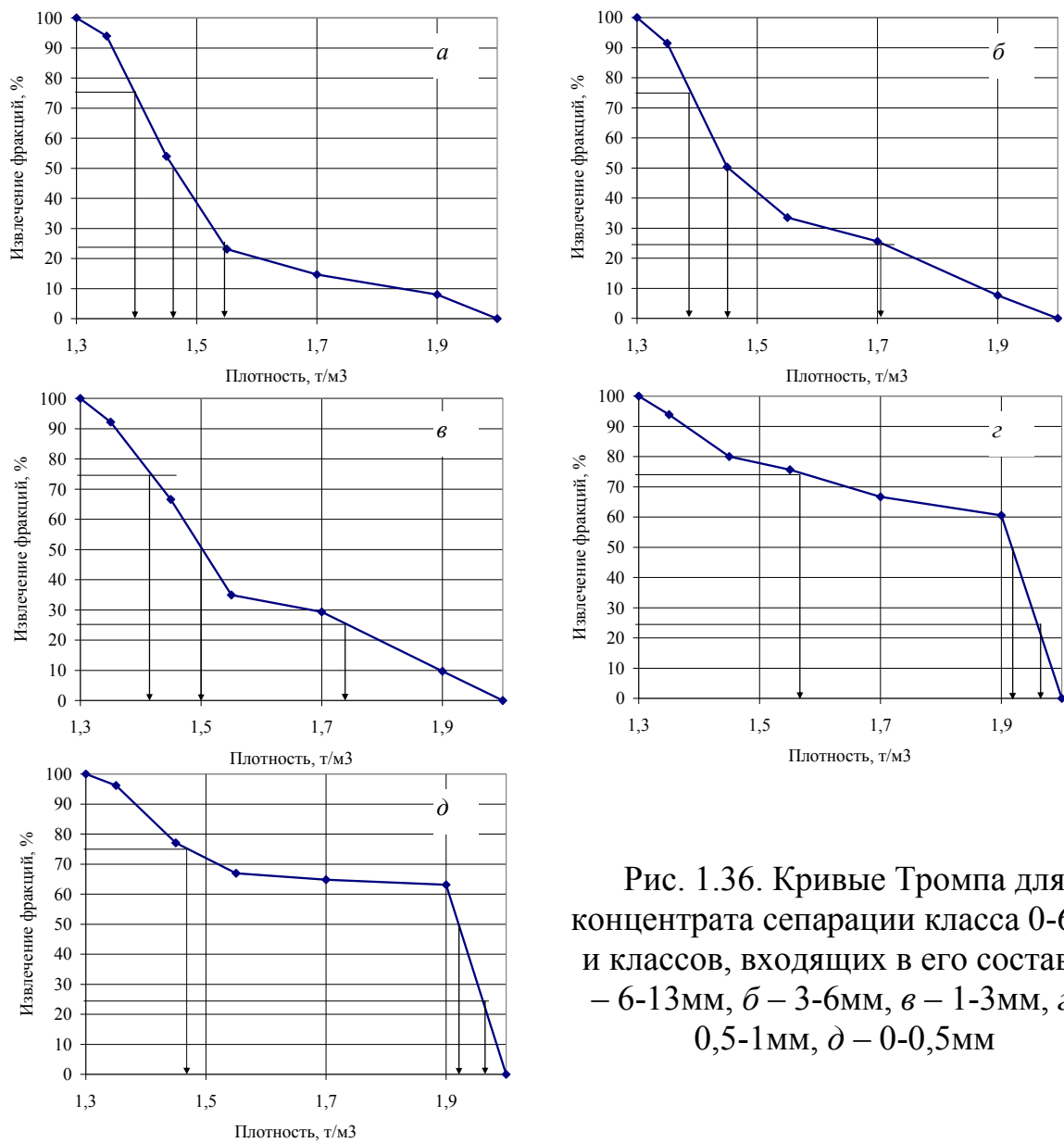


Рис. 1.36. Кривые Тромпа для концентрата сепарации класса 0-6мм и классов, входящих в его состав: а – 6-13мм, б – 3-6мм, в – 1-3мм, г – 0,5-1мм, д – 0-0,5мм

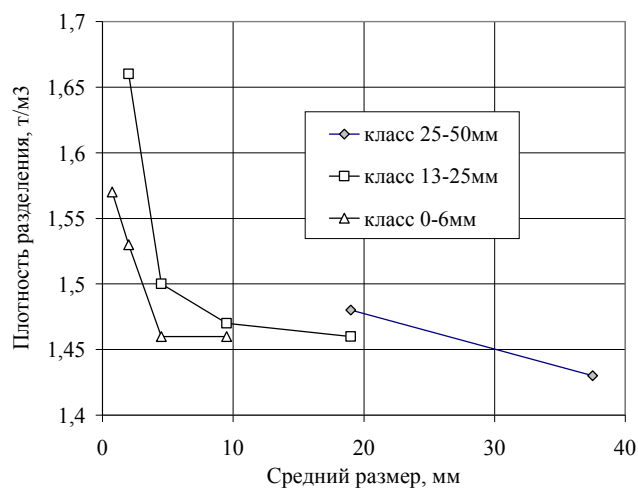


Рис. 1.37. Изменение фактической плотности разделения для различных классов крупности

Расчетное значение параметра E_{pm} составляет 170 и 240 кг/м³, соответственно, что так же ниже по сравнению с результатами, полученными при сепарации этих же классов в составе материала крупностью 13-50 мм.

При обогащении класса 0-6 мм отдельным потоком получено увеличение фактической плотности разделения для всех классов крупности, входящих в его состав, однако этот рост меньше, чем при сепарации класса 6-13 мм и составляет 1,47-1,57 т/м³ (рис. 1.36).

Параметр E_{pm} значительно ниже и имеет значение в пределах 70-160 кг/м³ для классов 6-13, 3-6 и 1-3 мм, как следует из данных рис. 1.37.

Для зависимости величины параметра E_{pm} от среднего размера частиц в классах получены регрессионные уравнения с высокой степенью аппроксимации.

Для класса 13-50 мм:

$$E_{pm} = -17,05 \ln(d) + 238,5 \quad R^2 = 0,8606. \quad (4.2)$$

Для класса 0-6 мм:

$$E_{pm} = -43,957 \ln(d) + 190,0 \quad R^2 = 0,9227. \quad (4.3)$$

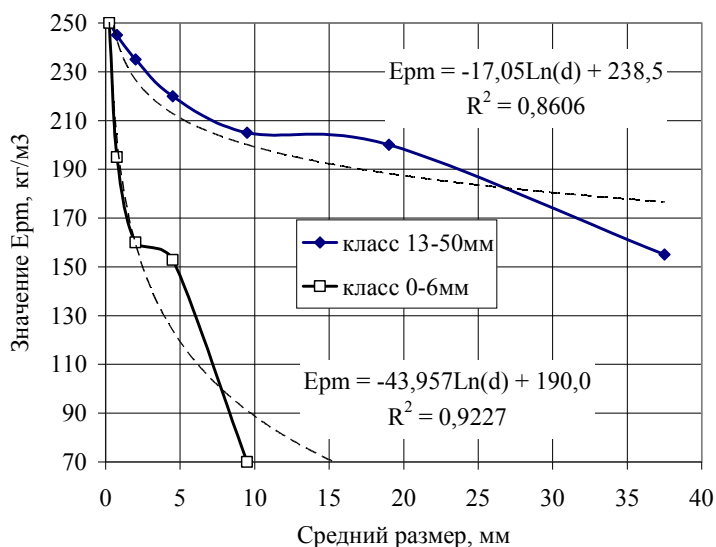


Рис. 1.38. Влияние средней крупности частиц на значение параметра E_{pm} при раздельном обогащении классов

При обогащении класса 0-6мм получен концентрат в количестве 71% к классу 0-6мм зольностью 13,7%, однако не удалось достичь высокой зольности отходов, которая не превысила 68%. Для повышения селективности разделения в этом случае необходимо регулировать динамический режим работы сепаратора.

Таким образом, наличие мелких классов в питании сепаратора оказывает значительное влияние на селективность и эффективность разделения.

Аналогичные исследования выполнены для рядовых углей марки А. Подготовительное грохочение позволяет получить крупный машинный класс 6-50мм и отсев 0-6мм. Крупный машинный класс обогащается в пневмовибрационном сепараторе, а отсев является конечным продуктом. Результаты исследования гранулометрического состава представлены в табл. 1.14, фракционного – в табл. 1.15.

Таблица 1.14

Гранулометрический состав углей класса 6-50мм

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
25-50	61,15	21,33
13-25	24,37	27,04
6-13	11,43	34,00
3-6	0,95	29,79
1-3	0,68	29,52
0,5-1	0,35	25,09
0-0,5	1,07	32,56
Всего	100	23,2

Анализ данных гранулометрического состава показывает, что количество класса 0-6мм в питании сепаратора составляет 3,05% с зольностью порядка 29%.

Таблица 1.15

Фракционный анализ питания сепаратора крупностью 6-50мм и классов, входящих в его состав

Плотность фракций, т/м ³	Выход, %		Зольность, %
	к исходному	к классу	
1	2	3	4
Класс 25-50мм			
-1,8	47,51	77,7	7,51
1,8-2,0	4,16	6,8	40,9
+2,0	9,48	15,5	82
Всего	61,15	100	21,33
Класс 13-25мм			
-1,8	17,03	69,9	7,9
1,8-2,0	1,73	7,1	39,1
+2,0	5,61	23	81,5
Всего	24,37	100	27,04
Класс 6-13мм			
-1,8	6,85	59,9	8,10
1,8-2,0	0,81	7,1	37,20
+2,0	3,77	33	80,32
Всего	11,43	100	34,00
Класс 3-6мм			
-1,8	0,61	64,5	8,00
1,8-2,0	0,06	6,8	36,40

Окончание табл. 1.15

1	2	3	4
+2,0	0,27	28,7	77,20
Всего	0,95	100	29,79
Класс 1-3мм			
-1,8	0,44	64,4	7,90
1,8-2,0	0,05	7,2	35,60
+2,0	0,19	28,4	77,00
Всего	0,68	100	29,52
Всего класс 0,5-1мм			
-1,8	0,25	71,3	8,00
1,8-2,0	0,02	6,6	33,20
+2,0	0,08	22,1	77,80
Всего	0,35	100	25,09
Всего класс 0-0,5мм			
-1,8	0,66	61,7	8,20
1,8-2,0	0,07	6,9	38,60
+2,0	0,34	31,4	79,10
Всего	1,07	100	32,56

Результаты исследования фракционного состава материала позволяют отметить высокую зольность породных фракций в классах 25-50, 13-25 и 6-13мм, количество которой постепенно снижается при снижении крупности классов от 10 до 4%. В более мелких классах, присутствующих в питании в незначительном количестве, зольность породных фракций снижается до 78% в среднем. Зольность легких фракций составляет около 8%, при снижении крупности их содержание в классах уменьшается с 47 в классе 25-50мм до 7% в классе 6-13мм.

Ниже на рис. 1.38 представлены кривые Тромпа для концентрата различных классов, входящих в состав питания, полученные по

результатам фракционных анализов продуктов пневматической сепарации, а на рис. 1.39 – влияние средней крупности частиц на величину среднего вероятного отклонения $E_{\text{рт}}$.

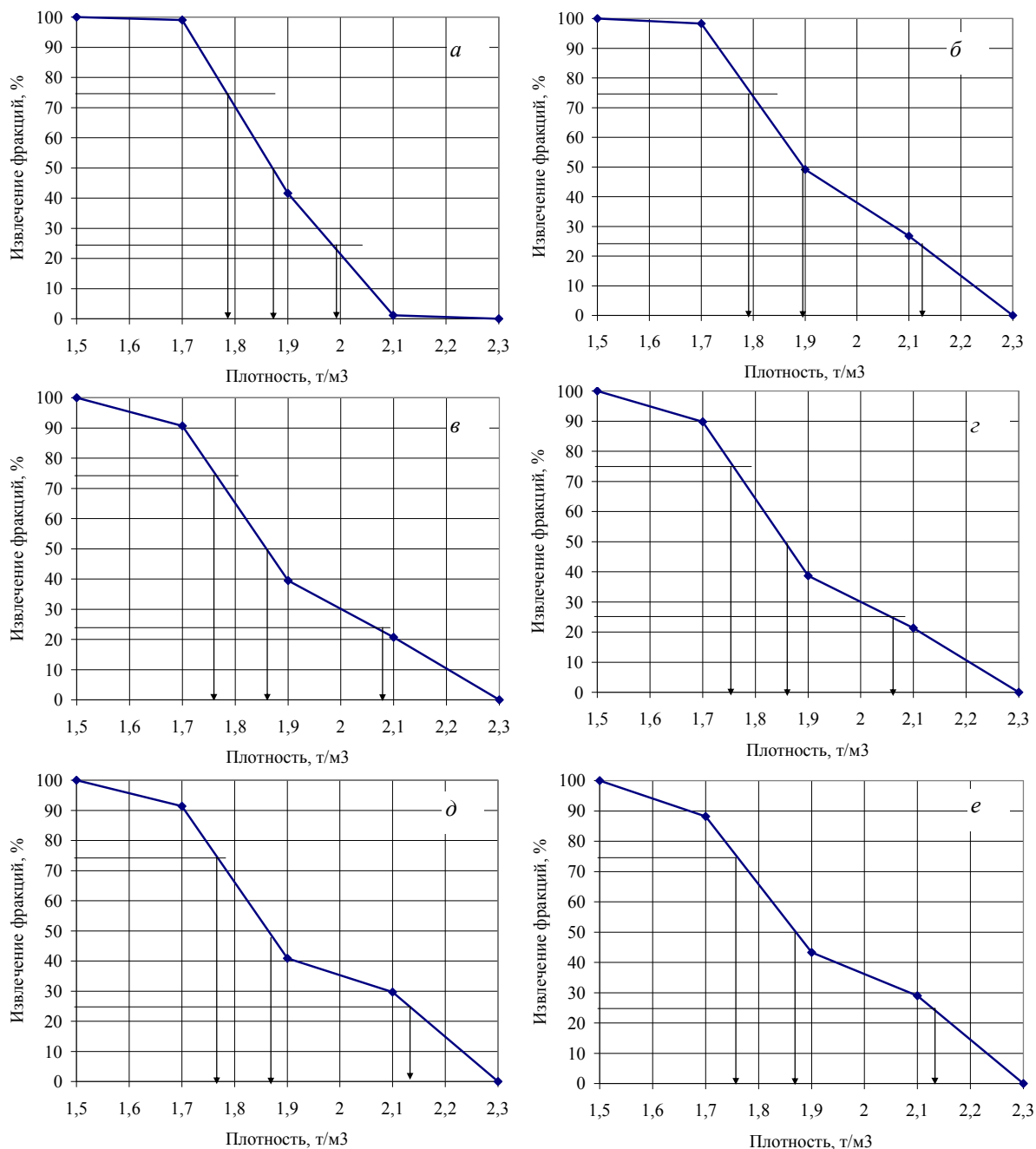


Рис. 1.39. Кривые Тромпа для концентрата сепарации класса 6-50мм для классов, входящих в его состав: а – 25-50мм, б – 13-25мм, в – 6-13мм, г – 3-6мм, д – 1-3мм, е – 0,5-1мм

Из данных рис. 1.38 следует вывод о том, что фактическая плотность разделения изменяется для всех классов, входящих в состав питания сепаратора в небольших пределах: от 1,85 до 1,89т/м³ и остается практически постоянной.

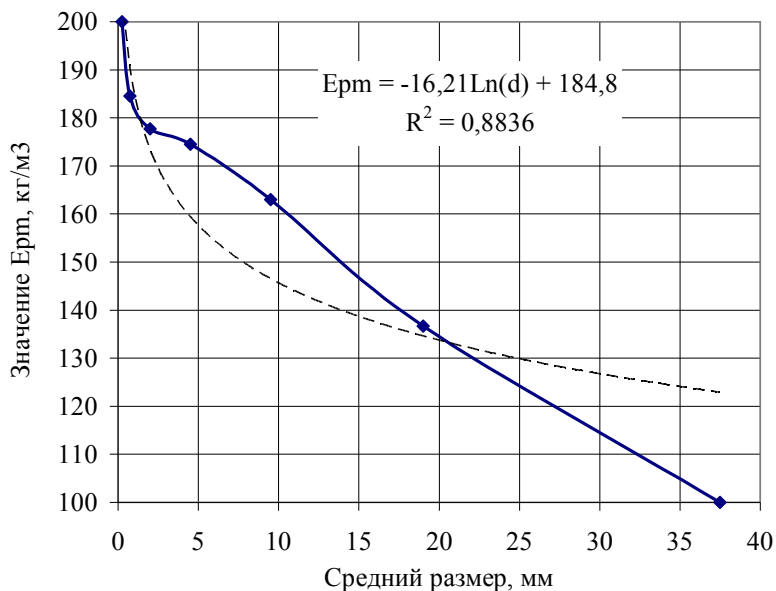


Рис. 1.39. Зависимость параметра Ерм от средней крупности частиц в классах при сепарации углей марки А

При сепарации антрацита с незначительным содержанием мелочи в питании сепаратора также отмечено повышение параметра Ерм от 100кг/м³ для класса 25-50мм до 170кг/м³ для класса 6-13мм, т.е. более чем в 1,5 раза.

Влияние среднего размера частиц в классах на величину параметра Ерм описывается с высокой степенью аппроксимации регрессионной логарифмической зависимостью:

$$E_{pm} = -16,21Ln(d) + 184,8 \quad R^2 = 0,8836. \quad (4.4)$$

Обогащение углей марки А на пневмовибрационном сепараторе СВП-5,5х1 позволило получить концентрат в количестве 75% с зольностью 7,6% при зольности отходов около 77%.

Далее для исследования была подготовлена искусственная смесь крупностью 0-50мм из материала марки Ж с содержанием класса 0-6мм 22%. Гранулометрический состав смеси приведен в табл. 1.16, а на рис. 1.40 и 1.41 изменение плотности разделения и параметра Ерп.

Таблица 1.16

Гранулометрический состав искусственной смеси крупностью 0-50мм

Классы. мм	Выход, %	Зольность, %
25-50	26,3	79,3
13-25	28,2	55,6
6-13	24,5	32,3
3-6	14,2	20,5
1-3	4,1	19,2
0,5-1	1,5	16,9
0-0,5	1,2	15,5
Всего	100,00	48,6

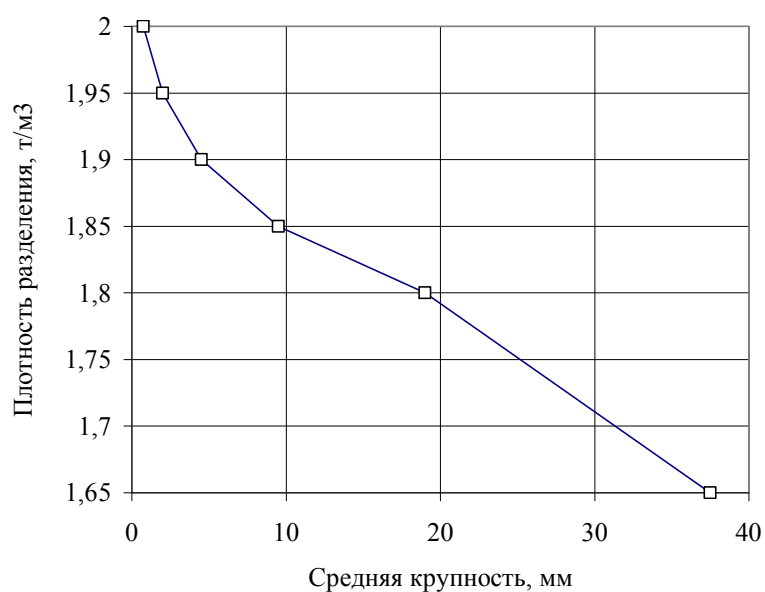


Рис. 1.40. Фактическая плотность разделения для различных классов крупности

При обогащении этой смеси в том же динамическом режиме работы сепаратора был получен концентрат зольностью 11,0% в количестве 67,5% при зольности отходов 78,8%. Эти результаты свидетельствуют о более высокой селективности разделения при содержании класса 0-6мм 21% и класса 0-3мм не превышающем 8%. Класс 0-3мм в количестве 5-8% способствует стабильному удержанию псевдоплотности разделения, что обеспечивает возможность достичь большей плотности разделения для крупных классов – до 1900-1950 кг/м³ (сравн. рис. 1.35, 1.37 и 1.38). Именно это и позволило получить высокозольные отходы.

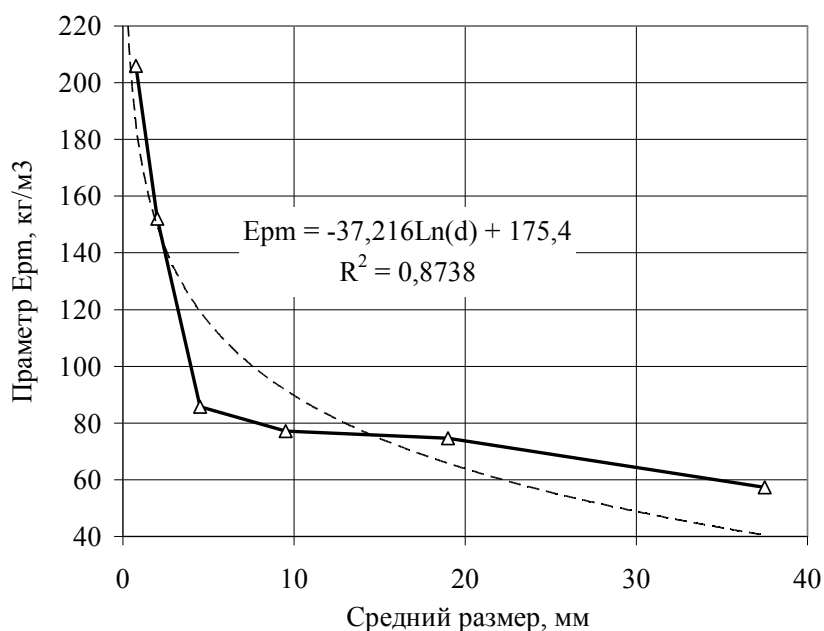


Рис. 1.41. Связь параметра Ерм с крупностью частиц при содержании класса 0-6мм в питании сепаратора, равном 21%

Изменение параметра Ерм в для различных классов крупности в этом случае также подчиняется регрессионной логарифмической зависимости вида:

$$E_{pm} = -37,22Ln(d) + 175,4 \quad R^2 = 0,8738. \quad (4.5)$$

Таким образом установлено, что при высоком содержании класса 0-6мм в питании – 30-60% - при обогащении класса 0-50(75)мм зольность отходов снижается, несмотря на высокие ее значения для породных

фракций в различных классах крупности. Это связано с низкой разрыхленностью постели (псевдооживленного слоя) на деке сепаратора, что влечет за собой ее уплотнение и нарушает процесс сепарации.

При малом содержании класса 0-6мм в питании повышаются потери с отходами крупных легких концентратных зерен и засорение концентрата мелкими тяжелыми породными зернами, что снижает селективность разделения.

Для обеспечения эффективной работы пневмовибрационного сепаратора веерного типа с бигармоническим режимом колебаний на различном сырье необходимо обеспечивать количество класса 0-6мм в питании 0-50(75)мм в пределах 20-25%.

Наличие в питании аппарата класса 0-3мм в количестве 5-8% способствует стабильному поддержанию псевдоплотности разделения. При содержании указанных классов в заданных диапазонах возможно достичь большей плотности разделения – до 1900-1950 кг/м³ (рис. 1.40) С уменьшением содержания этих классов плотность разделения крупных зерен снижается до 1500-1600 кг/м³ (рис. 1.32, 1.37).

4.3 Сравнительные испытания вибрационных пневматических сепараторов разного типа

В настоящее время на территории СНГ в ряде случаев применяются пневматические сепараторы типа FGX (Тангшанское отделение углеобогащения Китайского угольного исследовательского института CCRI) [56, 57, 107]. Сепаратор FGX изготовлен в подвесном исполнении, в качестве приводного механизма применяется спаренный блок мотор-вибраторов. В отличие от сепаратора СВП, в сепараторе типа FGX имеется возможность создания только синусоидального вибрационного возбуждения деки, а технологический воздух подается под деку без пульсирующих возмущений.

Технические параметры сепаратора FGX-6 приведены в табл. 1.17.

Таблица 1.17

Техническая характеристика сепаратора FGX-6 Китайского производства

Наименование параметра и размерность	Величина
1. Рабочая площадь разделения, м ²	6,0
2. Ширина деки, м	1,4
3 Производительность по исходному материалу, т/ч,	42-60
4. Крупность обогащаемого материала, мм	до 80
5. Поверхностная влага материала, %	до 8
6. Насыпная плотность материала, т/м ³	до 2,8
7. Погрешность разделения (при максимальной производительности)	0,25
8. Диапазон регулируемой частоты качания деки, с ⁻¹	16
9. Габаритные размеры, мм	
длина	12000
ширина	10000
высота	7800
10. Масса, кг	9200
11. Установленная мощность, кВт, не более	20

В январе-марте 2010 года были проведены независимые технологические испытания сепараторов СВП-5,5x1 и FGX-6. Достоверность результатов достигалась применением операций подготовки сырья, включающих классификацию исходного материала по классу крупности 50мм и выделение сухого отсева крупностью 0-8мм.

В ходе испытаний контролировалась влага сырья и производительность сепараторов по исходному материалу, а также показатели продуктов обогащения.

Сравнение показателей сепараторов выполнялось при выделении двух продуктов (концентрат и отходы) и определялось по извлечению горючей массы в концентрат и минеральной массы в отходы по эффективности обогащения E (формула Ханкока-Луйкена) и по селективности разделения S_G (формула Годэна).

В связи с тем, что эффективность и селективность разделения являются взаимно противоположными показателями, их использование дает наиболее объективную оценку результатов испытания.

Эффективность сепарации по Ханкоку-Луйкену:

$$E = 100 \cdot \gamma_K (A_{\text{П}} - A_K) / A_{\text{П}} (100 - A_{\text{П}}), \quad (4.6)$$

где γ_K - выход концентрата, %;

$A_{\text{П}}, A_K, A_O$ - зольность питания, концентрата и отходов, соответственно, %.

Селективность разделения по Годэну:

$$S_G = ((100 - A_K) / A_K) \cdot (A_O / (100 - A_O)). \quad (4.7)$$

Исходные материалы, подвергавшиеся обогащению, имели достаточно близкие показатели, а влажность питания СВП-5,5x1 превышала влажность питания FGX-6 на 2,4%, т.е. сепаратор СВП-5,5x1 работал в более тяжелых условиях. Количество мелочи в питании СВП-5,5x1 превышало количество мелочи питания FGX-6, т.к. при данной влажности мелочь не могла быть полностью удалена из питания.

На сепараторе СВП-5,5x1 предусматривалась пульсирующая подача воздуха под деку в зоны разделения, что способствует повышению эффективности сепарации. При этом динамическая и кинематическая схемы СВП-5,5x1 обеспечивают более высокое разрыхление псевдоожиженного слоя, который образуется на деке («постели»), за счет

Эффектив- ность E, %						43,22	
Селектив- ность S _G , %						6,54	
СВП-5,5x1, испытания 11.03.2010							
Концентрат	15,9	19,8	-	30,7	19,8	69,8	73,1
Порода	36,8	73,1	-				
Питание	52,7	57,0	-				
Отсев	47,3	35,8	-				
Всего	100	47,0	8,9				
Извлечение горючей массы, %		56,3					
Извлечение минерльных фракций, %				89,5			
Эффектив- ность E, %						46,83	
Селектив- ность S _G , %						11,01	

Возможность перенастройки параметров СВП-5,5x1 в довольно широких пределах позволяет оперативно управлять процессом разделения в зависимости от свойств поступающего сырья.

4.4 Выводы по разделу 4

Выполнение исследовательских работ по установлению влияния ряда параметров на показатели обогащения рядового угля различных марок, произведенные на работающей промышленной установке СВП-5,5x1, в конструкции которой использованы теоретические гипотезы и расчеты автора (раздел 2 работы), позволили прийти к следующим основным выводам.

1. Пульсирующая подача воздуха под перфорированную деку с рифлями способствует повышению разрыхленности псевдооживленного слоя (постели), что облегчает регулирование аппарата в зависимости от свойств поступающего материала и требований к качеству конечных продуктов.

2. Данные фракционного анализа различных классов крупности, входящих в состав питания сепаратора и продуктов показали, что при снижении крупности материала кривая Тромпа для концентрата все больше отклоняется от вертикали. При этом увеличивается количество мигрирующих фракций и соответственно растет параметр $E_{рт}$ при одновременном повышении значения фактической плотности разделения.

3. Фактическая плотность разделения наиболее мелких классов (менее 6мм) повышается до 1,9-2т/м³. Это свидетельствует о том, что разделение этого материала имеет минимальную эффективность и практически не происходит.

4. Высокое содержание класса 0-6мм (более 30%) приводит к уплотнению псевдооживленного слоя на деке сепаратора, что затрудняет процесс поддержания его разрыхленности в необходимых пределах. При этом снижается плотность разделения крупных классов, содержащих высокозольную породу, что приводит к снижению эффективности разделения и потерям горючей массы с низкозольными отходами сепарации.

5. Для параметра $E_{рт}$ получены логарифмические регрессионные зависимости от среднего размера частиц d с высокой степенью аппроксимации ($R^2 = 0,86-0,97$).

6. При высоком содержании в питании сепаратора класса 0-6мм (64%) среднее вероятное отклонение $E_{рт}$ растет от 50кг/м³ для крупных классов (25-50мм) до 100кг/м³ для класса 6-13мм и далее до 200-280кг/м³ для материала крупностью менее 6мм.

7. При низком содержании в питании сепаратора класса 0-6мм (9%) среднее вероятное отклонение $E_{рт}$ для крупных классов (6-50мм) выше в

1,5-2 раза, чем при высоком содержании класса 0-6мм и составляет 150-200кг/м³. Для мелких классов значение параметра Ерм также остается высоким.

8. Обогащение искусственной смеси в сепараторе позволило выявить оптимальное значение содержания класса 0-6мм в питании, которое находится в пределах 20-25%. При этом для крупных классов 25-50 и 13-25мм и даже для класса 6-13мм параметр Ерм изменяется в пределах 60-80кг/м³ и далее растет до 150-220кг/м³ для более мелкого материала.

Таким образом, наличие мелких зерен в питании сепаратора оказывает благоприятное воздействие на состояние псевдооживленного слоя на подвижной деке, где и происходит сегрегация и разделение материала.

9. При малом содержании класса 0-6мм в питании повышаются потери с отходами крупных легких концентратных зерен и происходит засорение концентрата мелкими тяжелыми породными зернами, что снижает селективность разделения.

Для обеспечения эффективной работы пневмовибрационного сепаратора веерного типа с бигармоническим режимом колебаний на различном сырье необходимо обеспечивать количество класса 0-6мм в питании 0-50(75)мм в пределах 20-25%.

10. Наличие в питании аппарата класса 0-3мм в количестве 5-8% способствует стабильному поддержанию псевдоплотности разделения. При содержании указанных классов в заданных диапазонах возможно достичь большей плотности разделения – до 1900-1950 кг/м³. С уменьшением содержания этих классов плотность разделения крупных зерен снижается до 1500-1600 кг/м³, что ведет к потерям горючей массы с низкосолевыми отходами.

11. Сравнительные испытания пневматических сепараторов разного типа (FGX-6 и СВП-5,5х1) показали преимущество веерного сепаратора с бигармоническим приводом СВП-5,5х1. Эта конструкция обеспечивает

более высокие технологические показатели при более трудных исходных условиях сепарации. Динамическая и кинематическая схемы СВП-5,5х1, основанные на теоретических разработках (раздел 2) обеспечивают более высокое разрыхление псевдооживленного слоя, который образуется на деке, за счет дополнительных вертикальных составляющих колебаний, что способствует улучшению селективности разделения легких и тяжелых фракций.

ЧАСТЬ II

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА С ВОСХОДЯЩИМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЛОМА КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Раздел 1 Разделение многокомпонентного лома кабельной продукции

Обеспечение различных отраслей промышленности Украины цветными и драгоценными металлами в немалой степени определяется эффективным использованием вторичного сырья. Все больше удельный вес в переработке занимает сложный лом отходов кабельно-проводниковой продукции, который без предварительной подготовки не может быть использован на стадии вторичной утилизации и возвращения его в качестве сырья.

Расширение производства бытовой электронной техники и технический прогресс во многих отраслях промышленности приводит к увеличению количества разнообразных отходов, представляющих собой сложные агрегаты различных материалов и металлов, проводников и диэлектриков, сплавов, которые содержат драгоценные и цветные металлы. Вместе с тем в горнодобывающей отрасли наблюдается ухудшение качественных показателей минерального сырья, что связано с первоначальной добычей и переработкой более богатых рудных запасов. Отходы кабельно-проводниковой продукции во многих случаях содержат относительно больше цветных металлов, чем первичные руды. Извлечение ценных компонентов из лома цветных металлов требует гораздо меньших затрат по сравнению с разведкой и разработкой новых месторождений. Поэтому использование вторичного сырья приобретает особое значение в современных условиях.

Для разделения компонентов отходов применяются различные технологии обогащения, среди которых гравитационные процессы и, в частности, вибрационно-пневматическая сепарация, которая имеет наиболее низкую затратную часть при необходимых высоких показателях извлечения ценных компонентов. В процессах разделения происходит взаимодействие разных фаз между собой. При этом свойства такого сложного по составу объекта как лом цветных и драгоценных металлов, оказывающие определяющее влияние на технологический режим его разделения, недостаточно изучены.

Таким образом, обоснование технологических режимов разделения лома кабельно-проводниковой продукции при пневмовибрационной сепарации является важной научно-практической задачей, позволяющей использовать извлеченные металлы как сырье для вторичной цветной металлургии.

Масштабы производства цветных металлов не совпадают с их распространенностью в природе, поэтому использование вторичного сырья приобретает особое значение [7, 8]. В мировом производстве металлов использование вторичного сырья, содержащего благородные и цветные металлы, постоянно растет. По оценкам экспертов Соединенные Штаты Америки и государства Европы производят около 20% золота и порядка 30% серебра из вторичного сырья [9].

Использование лома цветных металлов во вторичной цветной металлургии, которая производит сбор, подготовку и переработку вторичного сырья с целью извлечения из него ценных компонентов [10-14], способствует экономии ресурсов и охране окружающей среды [6, 15].

Состав лома колеблется в широких пределах, свойства частиц недостаточно изучены, что создает определенные трудности при разработке технологии его сепарации [16].

Во многих случаях отходы изделий из благородных металлов содержат в себе относительно больше ценных компонентов, чем руды, из

которых добываются первичное золото, серебро, платина [17]. Поэтому отходы выгодно перерабатывать, так как использование ценных компонентов из них все же рентабельно вследствие высокой стоимости этих компонентов [18, 19], а энергетические затраты при разработке первичных рудных месторождений значительно превышают затраты на получение цветных и благородных металлов из отходов [20], часто сдаваемых по низким расценкам [21].

В соответствии с ДСТУ 3211-95 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов» отходы, содержащие цветные металлы, разделяются на ряд классов. По этой классификации многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции относится к классу Ж «отходы кабеля и проводников тока». Именно этот материал и является объектом исследований в данной работе.

1.1. Анализ технологий обогащения лома из отходов, содержащих цветные металлы

Различные методы сепарации могут использоваться при обработке отходов, содержащих разные металлы, в частности специальные и магнитные методы разделения [18, 22-25].

В мировой практике для переработки лома кабельной и электронной продукции широко применяются гравитационные методы разделения, имеющие наиболее низкие затраты на обогащение [26].

Гравитационное разделение как процесс, основанный на разнице в скоростях перемещения частиц различной формы, крупности и веса в разделительной среде, находит применение и для такого сложного с точки зрения сепарации объекта как отходы бытовой и радиоэлектронной промышленности. В качестве разделительной среды используются тяжелые жидкости, суспензии, вода и воздух [27, 28].

Во многих странах Европы для переработки кабельного лома разработаны различные технологии. Например, в Бельгии используется технология с разделением дробленого кабельного лома в тяжелых средах (компания Jorge & C^o). В Чехии, Франции, Германии применяются аналогичные инженерные решения при переработке сложного лома.

Тяжелосредняя сепарация широко распространена и в США как процесс разделения многокомпонентного лома в автомобильной промышленности. После дробления автомобильный скрап обрабатывается в тяжелых средах с извлечением неметаллических материалов, сплавов на основе алюминия и тяжелых цветных металлов [29].

По аналогичным технологиям перерабатывается и разделяется аккумуляторный лом в Италии и Германии (фирма Stolberger). Фирмой Tonolli (Италия) применяется двухстадиальная тяжелосредняя сепарация дробленых частей отработанных свинцовых кислотных аккумуляторов для разделения и получения металлического и сульфатнокислого свинца [30].

Недостатком технологии тяжелосредней сепарации является необходимость в отмывке и регенерации суспензии, что требует дополнительных капитальных и эксплуатационных вложений.

Во времена СССР институтом ВНИПИвторцвет разработана технология сепарации аккумуляторного лома в тяжелосредних циклонах, которая без особых изменений применяется до сих пор. В этой технологии в качестве тяжелой разделительной среды используется суспензия, образующаяся в самом процессе из шламовых свинецсодержащих продуктов. Однако, эта технология также имеет существенные недостатки, которые выражаются в необходимости установки оборудования и соединяющих его трактов со специальными покрытиями, устойчивыми к воздействию агрессивных сред [31].

Для того, чтобы упростить технологические схемы переработки, исключив операции отделения и регенерации суспензии, рядом зарубежных предпринимателей осуществлен переход на гидравлическую

сепарацию вторичного сырья перед его металлургическим переделом. Основной операцией разделения является в ряде случаев гравитационная сепарация в гидроциклонах (фирма PXD-Engineering, Германия) после предварительного дробления и классификации лома. Эти же задачи решаются некоторыми предприятиями с помощью гидравлических гравитационных сепараторов с восходящими потоками воды. При чем для получения продуктов с заданным качеством часто возникает необходимость в нескольких последовательных стадиях гидравлической классификации [32].

Недостатком такого технического решения является необходимость предварительной классификации материала на узкие классы крупности. Кроме того, разветвленная технологическая схема с использованием воды в качестве разделительной среды требует дальнейшей технологии осветления воды и замыкания производственного цикла по воде, что усложняет водно-шламовую систему.

В институте ДонНИПИЦМ (Украина) проводились исследования по разделению лома цветных металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем, в которых принимал участие и автор данной работы. Были получены удовлетворительные результаты сепарации [33, 34]. Недостатком данной технологии также является необходимость применения узкой классификации материала и использование воды в качестве разделительной среды.

Таким образом, приведенный выше анализ свидетельствует о том, что технологические схемы, включающие гравитационные процессы с суспензиями или технической водой в качестве рабочей среды для разделения, могут иметь разное аппаратное оснащение, но требуют развитой водно-шламовой системы, что не всегда является приемлемым. Следует также отметить, что такие методы обогащения требуют значительных количеств воды для их реализации. В современных условиях напряженного водного баланса большинства промышленных регионов

Украины возникает необходимость согласования проектных решений по переработке вторичного сырья с водопотреблением других видов производства [35].

Вторичное сырье имеет ряд специфических особенностей, которые создают определенные ограничения в применении той или иной технологии сепарации компонентов. К таким особенностям следует отнести с одной стороны небольшие мощности перерабатывающих лом предприятий в условиях отечественного производства, а с другой – требования металлургического передела, которые ограничивают состав и влажность продуктов, являющихся исходным сырьем для переплавки [36]. Для выполнения этих требований необходимо вводить дорогостоящие операции термического обезвоживания. Кроме того, металлические концентраты, содержащие частицы неправильной формы после подготовительного дробления, имеют высокую абразивность, склонны к окислению при повышении температуры в сушильной установке. Указанные особенности вызывают необходимость применения специальных способов сушки или усложненного сушильного оборудования, что также удорожает процессы подготовки вторичного сырья к переделу [37].

Перечисленные выше особенности использования вторичного сырья для получения дополнительных количеств цветных металлов определяют дальнейшие направления поисков технологии их первичной подготовки и сепарации, имеющей невысокие энергетические, капитальные и эксплуатационные затраты.

Появление способов сухого гравитационного разделения, где в качестве разделительной среды используется воздух, обусловлено дефицитом воды в районе расположения и разработки месторождения полезного ископаемого. Поскольку отходы, содержащие лом цветных металлов, в больших количествах концентрируются в местах сосредоточения высокопроизводительных отраслей промышленности, то и

напряженный водный баланс, как правило, присутствует именно в таких регионах.

Альтернативой методам сепарации с разделительной средой на базе воды может быть воздушная сепарация, широко применяемая как метод разделения сыпучих материалов, частицы которых имеют различную форму, плотность, коэффициент трения. Наибольшее распространение эта технология нашла в сельскохозяйственной отрасли, но применяется и в других сферах, в том числе и для обогащения в рудной и углеобогащительной практике [38-46].

Самым простым способом сухого гравитационного обогащения является метод, когда материал разделяется путем пересыпания из одной емкости в другую и направление его движения перпендикулярно по отношению к направлению движения струи воздуха. При этом емкости располагаются таким образом, что наиболее легкие частицы уносятся воздушным потоком за край приемного сосуда, а более тяжелые направляются в приемник благодаря перемещению по другой траектории [47].

Первоначально сухие методы гравитационного разделения появились для отделения зерна от примесей. Затем следующим применением для такого метода сепарации стало обогащение россыпей, где также использовалась разница в траектории перемещения частиц разной крупности, формы и плотности в специально создаваемом потоке воздуха. В ряде стран (Австрия, США, Нигерия, ЮАР) обогащение песков таким способом производилось на пневматических столах или грохотах [48].

Аналогичный принцип с несколько иным аппаратным оснащением (наклонное сито с нижней подачей воздуха, перфорированный качающийся стол с рифлями, воздушно-флотационный стол с возвратно-поступательным перемещением и др.) применяется для разделения

золотосодержащих песков, вольфрамсодержащих продуктов, кварца, сортировки асбеста и др. [49, 50].

Воздушная сепарация обеспечивает довольно высокие значения эффективности разделения при узкой шкале классификации исходного питания. Необходимость классификации материала на узкие классы вызвана особенностями процесса разделения, т. к. в аппарате должен создаваться равномерный слой постели из разделяемого сырья. Известны также способы воздушной сепарации с созданием искусственной постели из других материалов, и в частности песка. В сепараторе создается искусственная постель, имеющая вид аэросуспензии, которая образуется из песка при подаче воздуха под перфорированную поверхность емкости с песком [51].

В литературе указываются способы обогащения бурых углей в пневматических сепараторах и отсадочных машинах. При этом сепараторы работают по принципу качающихся перфорированных столов с рифлеными деками. Пневматические отсадочные машины имеют неподвижные рабочие поверхности и искусственную постель. По аналогии с водными отсадочными машинами, под постель подается пульсирующий с определенной частотой поток воздуха, расслаивающий постель. Из-за недостаточно высокой эффективности разделения сырья и несоответствия продуктов разделения требованиям потребителей эти аппараты не получили широкого распространения в отечественной практике [52].

Воздушная сепарация широко использовалась при обогащении бурых и каменных углей (коксуемых и энергетических) в регионах с малой обеспеченностью гидроресурсами. К таким районам на территории нынешнего СНГ относятся Северный и Южный Урал, Дальний Восток, Кузбасс, Воркутинский бассейн, Средняя Азия [53-55]. Имеются сведения по переработке горной массы при добыче углей с помощью пневмосепараторов [56-59].

В зарубежном опыте применения воздушной сепарации существует несколько наиболее широко применяемых разработок. Так, фирмой Dryflo разработана модель сепаратора с кипящим слоем, который обеспечивает высокую эффективность разделения. Особенностью конструкции является сужение разгрузочной части сепаратора. При работе установки по длине желоба прямоугольной формы происходит псевдооживление слоя материала. Попадая в сужающуюся часть, псевдооживленный слой сжимается бортами желоба, и в нем формируются хорошо выраженные слои с повышенной плотностью, что позволяет легко отделять их друг от друга ножевым разделительным устройством [60].

В Польше длительное время проводились исследования воздушной сепарации различных материалов в псевдооживленном слое, на базе которых был создан сепаратор с днищем из полос переменной воздухопроницаемости. Такая конструкция обеспечивает переменное состояние псевдооживленного слоя по длине сепаратора. Конструктивные решения расширили технологическую возможность повышения эффективности разделения питания с более широкой шкалой классификации [61].

Из изложенного выше вытекает, что основные направления изысканий и развития процессов пневматической сепарации связаны с применением псевдооживленного слоя материала в рабочей зоне сепаратора [62, 63].

Исследования, направленные на совершенствование этого метода, имеют целью повышение эффективности разделения сыпучих материалов и создание новых конструктивных решений для используемых машин, позволяющих получать концентраты необходимого качества.

Компанией USI Engineering разработан комплекс для пневматической сепарации дробленых проводников тока, в котором для первой стадии разделения применяется аппарат воздушно-проходного типа, а во второй – сепаратор кипящего слоя. В первой стадии отделяются

наиболее мелкие частицы изоляции, а во второй – кусочки изоляции и токонесущих металлических жил. В качестве разделительной среды используется аэросуспензия, содержащая железный порошок, псевдооживление которой достигается подачей воздуха. Необходимая эффективность разделения обеспечивается многократным измельчением лома и узкой шкалой его классификации [18].

Аналогично работает и технология фирмы Kamberland (США), которая имеет те же недостатки – необходимость узкой шкалы классификации и переизмельчение материала.

Технология, разработанная японской фирмой Horai Iron Works Co, предусматривает комбинированную вибросепарацию дробленых отходов кабеля, где сочетается разделение в потоке воздуха и в псевдооживленном слое [64].

В ходе исследований было установлено, что началом флюидизации является момент, когда частицы постели начинают приходить в движение. Минимальный поток воздуха, необходимый для перехода частиц в псевдооживленное состояние, зависит от крупности частиц и их веса, а также от вязкости газового потока. В работе [63] приводится эмпирическая зависимость для определения минимального газового потока, необходимого для флюидизации, имеющая следующий вид:

$$U = 18 d_s^{1.82} [\delta_a (\delta_s - \delta_a)]^{0.94} \mu^{-0.88}, \quad (2.1)$$

где U – минимальный газовый поток через единицу сечения постели, кг/мин m^2 , d_s - диаметр частиц твердой фазы, м; δ_a , δ_s - плотность газа и твердой фазы, соответственно, кг/м³; μ - вязкость газа, Н с/м².

Между плотностью фаз и кажущейся плотностью постели также установлена эмпирическая зависимость, справедливая для момента начала флюидизации постели частиц:

$$\delta_{as} = (1 - \varepsilon) \delta_s + \varepsilon \delta_a. \quad (2.2)$$

Здесь δ_{as} - кажущаяся плотность постели частиц, кг/м³; ε - пустотность (пористость) постели, %.

В свою очередь пористость постели связана с разрыхленностью слоя прямо пропорциональной зависимостью.

В работе [62] приведены результаты исследований параметров движения газового потока и указывается, что при увеличении скорости ламинарный режим его движения переходит в турбулентный, что отрицательно сказывается на флюидизации постели и нарушает процесс сепарации.

Исследованию взаимосвязи параметров флюидизации и разрыхленности постели посвящен ряд работ зарубежных авторов при разделении различных минералов, в том числе угля [43, 44, 62]. Анализ этих публикаций позволил сделать вывод о необходимости определения оптимальных значений разрыхленности постели. При низких значениях разрыхленности флюидизация не происходит, а при высоких, которые имеют место при увеличении газового потока, возникают каналы в объеме постели и флюидизация нарушается.

В последние годы появились оригинальные конструкции сепараторов зигзагообразной формы (фирма Alpine, сепаратор Multiplex). В этих сепараторах выполняется несколько последовательных перечисток легкой фракции и предусмотрено додрабление материала для его полного раскрытия перед каждой стадией обработки. Процесс является дорогостоящим, но обеспечивает высокое содержание металла в концентрате [47].

Общим недостатком перечисленных выше методов является необходимость использования узкой шкалы классификации и додрабления материала. Кроме того, установки рассчитаны на

переработку кабеля и проводов только в резиновой и пластиковой изоляции, что ограничивает область их применения.

В практике известны технологии разделения лома цветных металлов с помощью пневматической сепарации [65-67]. Следует отметить, что процесс внедрялся на основе эмпирического подхода - крупность исходного питания не контролировалась, шкала классификации не была обоснована, аэродинамические характеристики сырья не были исследованы, отсутствовала методика выбора рациональных параметров процесса.

Во всех описанных в литературе способах разделения применялись противоточные сепараторы, в которых имеется встречное движение разделительной среды и потока материала. Недостатком этих аппаратов является необходимость обеспечения перепада высот для разгрузки легкой и тяжелой фракций [68, 69].

Указанного недостатка лишен поперечно-проточный сепаратор, в котором вектор скорости воздушного потока направлен под углом 90^0 к направлению действия гравитационных сил. Однако, такое решение вызвано исключительно конструктивными соображениями, без определения общих закономерностей воздушной сепарации вторичного сырья [70].

Для повышения эффективности процесса сепарации многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции следует изучить распределение частиц по крупности при использовании дробилок разного типа, а также аэродинамические характеристики частиц и влияние иных технологических параметров на показатели разделения.

Исследования процессов, происходящих при воздушной сепарации, выполненные в отечественной и зарубежной практике, свидетельствуют о том, что одним из определяющих результаты разделения параметров является разрыхленность материала в рабочем пространстве сепаратора, которая определяет взаимодействие частиц при разделении. Тем не менее,

до настоящего времени механизм взаимодействия различных материалов в ходе воздушной сепарации изучен не достаточно полно, особенно на микроуровне.

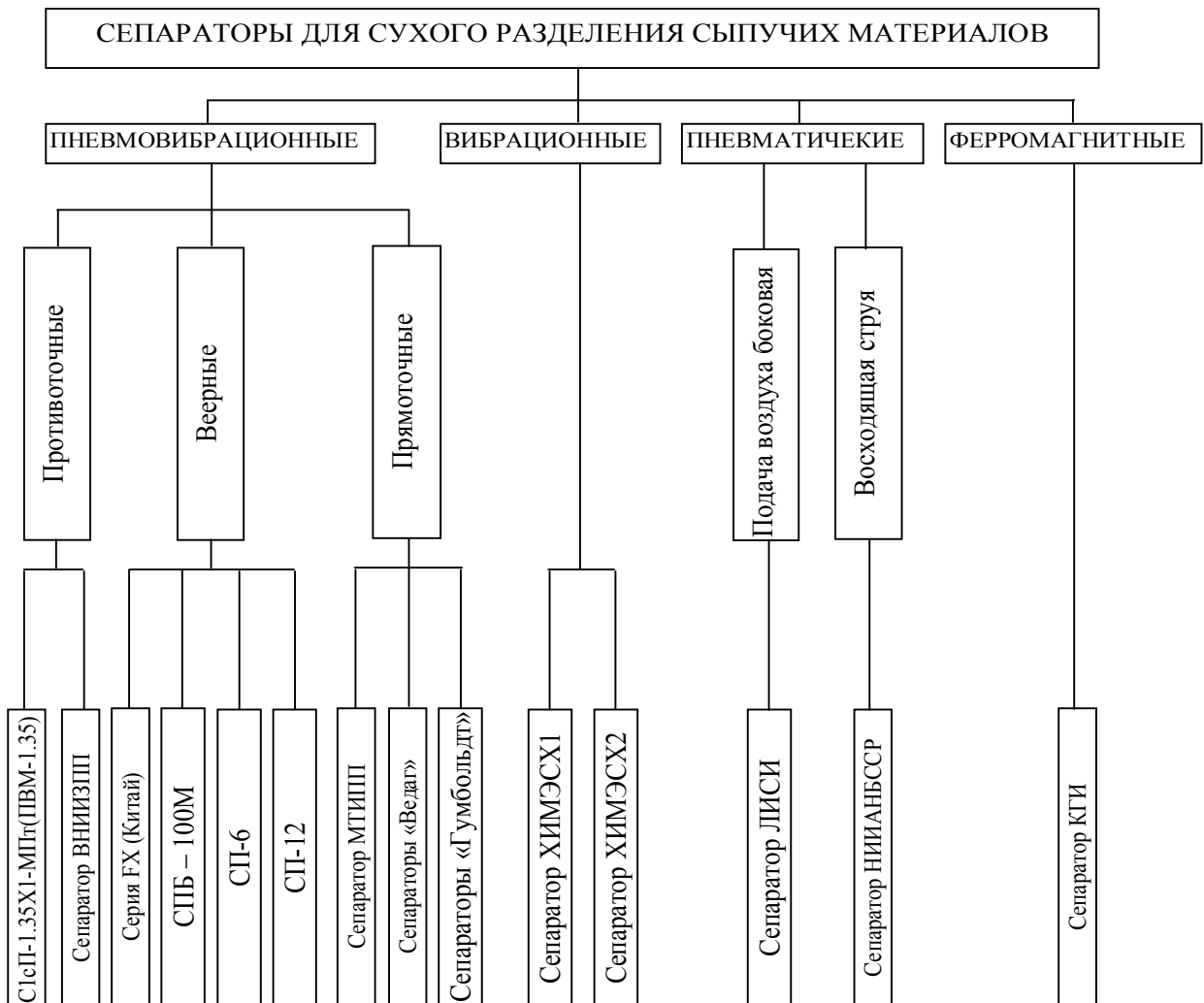


Рис. 2.1. Классификация сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов.

Исследование этих процессов весьма затруднено из-за размеров слоев, в которых происходит взаимодействие. В связи с этим подавляющее число практических результатов, достигнутых в совершенствовании воздушной сепарации, получено эмпирическими методами.

Только в последнее время исследователи начали использовать относительно точные методы прямого измерения параметров взаимодействия фаз, довольно сложные в аппаратном оснащении. Однако даже эти методы не в состоянии описать достаточно подробно весь

процесс взаимодействия в динамике, поскольку он происходит быстро, за сотые и тысячные доли секунды. При этом параметры взаимодействия успевают значительно изменяться не только количественно, но и качественно. Именно поэтому остаются вопросы, требующие уточнения и дополнения. Прежде всего это касается аэродинамических характеристик зерен различной формы, определяющих их скорости и параметры взаимодействия частиц друг с другом и стенками сепаратора.

Отсюда вытекает, что без детального изучения динамики взаимодействия массы частиц с различными свойствами и режимами перемещения между собой невозможно уточнить параметры процесса сепарации, что отмечается и рядом исследователей в работах [71, 72]. Одним из современных и продуктивных подходов для исследования процесса является рассмотрение его на микроуровне с помощью компьютерного моделирования [73, 74].

Таким образом, отсутствие реальных данных о динамике взаимодействия приводит к необходимости делать допущения о незначимости ряда факторов, что не всегда соответствует действительности. Это еще раз подтверждает актуальность исследования динамики взаимодействия частиц на микроуровне во времени. Необходимо иметь данные о перемещении частиц, их скоростях и ускорениях, что позволит глубже понять механизм взаимодействия фаз, понять природу участвующих сил и составит теоретическую базу для практически важных выводов по совершенствованию технологии разделения.

1.2. Анализ конструкций машин для воздушной сепарации

Анализ исследовательских работ в этой области позволяет выделить следующие группы машин: вибрационные, пневматические, пневмовибрационные, ферромагнитные [75].

На рис. 2.1 приведена классификация сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов.

К пневматическим сепараторам относятся машины, разделение исходной смеси в которых происходит за счет различной траектории движения частиц материала в воздушном потоке, в слоях постели и по деке сепаратора.

На рис. 2.2 изображена одна из конструкций пневматических сепараторов, разработанных в свое время Ленинградским инженерно-строительным институтом [76, 77].

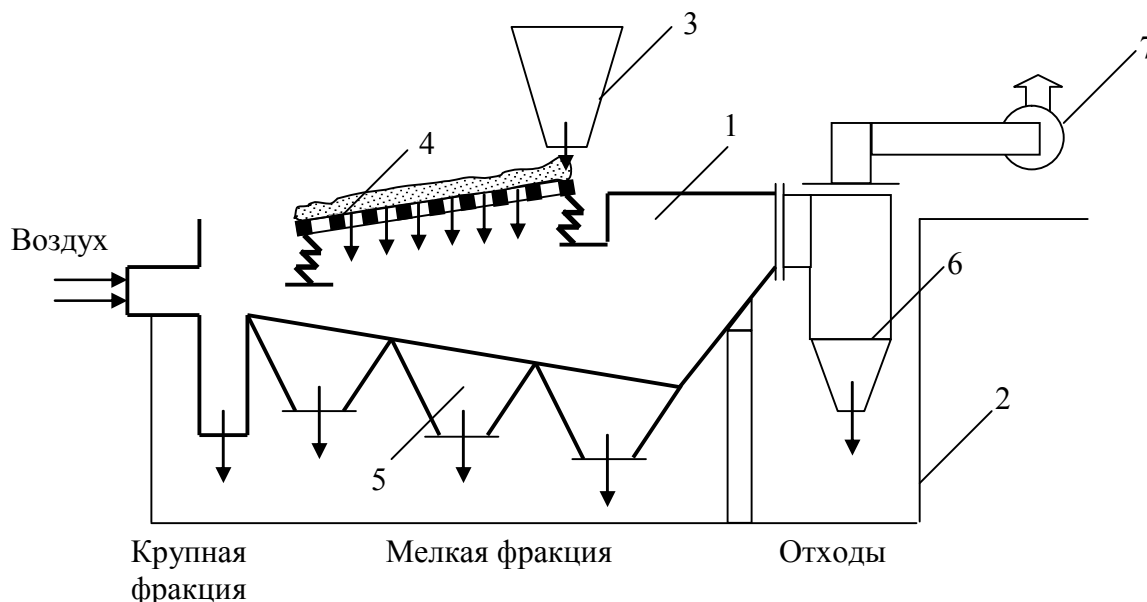


Рисунок 2.2. Пневматический сепаратор: 1 – камера классификации, 2 – рама, 3 – загрузочный бункер, 4 – вибросито, 5 – приемные бункеры, 6 – циклон, 7 – вентилятор

Из загрузочного бункера материал поступает на сито. Верхний продукт с вибросита отводится в бункер для крупной фракции. Нижний продукт, пройдя через сито, подвергается воздействию горизонтального потока воздуха, благодаря которому происходит дальнейшее разделение подрешетного материала и отвод пылевидных частиц в циклон.

Недостатком данной конструкции является необходимость соблюдения определенной толщины слоя материала на вибросите и точной регулировки скорости подачи горизонтального потока воздуха, значительный вынос пыли.

Особый интерес представляют пневмовибрационные сепараторы - прямоточные и противоточные. На рис. 2.3 показан сепаратор, разработанный в АН Белоруссии [78, 79].

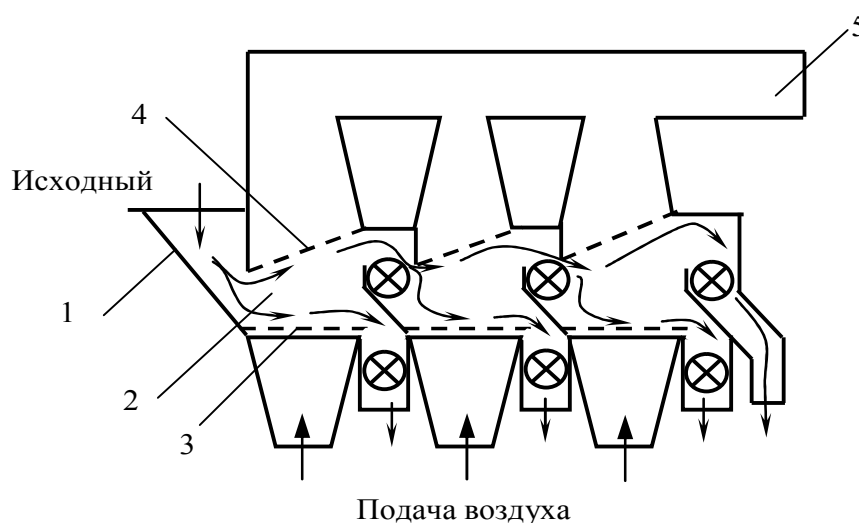


Рисунок 2.3. Пневматический сепаратор: 1 – бункер, 2 – разделительные камеры, 3, 4 – газораспределительные решетки, 5 – воздухопровод.

При подаче воздуха материал разделяется на два потока. Более тяжелые частицы опускаются на нижнюю газораспределительную решетку, более легкие частицы прижимаются к зажимной решетке. Поскольку решетки имеют наклон, обе фракции разделяемого материала движутся в сторону соответствующих выводных каналов. Недостатком конструкции является сложность регулировки и возможность забивания разгрузочных выводных каналов.

В России Московским технологическим институтом пищевой промышленности [39, 80] разработан пневмовибрационный сепаратор для обогащения трудно-разделяемых зерновых смесей, показанный на рис. 2.4.

В этой машине возвратно-поступательные колебания создаются с помощью инерционных возбудителей колебаний. Под действием вибрации и восходящего потока воздуха материал переходит в псевдооживленное состояние и расслаивается по высоте слоя на "тяжелую" и "легкую" фракции. Выгрузка "тяжелой" фракции осуществляется через разгрузочный порог 4, а "легкой" фракции - через порог 5.

К недостаткам конструкции относится низкая производительность аппарата и высокое взаимное засорение продуктов легкими и тяжелыми фракциями.

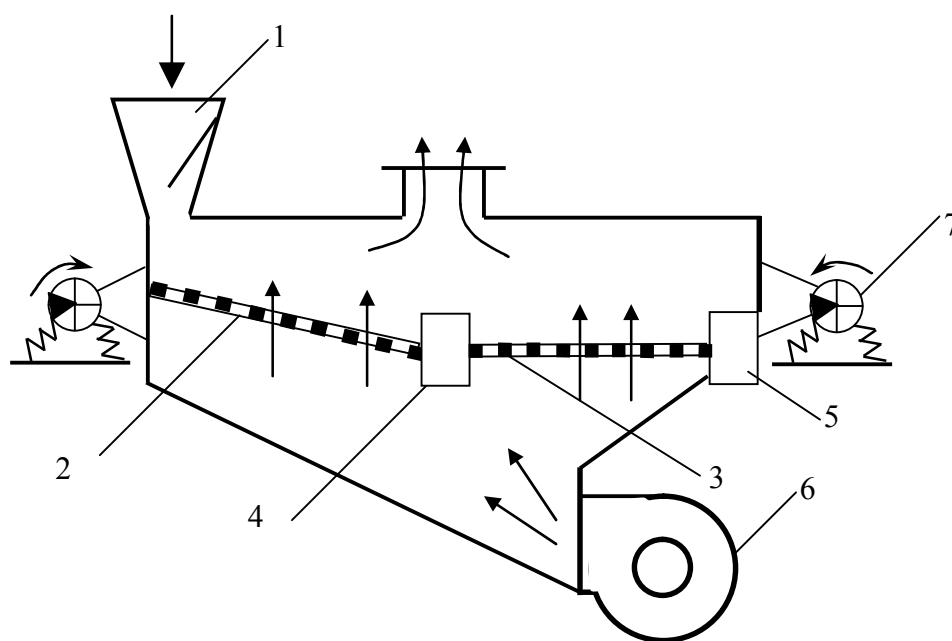


Рисунок 2.4. Пневмовибрационный сепаратор МТИПП: 1 – загрузочный бункер, 2, 3 – первое и второе решето рабочего канала, 4, 5 – разгрузочные пороги, 6 – вентилятор, 7 – инерционные возбудители колебаний.

В настоящее время в отечественной практике обогащения полезных ископаемых нашли широкое применение сепараторы СП-12, СП-6, СПБ-10М, которые также относятся к пневмовибрационным машинам веерного

типа. Общим недостатком этих конструкций является необходимость подачи на сепарацию узко классифицированного материала с низкой влажностью и ограничение производительности машин.

В зарубежной практике для сухого обогащения на современных фабриках США применяются сепараторы Super Air Flo. В европейских странах для сухого обогащения угля используются пневматические сепараторы фирм Wedag и Humboldt. Они имеют два отсадочных отделения, в которые исходный материал проходит по наклонным решетам, снизу под решетом поддувается воздух. Оба отделения разделены на четыре камеры, под которыми располагаются пульсаторы и шиберы. Отсадочные решета опираются на рессоры и снабжены вибраторами с дебалансным приводом [47].

Существенным недостатком данных сепараторов является низкая эффективность разделения материалов вследствие засорения продуктов обогащения, обусловленное движением материала к месту разгрузки в общем потоке.

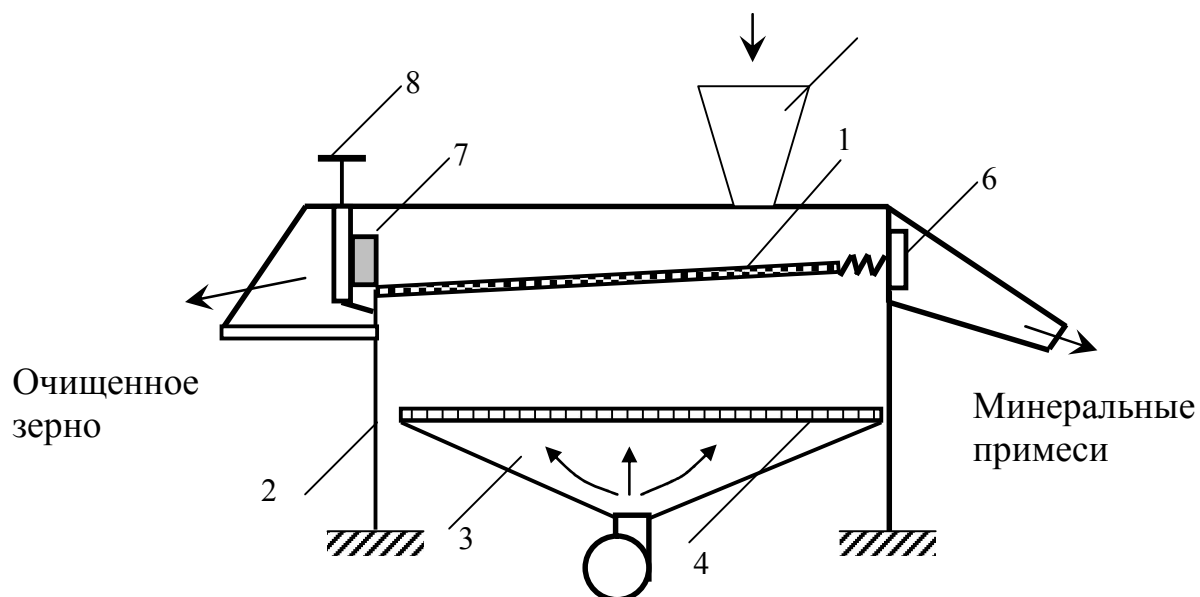


Рисунок 2.5. Пневмовибрационный сепаратор ВНИИЗПП: 1 – наклонная дека, 2 – плоские пружины, 3 – воздушная камера, 4 – диафрагма, 5 – загрузочное устройство, 6 – упругий клапан, 7 – экран, 8 – винтовое приспособление.

К пневматическим сепараторам с противоточным движением материала относится сепаратор, разработанный совместно Всесоюзным научно-исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки и Московским технологическим институтом пищевой промышленности, принципиальная схема которого показана на рис. 2.5 [81].

На верхнем конце деки, в зоне схода минеральных примесей установлены козырьки, образующие ряд суженных каналов для выпуска минеральных примесей. По ширине каналов в их устье установлен упругий клапан, открывающийся под давлением слоя примесей определенной толщины. На нижнем конце деки, в зоне разгрузки очищенного зерна расположен экран, регулируемый по высоте винтовым приспособлением.

Исходный материал из загрузочного устройства поступает на деку. Под действием воздушного потока и вибрационных колебаний смесь разделяется на минеральные примеси и очищенное зерно, при этом минеральные примеси двигаются вверх по наклонной поверхности деки, а очищенное зерно - вниз. Благодаря наличию гофр на верхнем участке деки минеральные примеси не скапливаются, а беспрепятственно с увеличенной скоростью поступают в суженные каналы и выводятся с деки.

Недостатком указанной конструкции является низкая производительность.

Определенный интерес представляет ферромагнитный сепаратор, созданный в Криворожском техническом университете [82]. Здесь разделение материала происходит в магнитовосприимчивой среде, находящейся в псевдооживленном состоянии под действием воздушного потока. Более тяжелые частицы материала проходят сквозь магнитовосприимчивую среду, а более легкие находятся на ее поверхности. Разгрузка продуктов сепарации осуществляется через соответствующие точки. Одним из недостатков ферромагнитного сепаратора является потеря ферромагнитной среды в процессе разделения.

На основании приведенного выше анализа существующих конструкций сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов можно отметить следующие основные недостатки конструкций:

- низкая производительность;
- низкая эффективность разделения;
- сложность настройки и регулировки режима в процессе разделения,
- необходимость подачи питания с узкой шкалой классификации;
- высокий унос пыли;
- ряде случаев возникает необходимость предварительного

подсушивания материала.

Проведенный обзор позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективным направлением является создание сепараторов с противоточным движением разделяемых материалов.

Как установлено в ходе исследований, проводившихся ранее, результаты воздушной сепарации и эффективность процесса разделения частиц определяется целым рядом параметров, которые зависят как от свойств разделяемого материала, так и от свойств разделительной среды и конструкции и принципа действия применяемой машины [47, 55, 63, 71, 75]. К основным параметрам, определяющим поведение частиц разделяемого материала, следует отнести форму и массу частиц, шероховатость их поверхности, коэффициент трения, разрыхленность слоя частиц в рабочем пространстве сепаратора. Для разделительной среды (воздуха) определяющей является скорость восходящего потока, сопротивление перемещению частиц. Анализ конструктивных параметров машин, применяемых для сухой сепарации различных материалов, приведенный выше, и результатов разделения сыпучих материалов, известных из публикаций [38, 43, 51, 75], позволяет считать наиболее перспективными пневмовибрационные сепараторы с противоточным движением частиц.

Из сказанного выше следует вывод о необходимости изучения кинетики взаимодействия частиц (скоростей, ускорения, траекторий и сил

взаимодействия) при разделении в рабочем пространстве сепаратора. Эти исследования должны проводиться в динамике, с учетом длительности взаимодействия. Только такой подход позволяет выявить качественные и количественные характеристики этого сложного процесса. На основе новых научных результатов можно определять рациональные режимы разделения и разрабатывать конструкции машин, обеспечивающих высокие технологические показатели без потери производительности.

Таким образом, обоснована необходимость решения следующих задач:

- исследовать свойства сложного лома отходов кабельно-проводниковой продукции, содержащего цветные металлы, имеющие значение при гравитационном обогащении сухими методами;
- исследовать скорость перемещения частиц сложного лома отходов кабельно-проводниковой продукции в свободных и стесненных условиях;
- экспериментально определить аэродинамические характеристики компонентов лома кабельно-проводниковой продукции;
- разработать модель процесса вибрационно-пневматической сепарации и исследовать влияние разрыхленности слоя материала на параметры перемещения частиц;
- исследовать параметры воздушной сепарации в лабораторных и полупромышленных условиях и разработать технологические режимы разделения.

Раздел 2 Экспериментальные исследования свойств частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции, предназначенного для сепарации

Обзор существующих методов разделения частиц в восходящем воздушном потоке определил основные направления исследования в применении к сложному многокомпонентному лому кабельно-проводниковой продукции.

2.1 Исследование свойств многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции как объекта обогащения

Многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции содержит золото, серебро, платину, палладий, редкие металлы и полупроводники, смесь различных металлов, в частности, меди, алюминия, стали, соединенных и покрытых различными видами пластика или керамики. Эта смесь разнородна, благородные металлы обычно присутствуют в ней в виде покрытий различной толщины, припоев и компонентов сплавов [83].

Основные металлы составляют 40% от общей массы и содержат 50% меди, 20% железа, 10% олова, никеля, свинца и алюминия по 5% каждого и цинка – 3%. Содержание благородных металлов находится в пределах: серебро – 1,8 кг/т, золото – ~930 г/т и палладий – ~45 г/т [84, 85].

В процессе разделки лома радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) образуются печатные платы со срубленными радиодеталями, составляющие 2,0÷2,5% исходного лома, которые либо накапливаются на предприятиях-переработчиках, либо вывозятся в отвал. Переработка печатных плат и их ценность как вторичного сырья определяется значительным содержанием в них меди, оловянно-свинцового припоя и драгоценных металлов, в основном серебра [86].

Многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции представлен кусками кабеля и проводников тока. При вторичной переплавке его получают некондиционные сплавы, что влечет за собой потери ценных металлов. Кроме того, происходит загрязнение окружающей среды продуктами разложения пластмасс и изоляционных материалов. Металлическая часть представлена медью, алюминием и другими металлами. Переработка медьсодержащих обмоток электрических

машин без предварительного отделения термостойких компонентов приводит к увеличению энергетических затрат на 14% [87].

Рациональная подготовка такого сырья к металлургическому переделу вызывает необходимость максимально возможного дезинтегрирования компонентов и разделения их на виды и группы. Свойства вторичного сырья как объекта обогащения изучены недостаточно и создают определенные ограничения в выборе способа разделения.

При обобщении деталей строения кабелей и проводов можно выделить следующие основные особенности: наличие одной или нескольких токонесущих жил, разделенных резиновой, полиэтиленовой или пластмассовой изоляцией, заключенных в наружную оболочку из стальной брони. Покрытием служит битум или пластик [83].

Для дробления многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции при подготовке его к разделению применяется различное оборудование и технологические схемы. В данной работе исследована проба алюминиевого и медного кабеля в стальной броне и пластиковой изоляции, дробленого в молотковой дробилке СМД-146 (проба 1), и проводников тока в резиновой изоляции, дробленых в ножевой дробилке СМД-149 (пробы 2-4).

Проба 2 представлена алюминием в резиновой изоляции, проба 3 представляет собой медь в полимерной изоляции, проба 4 – медь в резиновой изоляции.

После дробления все пробы рассеивались на стандартном наборе сит, выполнялось их расслоение и оценивалось распределение компонентов. По результатам отсева построены кумулятивные кривые суммарного выхода классов «сверху», представленные на рис. 2.6 и 2.7.

Анализ гранулометрических характеристик позволяет отметить относительно равномерное распределение классов крупности в дробленой пластиковой изоляции и преобладание мелких классов алюминия (проба 1), рис. 2.6.

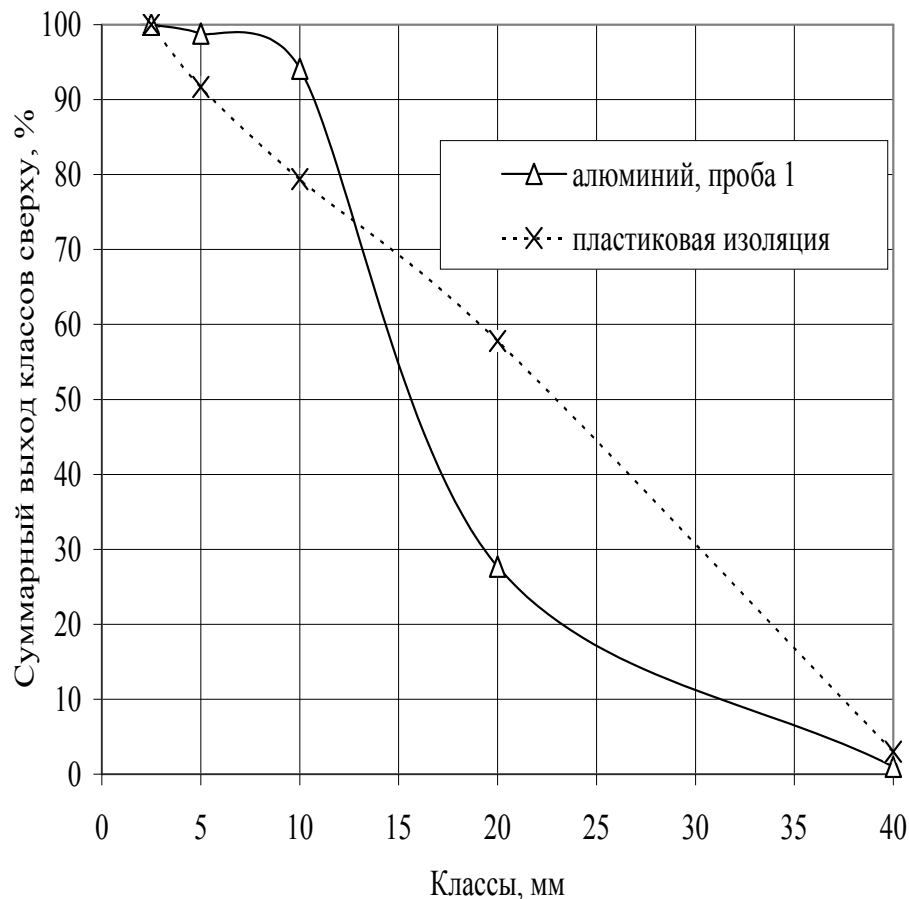


Рисунок 2.6. Гранулометрический состав алюминиевого кабеля после дробления в молотковой дробилке.

Мелкими в данном случае являются частицы с размером менее 10 мм. Для дробленой пластиковой изоляции средний размер частиц равен 23 мм, для алюминия – 17мм. В целом в пробе 1 отсутствуют частицы крупностью менее 2,5 мм. Наибольший выход имеют классы 20–40 мм и 10–20мм – 37,9% и 48,6% соответственно [88].

В пробах 2-4 (рис. 2.7) частицы металлов имеют примерно одинаковое распределение по крупности, как и частицы изоляционных материалов. Средний размер частиц металлов составляет 3.5-3.7 мм, изоляции – 4.3-5 мм. В этих пробах преобладают относительно крупные классы с размером частиц более 2,5 мм. Выход частиц крупностью менее 1.25 мм колеблется от 1.4 до 5.4%. В пробах 2, 3 и 4 максимальный выход имеет класс 2.5-5 мм – 65.1, 68.7 и 66.4%, соответственно (рис. 2.7).

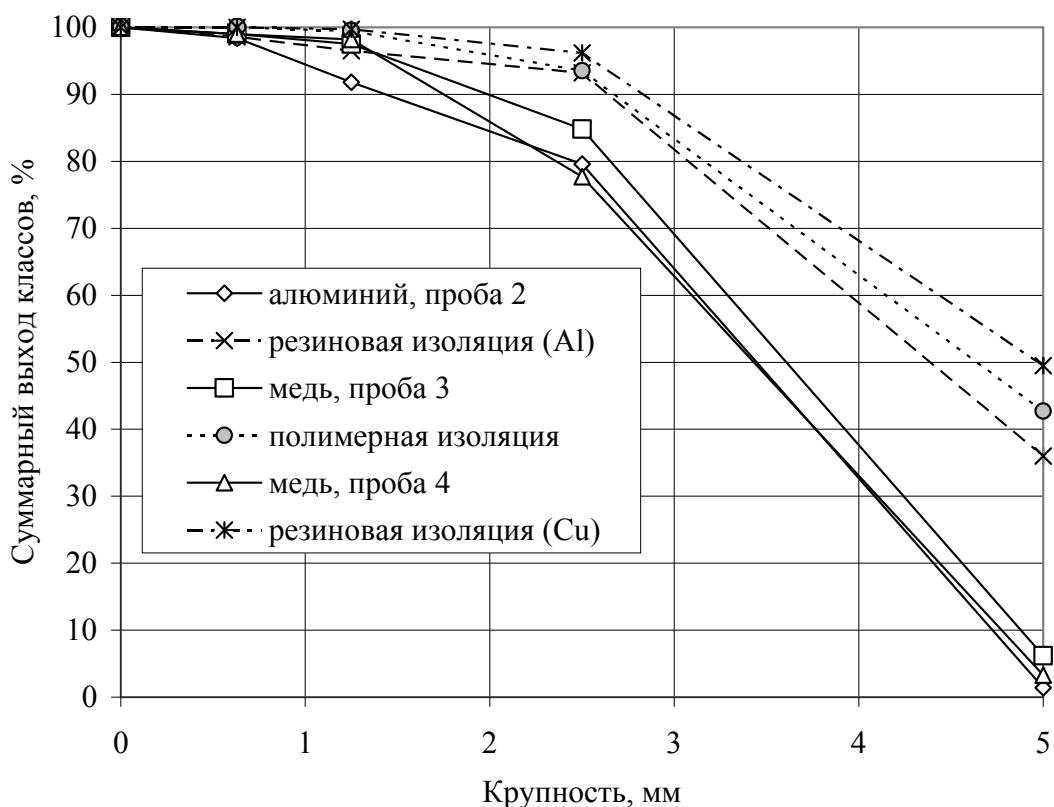


Рисунок 2.7. Гранулометрический состав проводников тока и изоляции после дробления в ножевой дробилке.

Полученное распределение частиц по крупности свидетельствует о том, что ножевая дробилка СМД-149 дает более мелкий продукт по сравнению с дробилкой СМД-146, шкала классификации более узкая [89].

Определение вещественного состава каждого класса крупности позволило рассчитать извлечение соответствующих компонентов. Извлечение компонентов (металлы, изоляционные материалы) в различные классы крупности в исследованных пробах представлено на рис. 2.8, 2.9.

Анализ данных рис. 2.8 свидетельствует о том, что при дроблении алюминиевого кабеля (проба 1) в молотковой дробилке максимальное извлечение металла наблюдается в классе 10-20 мм – 66,4%, в классе 20-40 – 27%, в остальных классах – от 1 до 5%. Изоляционный материал (пластик) сосредоточен в основном в классе 20-40 мм – 55% и в классе 10-20 мм – 22%, в остальных классах – от 3 до 12%.

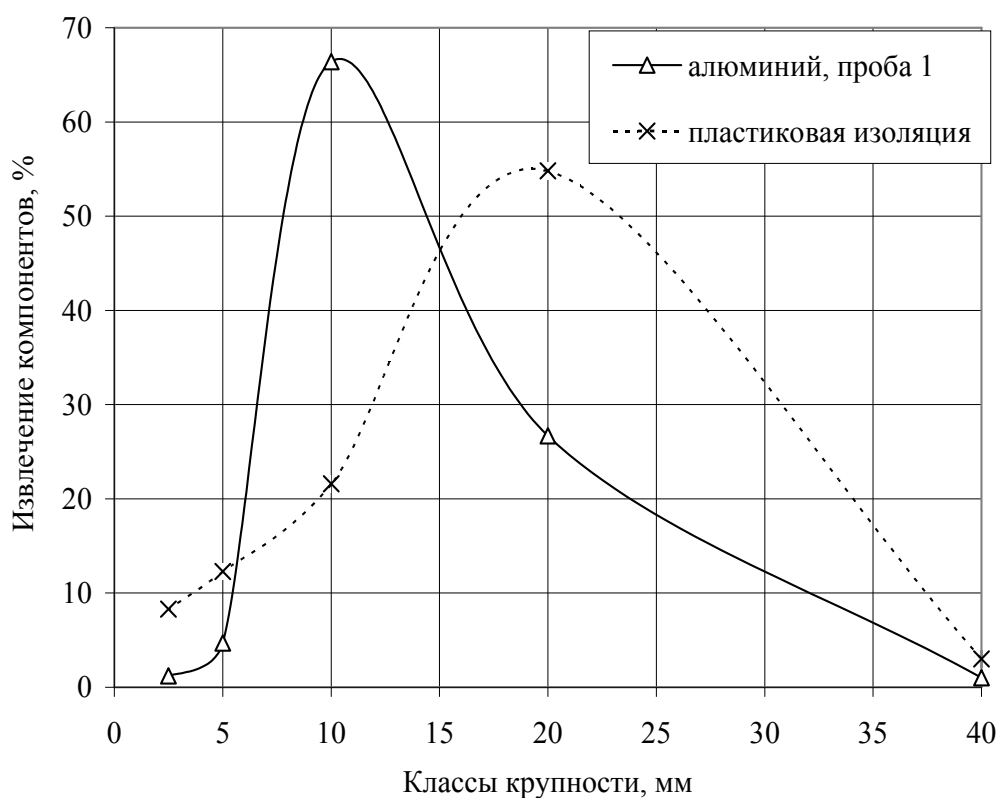


Рисунок 2.8. Извлечение алюминия и пластика в различные классы крупности после дробления в молотковой дробилке.

Из характеристик материала, представленных на рис. 2.9, следует, что для проб 2-4 характерно сосредоточение металлов (алюминий, медь) в классе 2.5-5 мм. Извлечение металлов в этом классе максимальное и находится в пределах 74-78%. Для изоляционных материалов наибольшие значения извлечения отмечаются для крупности частиц в пределах 5-10 мм – от 36 до 49 % и от 47 до 57 % для класса 2.5-5 мм.

Распределение частиц в рабочем пространстве сепаратора зависит от скоростей их перемещения, что в свою очередь связано с их формой и массой. Поэтому выполнены расчеты массы частиц различной крупности и состава. При этом принято, что все частицы имеют шарообразную форму. Плотность и некоторые механические характеристики многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции

представлены в табл. 2.1, а результаты расчета массы шарообразных частиц по известной формуле - в табл. 2.2.

Таблица 2.1

Характеристики компонентов сложного лома

Материал	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, Е*10 ⁷ , Н/м ²
Алюминий	2700-2750	6300-7000
Медь	8900	12700
Поливинилхлорид	1420	525
Полиэтилен	920-1200	0,15
Резина	1200-1400	0,5

Таблица 2.2

Расчетная масса шарообразных частиц

Материал	Плотность, г/см ³	Диаметр, мм	Масса, г
Алюминий	2,7	5	0,18
		10	1,41
		20	11,3
		30	38,15
		40	90,43
Медь	8,9	5	0,58
		10	4,66
		20	37,26
		30	125,76
		40	298,09
Резина	1,3	5	0,09
		10	0,68
		20	5,44
		30	18,37
		40	43,54

Если не принимать во внимание форму и допустить, что все частицы имеют правильную шарообразную форму, то скорость частиц равной или близкой массы в восходящем потоке воздуха в сепараторе можно считать одинаковой, т.е. они будут равнопадаемыми.

Отсюда вытекает, что частицы алюминия и изоляционных материалов крупностью менее 10мм будет довольно сложно разделить. Кроме того, возможно взаимное засорение класса 10-20 мм алюминия более крупными частицами изоляции, т.к. они имеют близкую массу и соответственно скорость.

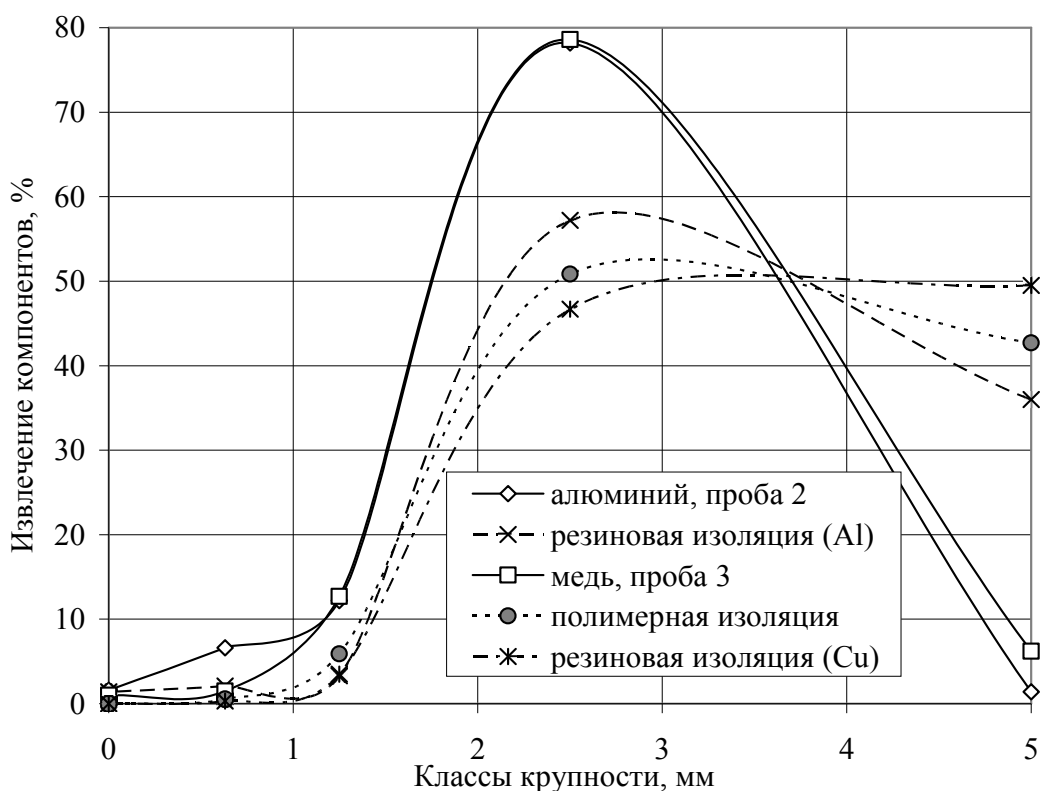


Рисунок 2.9. Извлечение металлов, резины и полимеров в различные классы крупности после дробления в ножевой дробилке.

Следует ожидать высокую эффективность разделения частиц меди и изоляционных материалов, т. к. их вес при крупности от 5мм и выше различается в 6-8 раз. Вес алюминиевых частиц и частиц изоляции при этой же крупности отличается примерно в 2раза.

Эти особенности необходимо учитывать при определении шкалы классификации питания пневматического сепаратора.

Таким образом, проведенные предварительные исследования свойств сложного лома цветных металлов как объекта разделения сухими гравитационными методами выявил необходимость определения скоростей движения частиц различного вещественного состава для уточнения шкалы классификации материала перед обогащением.

2.2 Исследование условий разделения многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции гравитационными методами

Обобщение свойств и деталей строения проводов и кабелей позволяет выделить основные их особенности: 1) наличие одной или нескольких жил – проводников тока; 2) разделение этих жил изоляцией (резиновой, полиэтиленовой или пластмассовой); 3) наличие наружной оболочки из стальной брони; 4) внешнее покрытие - битум или пластик.

При разделении частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в рабочем пространстве сепаратора их траектории будут зависеть от скоростей перемещения, которые определяются при прочих равных условиях формой и массой частиц, а также стесненными условиями и механическими взаимодействиями частиц при столкновениях.

2.2.1 Выбор методики расчета скорости движения частиц лома кабельно-проводниковой продукции в восходящем потоке воздуха

Многочисленными исследованиями, которые проводились для частиц различной крупности, плотности и формы в средах, отличающихся реологическими свойствами, установлены наиболее общие закономерности свободного и стесненного движения в потоках [26, 90, 91, 71, 92-96].

С учетом того, что при воздушной сепарации величина давления воздуха небольшая, можно рассматривать его как упругую среду и не учитывать изменение его объема. Поэтому закономерности, установленные для жидкостей, были перенесены и на воздушную среду. На частицу, находящуюся в восходящем потоке воздуха действуют силы тяжести, давления, инерции и внутреннего трения. Из рассмотрения взаимодействия этих сил в случае движения частиц разной крупности установлены зависимости для гравитационной классификации и разделения материалов.

При рассмотрении основных закономерностей осаждения твердых частиц в неподвижной среде в ряде работ указывается, что строгому теоретическому анализу подвергается лишь движение частиц правильной формы [92-96]. При этом не учитывается возможность вращательного движения частиц и поперечного перемещения. Движение частицы определяется силами, действующими на нее, из которых статической подъемной силой можно пренебречь, т.к. в воздушной среде ее величина на три порядка меньше веса частицы.

Из решения общего уравнения движения частицы в неподвижной среде определяют время переходного процесса, по истечении которого единичная частица приобретает установившуюся скорость движения, которую принято называть конечной скоростью падения или осаждения. Эта скорость является аэродинамической характеристикой частицы. Для круглой частицы:

$$V_{кон.} = (4 g d (\delta - \Delta) / 3 \psi \Delta)^{0.5}. \quad (2.1)$$

Чтобы найти конечную скорость движения частицы в среде необходимо определить коэффициент сопротивления ψ , который зависит от толщины пограничного слоя. Толщина пограничного слоя в свою очередь связана с углом его отрыва при переходе от ламинарного режима

обтекания к турбулентному, с местоположением точки отрыва на поверхности частицы, с профилем скорости в пограничном слое и характером его изменения. Перечисленные параметры зависят от числа Рейнольдса, связанного со скоростью и размером частицы известной зависимостью.

Для шаров опытным путем Релеем определена зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса (диаграмма Релея). Для различных участков кривой Релея предложены эмпирические зависимости. И соответственно для разных участков кривой определяются по эмпирическим зависимостям коэффициент сопротивления и скорости конечного движения частиц в среде.

Установлено, что коэффициент сопротивления зависит от формы частиц, их концентрации в объеме аппарата, условий стеснения. Аналитическое описание связи между этими параметрами в настоящее время не определено из-за сложности теоретического учета всех влияющих факторов.

При рассмотрении особенностей движения двухфазных потоков учитывают скорость витания частиц, которую определяют, исходя из предположения отсутствия столкновения частиц между собой и со стенками аппарата. Скорость потока разделительной среды принимают равномерной по всей площади. При восходящем потоке разделительной среды относительная скорость обтекания определяется из выражения [71]:

$$V_{об} = V_{ном} - V_{ч} . \quad (2.2)$$

Из решения общего уравнения движения частицы в противотоке вытекает, что в любой сопоставимый момент времени теоретическая скорость движения частицы в противотоке равна скорости частицы при осаждении в неподвижной среде плюс скорость потока. По истечении

некоторого времени скорость частицы становится практически постоянной и определяется соотношением:

$$V_u = V_{nom} - (g_0 / k)^{0.5} . \quad (2.3)$$

Здесь g_0 – ускорение свободного падения в подвижной среде, для воздуха принимают $g_0 = g$; k – коэффициент, определяемый из выражения

$$k = \psi F \Delta / 2 M, \quad (2.4)$$

где Δ – плотность среды; F – площадь поперечного сечения частицы; M – масса частицы.

При определенном значении скорости потока среды установившаяся скорость частицы становится равной нулю $V_u = 0$. Такая скорость потока называется скоростью витания и определяется как [71]:

$$V_{nom. vit.} = (g_0 / k)^{0.5} = (4 g d (\delta - \Delta) / 3 \psi \Delta)^{0.5} . \quad (2.5)$$

Таким образом, для круглой частицы скорость осаждения и скорость витания в противотоке являются тождественными величинами. При этом допускается, что коэффициенты сопротивления у осаждающейся и витающей частицы равны и не зависят от турбулентности среды.

Значения скорости осаждения в свободных условиях (витания) приводятся рядом исследователей для различных материалов. В работе [92] показана корреляция расчетных и полученных экспериментально значений скоростей свободного падения для антрацита, кварца, касситерита и галенита. В источнике [93] приведены значения скоростей витания, коэффициентов сопротивления и равнопадаемости частиц кварца и галенита в воздухе. В работе [71] описывается серия специальных экспериментов по определению скоростей витания и осаждения в воде

частиц полихлорвинила, антрацита, кварца и гранита, а также магнетита крупностью 1-10 мм.

Для такого сырья как частицы лома класса Ж не имеется данных по аэродинамическим характеристикам и скоростям витания. Поэтому указанные характеристики являлись предметом исследования в данной работе.

Поскольку коэффициент сопротивления шара не зависит от его ориентации в пространстве, сферическая форма частиц принята в качестве исходной при исследовании их движения в среде. Большинство формул для конечной скорости падения шара, дающих наиболее близкие совпадения с экспериментальными данными, получены аппроксимацией графической зависимости коэффициента сопротивления ψ от числа Рейнольдса Re (кривой Релея). При этом кривая делится на ряд участков, каждый из которых приближенно заменяется отрезком прямой. Уравнение для описания отдельных участков имеет вид:

$$\Psi = K_i Re^{p_i}, \quad (2.6)$$

где K_i и p_i – постоянные коэффициенты для каждого участка кривой.

В.А. Олевский и А.К. Корольков [94] предложили формулу, которая дает результаты, наиболее близкие к фактическим, как указывается в работе [92]. Эта формула имеет вид:

$$V = k (\pi g / 6)^{5/6} d^{3/2} \nu^{2/3} \Delta_0^{5/6}. \quad (2.7)$$

Здесь k – коэффициенты, постоянные для каждого участка кривой; d – диаметр частицы; ν – кинематический коэффициент вязкости среды; Δ_0 – относительная разница плотностей частицы и разделительной среды.

Относительная разность плотностей вычисляется по формуле:

$$\Delta_0 = (\delta - \Delta) / \Delta, \quad (2.8)$$

где δ – плотность твердой фазы, Δ – плотность разделительной среды.

В работе [92] приводится модифицированная формула, по которой скорость свободного падения шаров определяется из соотношения

$$V = k d^{3n-1} v^{1-2n} \Delta_0^n. \quad (2.9)$$

Здесь k и n – коэффициенты, постоянные для каждого участка кривой Релея.

Коэффициенты k и n определяются из соотношений [95]:

$$k = (\pi g / 6 K_i)^n, \quad n = (p_i + 2)^{-1}. \quad (2.10)$$

Значения коэффициентов K_i и p_i приводятся в работе [92] для различных участков кривой Релея, которая разбивается в данном случае на шесть фрагментов.

Недостатком многих формул является необходимость предварительного определения числа Рейнольдса, которое находится в зависимости от скорости частиц. Для избежания этого во многих источниках рекомендуется использовать параметр Лященко П.В., определяемый из известного выражения и не зависящий от скорости:

$$Li = Re^2 \psi = (\pi d^3 / 6) * (\delta - \Delta) / \Delta * (g / v^2). \quad (2.11)$$

Для определения конечной скорости падения частиц в воздушной среде, которая по данным работы [71] отождествляется со скоростью витания, по принятому значению диаметра шара необходимо рассчитать параметр Лященко для частиц различной плотности. В зависимости от значения параметра Лященко определяются значения показателей степени в формуле (2.9) и соответственно вид расчетной формулы.

Исследования свойств лома проводников тока, дробленых в ножевой дробилке, показали наибольшие значения извлечения металлов (меди и алюминия) при крупности частиц от 1.5 до 4.5мм при более равномерной крупности дробленого продукта (см. рис. 2.3). В связи с этим именно такая крупность частиц принята прежде всего для рассмотрения.

В работе [96] указывается, что для зерен крупностью от 0,8мм и выше для определения скорости свободного падения шаров может использоваться формула Риттингера, имеющая вид в случае воздушной среды разделения:

$$V_0 = 4.6 (d * (\delta - 1.23))^{1/2}, \text{ м/с.} \quad (2.12)$$

Поскольку Риттингер при выводе этого соотношения учитывал только динамическое сопротивление среды, то полученные по ней значения скорости падения шаров хорошо согласуются с экспериментальными данными для зерен крупнее 0,8мм.

В работах [26, 90, 91] изложены подходы к аналитическому описанию модифицированной по методу Лященко кривой Релея с помощью введения определенных коэффициентов. В соответствии с этими подходами диаграмма Лященко $Re = f(Re^2\psi)$ разбивается на пять участков и аппроксимируется формулой, имеющей вид:

$$Re = (A Re^2\psi)^n. \quad (2.13)$$

Здесь A и n – коэффициенты, значения которых зависят от величины параметра Лященко и приведены в табл. 2.3 [91, 26].

Значения коэффициентов для аппроксимации диаграммы Лященко

Диапазон изменения $Re^2 \psi$	Диапазон изменения Re	A	n
$8 \cdot 10^{-3} \dots 3$	$< 10^{-3}$	0,133	1,0
$3 \dots 1,2 \cdot 10^2$	$10^{-3} \dots 10$	0,1	0,943
$1,2 \cdot 10^2 \dots 3,5 \cdot 10^3$	$10 \dots 10^2$	0,269	0,69
$3,5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	$10^2 \dots 8 \cdot 10^2$	1,112	0,575
$10^5 \dots 3 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^2 \dots 1,2 \cdot 10^5$	7,95	0,493

Таким образом с учетом (2.13) формула для расчета скорости свободного движения шарообразных частиц в среде имеет вид:

$$V = (\mu (A Re^2 \psi)^n) / d \Delta. \quad (2.14)$$

Здесь μ – динамический коэффициент вязкости среды, Δ – плотность разделительной среды.

Авторы работ [26, 90, 91] подчеркивают, что формула (2.14) является универсальной, т.к. при значениях n , равных 1; 2/3 и 1/2, соответственно, получаются известные формулы Стокса, Алена и Ньютона-Риттингера, которые описывают частные случаи скорости движения частиц при различных режимах их обтекания средой.

Для окончательного выбора способа расчета скорости перемещения частиц лома кабельно-проводниковой продукции в восходящем потоке воздуха, которая отождествляется со скоростью витания, выполнены расчеты для круглых и шарообразных частиц в свободных и стесненных условиях и их сравнение по методикам различных авторов по формулам (2.9, 2.12 и 2.14).

2.2.2 Исследование скорости движения частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в свободных условиях

При расчете скорости свободного падения (витания) сферических частиц по зависимостям (2.9, 2.12 и 2.14) кинематический коэффициент вязкости принят для воздуха при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$ равным $\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Расчетные формулы для определения скоростей витания по соотношению (2.9) показаны в табл. 2.4.

Скорости витания сферических частиц легких и тяжелых материалов приведены на рис. 2.5, где цифрами обозначено: 1 – по методике В.А. Олевского, 2 – по методике П.И. Пилова, 3 – по методике Риттингера.

Таблица 2.4

Расчетные формулы для определения скоростей витания круглых частиц сложного лома класса Ж по формуле (2.9)

Материал	Диаметр, мм	Расчетная формула для скорости витания [92]
1	2	3
Полиэтилен, резина, гетинакс	1,0	$V = K d \nu^{-1/3} \Delta_0^{2/3}$
Поливинилхлорид, алюминий, цинк, медь, свинец	1,0	$V = K d^{2/3} \nu^{-1/9} \Delta_0^{5/9}$
Полиэтилен, поливинилхлорид, гетинакс, алюминий	2,5	$V = K d^{2/3} \nu^{-1/9} \Delta_0^{5/9}$
Резина, цинк, медь, свинец	2,5	$V = K d^{1/2} \Delta_0^{1/2}$
Полиэтилен, резина, поливинилхлорид, гетинакс, алюминий, цинк, медь, свинец	5; 10; 20	$V = K d^{1/2} \Delta_0^{1/2}$

Анализ полученных данных позволяет заключить, что значения скоростей витания имеют близкие значения для всех сравниваемых методик расчета.

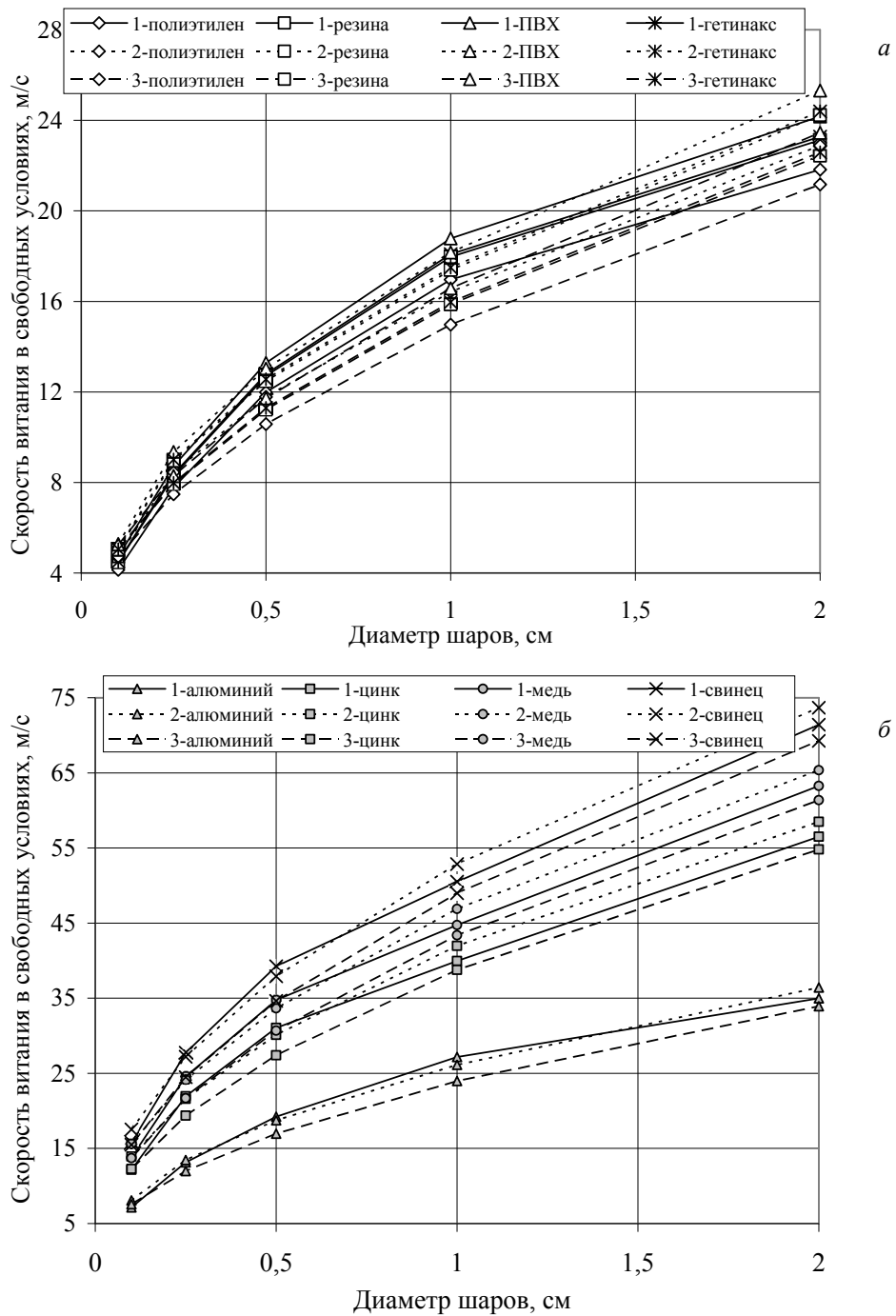


Рисунок 2.10. Скорость витания сферических частиц в свободных условиях для материалов: а – изоляция, б – металлы.

Установлено также, что шарики изоляционных материалов при диаметре 1мм движутся в интервале, близком к $Re = 300$, т.е. в переходном

режиме. При увеличении размера до 2,5мм параметр Рейнольдса находится в интервале $Re = 300-3000$, дальнейшее увеличение диаметра до 5-20мм обеспечивает переход к турбулентному режиму движения $Re > 3000$. Для металлических частиц характерен переходный режим при диаметре 1мм, а затем турбулентный при увеличении диаметра более 1мм.

Статистический анализ полученных значений расчетной скорости витания показал, что для всех материалов зависимость скорости от размера частиц наиболее точно описывается логарифмической функцией с различными коэффициентами. Уравнения и параметры аппроксимации для расчетов по формуле Королькова-Олевского представлены в табл. 2.5.

Анализ данных и зависимостей (табл. 2.5) свидетельствует о том, что для гетинакса и резины, являющихся изоляционными материалами, скорость витания частиц имеет близкие значения.

Это позволяет предполагать, что разделение этих материалов методом пневматической сепарации практически невозможно.

Близкие величины скорости витания к указанным материалам имеют также полиэтилен и поливинилхлорид.

Таблица 2.5

Аналитические зависимости для определения скорости витания сферических частиц и результаты статистической обработки

Материал	Аналитическое выражение зависимости скорости от крупности частиц	Значение коэффициента детерминации R^2
Полиэтилен	$V = 5.9 \ln d + 2.9$	0.9855
Резина	$V = 6.2 \ln d + 3.3$	0.984
Гетинакс	$V = 6.2 \ln d + 3.3$	0.9839
Поливинилхлорид	$V = 6.2 \ln d + 4.5$	0.9803
Алюминий	$V = 8.6 \ln d + 6.8$	0.978
Цинк	$V = 13.4 \ln d + 10.9$	0.9588
Медь	$V = 14.98 \ln d + 12.3$	0.9581
Свинец	$V = 16.8 \ln d + 14.1$	0.9556

Следовательно, разделение изоляционных материалов между собой будет крайне затруднено. Для разделения металлов необходимо подбирать соответствующие режимы сепарации. Наиболее легко от остальных металлов может отделяться алюминий, т.к. его скорости витания имеют наибольшее отличие от скоростей витания меди, цинка и свинца. Более крупные частицы имеют большие отличия в скоростях движения в восходящем потоке, следовательно, их разделение будет наиболее эффективным [97].

Обобщение свойств и деталей строения проводов и кабелей позволило выделить основные их особенности, одной из которых является наличие в продуктах дробления сложного лома самой разнообразной формы частиц [88, 98]. При дроблении проводников тока форма частиц близка к правильной геометрической, а для лома кабеля характерна неопределенная геометрическая форма. Под правильной геометрической формой понимается форма частиц, близкая к геометрическим фигурам, для которых известны простые формулы для определения объема, поверхности и других характеристик. Такими фигурами являются шар, куб, пирамида, цилиндр, конус, параллелепипед. К неопределенной геометрической форме отнесены частицы в виде чешуек, изогнутых пластинок, спиралей.

Для оценки аэродинамических характеристик такого неравномерного по форме материала выполнены расчеты скорости витания частиц, форма которых отличается от сферической [99]. Поскольку лом кабельно-проводниковой продукции содержит в большинстве своем частицы, близкие по форме к цилиндрам, необходимо определить скорости витания для частиц несферической формы. Многие авторы рекомендуют для приближения формы частиц к шарообразной использовать эквивалентный диаметр шара. В работе [71] в качестве характерного размера частицы предлагается принять диаметр эквивалентного по объему шара:

$$d_3 = (G*V/\pi)^{1/3}, \quad (2.15)$$

где – G – вес частицы, V – объем частицы.

Для цилиндрических частиц эквивалентный диаметр будет определяться из соотношения:

$$d_3 = (1,5h*d^2)^{1/3}, \quad (2.16)$$

где h и d – высота и диаметр цилиндра, соответственно.

Кроме эквивалентного диаметра для частиц несферической формы используется коэффициент, равный отношению поверхности эквивалентного по объему шара к поверхности частицы, который в работе [92] называется коэффициентом сферичности.

В работе [71] этот же параметр называется геометрическим фактором формы. При этом геометрический фактор формы является величиной обратной по отношению к коэффициенту сферичности. С учетом соотношения (2.16) коэффициент сферичности цилиндрических частиц вычислялся как:

$$K_s = d_3^2 / d*(h + 0.5d). \quad (2.17)$$

Колебания значений коэффициента сферичности для цилиндрических частиц разного диаметра показаны на рис. 2.6, из которого видно, что чем ближе значения диаметра и высоты цилиндров друг к другу ($d = 1,5$, $h = 2$ см), т.е. чем меньше форма частиц отличается от шарообразной, тем больше K_s .

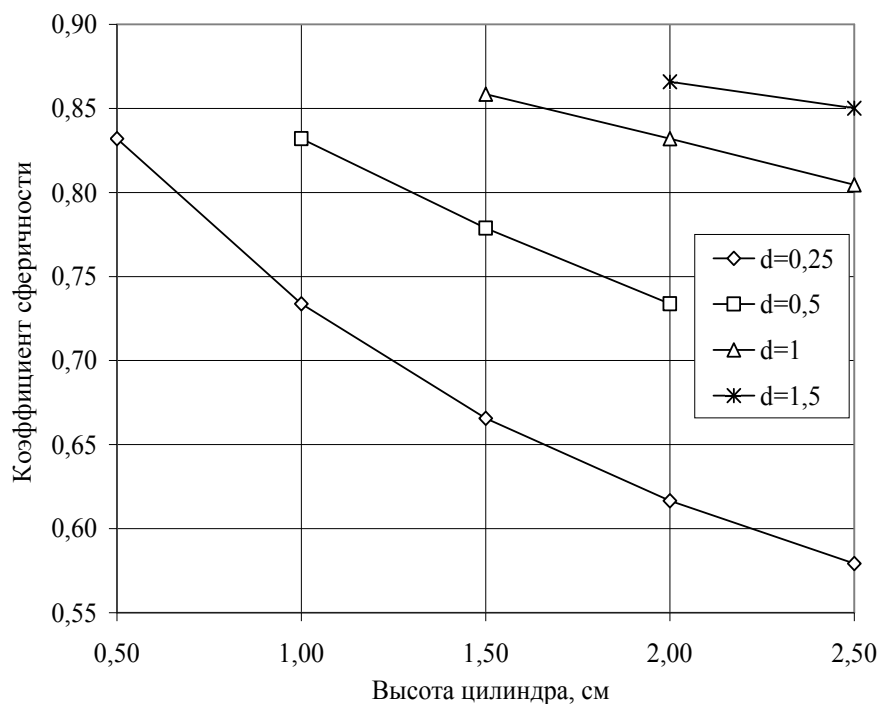


Рисунок 2.11. Коэффициент сферичности для цилиндрических частиц.

При определении параметра Лященко для частиц правильной геометрической несферической формы в выражении (2.11) используется эквивалентный диаметр d_3 . В работе [92] отмечается, что при больших числах Рейнольдса для шарообразных частиц $Re_s > 2000$ сопротивление перемещению остается неизменным $\psi = const$. Тогда расчетные формулы для скорости витания частиц несферической формы в свободных условиях при расчетах по указанным методикам приобретают вид [91, 92]:

$$V_3 = V^*(K_s)^{0,5}, \quad (2.18)$$

$$V_3 = Re_s \mu / d_3 \Delta = (\mu (A * Li_s)^n) / d_3 \Delta, \quad (2.19)$$

$$V_3 = 55,5 * (\Delta_0 d_3)^{1/2}, \quad (2.20)$$

где V – скорость витания шаров, определенная по зависимости (2.9).

Результаты расчетов скорости витания шарообразных частиц в свободных условиях с учетом коэффициента сферичности и эквивалентного диаметра представлены на рис. 2.7, где цифрами обозначено: 1 – по методике В.А. Олевского (2.18), 2 – по методике П.И. Пилова (ДГИ) (2.19), 3 – по методике Риттингера (2.20). Цилиндрические частицы имели диаметр от 2.5 до 15мм и высоту от 5 до 25 мм.

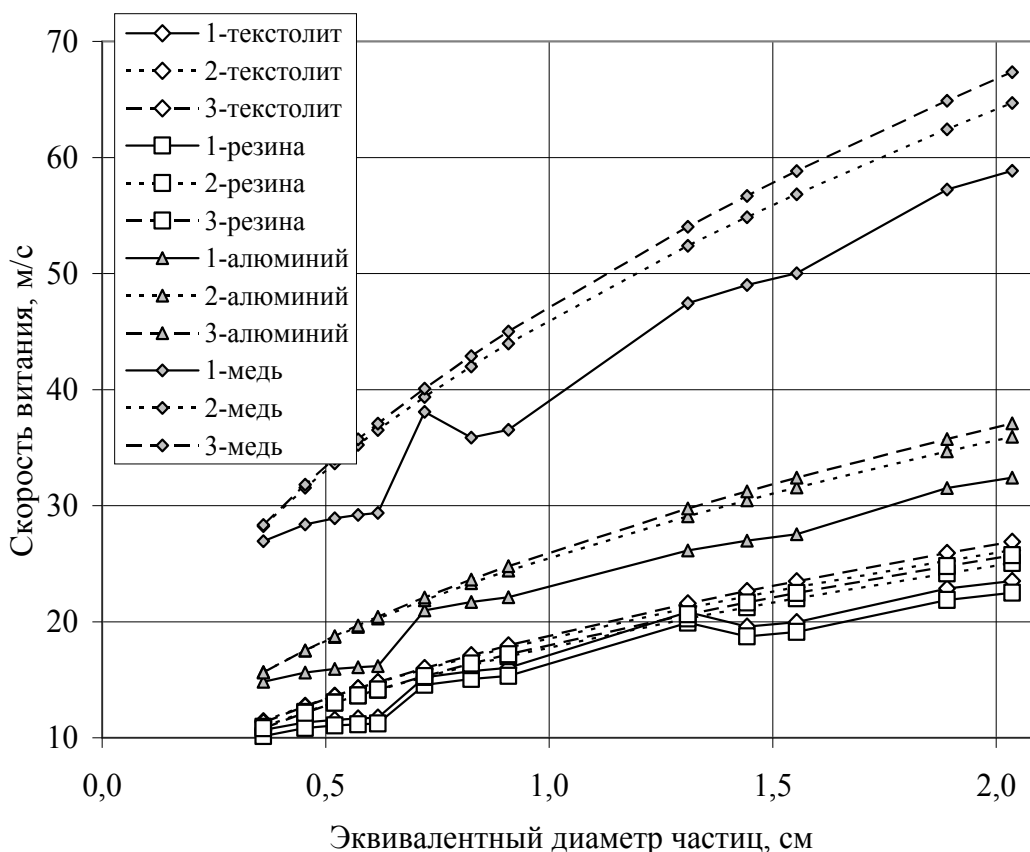


Рисунок 2.12 Скорость витания в свободных условиях для частиц с диаметром, эквивалентным шарообразным.

Из графиков следует, что формулы (2.19) и (2.20) дают близкие результаты для всех исследованных материалов.

Следует отметить, что многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции (класс Ж) содержит некоторое количество частиц дискообразной формы, скорость витания которых зависит от расположения частицы в восходящем воздушном потоке. Из приведенных выше соображений скорость витания дискообразных частиц алюминия с

размерами $d \times h = (5-20) \times 2.5$; $(10-20) \times 5$; $(15-20) \times 10$ мм рассчитана по этим соотношениям. Изменение коэффициента сферичности показано на рис. 2.13, а результаты расчетов скорости витания и уравнения аппроксимации - на рис. 2.14.

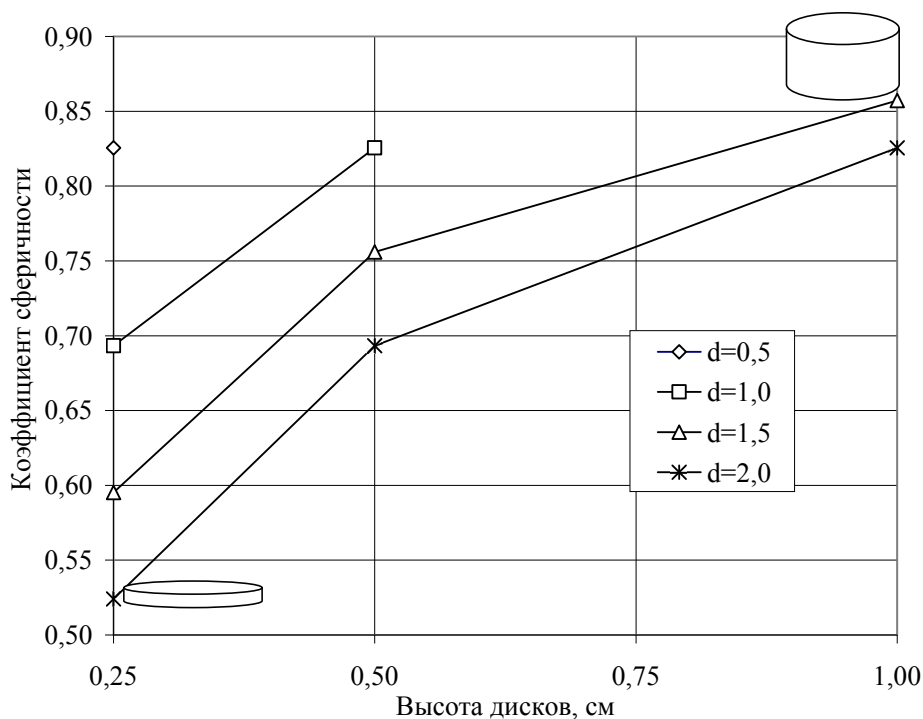


Рисунок 2.13. Коэффициент сферичности для дискообразных частиц алюминия.

Из приведенных данных можно заключить, что наиболее тонкие диски имеют минимальные значения коэффициента сферичности. На параметры их движения в воздушном потоке будет влиять парусность частиц, учесть которую довольно сложно. В работе [71] указывается, что частицы неправильной формы при движении располагаются в потоке так, что их сопротивление становится максимальным, а скорость витания – соответственно минимальной.

Графики зависимости скорости витания дискообразных частиц от эквивалентного диаметра (рис. 2.14) подтверждают установленную логарифмическую зависимость и близость значений скорости частиц,

рассчитанных по методикам работ [92] и [26]. В связи с этим следует использовать методику ДГИ [26] как наиболее простую, универсальную и удобную для расчетов. По этой методике были выполнены расчеты для частиц различных материалов, имеющих пластинчатую форму. Сведения о размерах частиц и результаты расчетов эквивалентной скорости витания приведены в табл. 2.6.

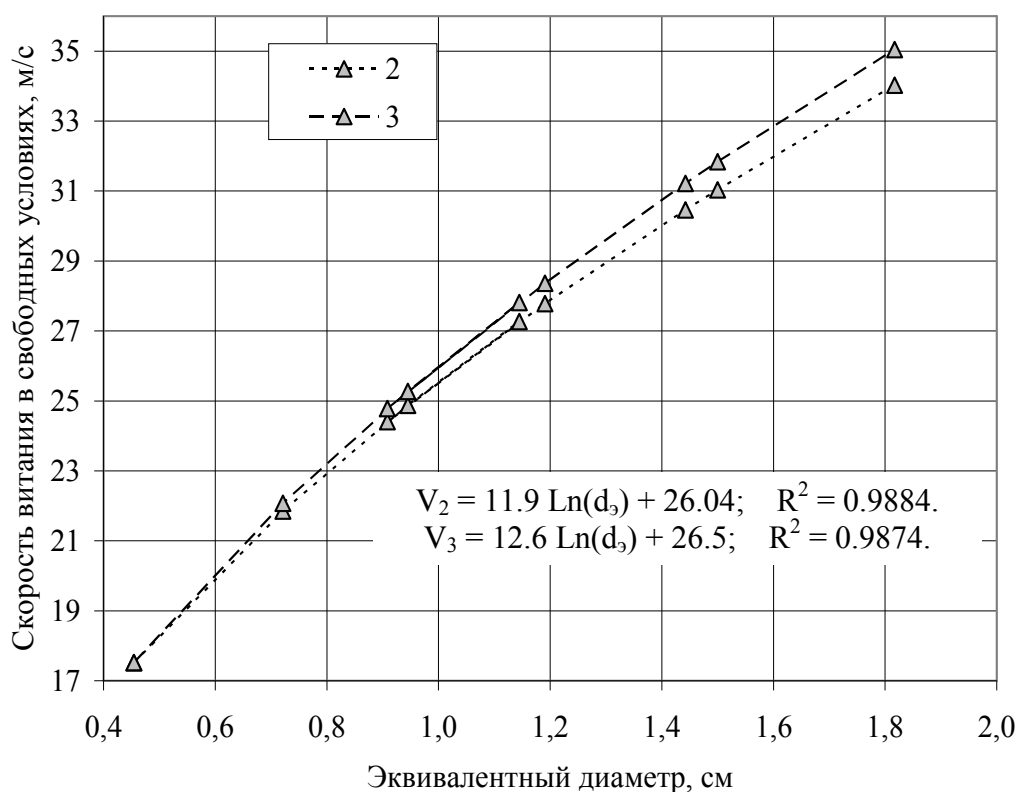


Рисунок 2.14. Скорость витания дискообразных частиц алюминия в свободных условиях: 2 – по ДГИ (2.19), 3 – по Риттингеру (2.20).

Следует заметить, что для пластинчатых и дискообразных частиц скорость витания в свободных условиях может быть описана и линейной зависимостью примерно с такой же точностью, как и логарифмической.

Во всех случаях при увеличении эквивалентного диаметра скорость витания частиц увеличивается. Выполненные расчеты позволяют заключить, что интервалы применения той или иной формулы для определения скорости витания частиц различной формы в восходящей

струе являются довольно размытыми. Многими авторами в ходе экспериментальных и аналитических исследований предложено достаточно большое число соотношений для определения скорости, дающих отклонения от экспериментальных данных, особенно для частиц такой сложной и многообразной формы, какими представлен многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции после дробления. В различных литературных источниках принимаются разные допущения, часто дающие отклонения значений друг от друга на порядок [72, 91, 92, 95, 96]. В данной работе для вычислений были приняты наиболее широко употребляемые аналитические выражения, имеющие низкие отклонения от экспериментальных данных.

Таблица 2.6

Расчетные значения скорости витания пластинчатых частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции по методике, изложенной в работах [26, 91]

Размеры частиц ($b \times l \times h$), мм	Эквивалентный диаметр, d_3 , см	Коэффициент сферичности, K_s	Скорость эквивалентная (витания), м/с
Гетинакс			
5x5x1,1	0,375	0,619	10,94
10x10x1,1	0,595	0,455	13,65
15x15x1,1	0,779	0,369	15,53
20x20x1,1	0,944	0,315	17,03
ПВХ			
5x5x0,85	0,344	0,554	10,43
10x10x0,85	0,546	0,399	13,01
15x15x0,85	0,715	0,320	14,81
20x20x0,85	0,866	0,271	16,23
Медь			
5x5x0,9	0,35	0,567	28,39
10x10x0,9	0,556	0,411	35,42
15x15x0,9	0,729	0,331	40,31

Окончание табл. 2.6

1	2	3	4
20x20x0,9	0,883	0,281	44,19
Алюминий			
5x5x0,9	0,35	0,567	15,76
10x10x0,9	0,556	0,411	19,67
15x15x0,9	0,729	0,331	22,39
20x20x0,9	0,883	0,281	24,548
Резина			
5x5x1,1	0,375	0,619	11,35
10x10x1,1	0,595	0,455	14,16
15x15x1,1	0,779	0,369	16,12
20x20x1,1	0,944	0,315	17,67

В рабочем пространстве сепаратора движение частиц не будет свободным, а будет подчиняться законам стесненного перемещения. В связи с этим необходимо исследовать параметры такого вида движения.

2.2.3 Определение скоростей витания частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в стесненных условиях

Для описания перемещения массы частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции, движущихся в рабочем пространстве пневматического сепаратора, необходимо использовать закономерности стесненного движения. Стесненность перемещения будет определяться количеством и размером частиц, их взаимодействием между собой и со стенками аппарата.

Скорость стесненного движения материала находится в сложной зависимости от степени его разрыхленности. Для определения расчетных теоретических значений скорости стесненного движения также предложено большое количество различных методик, которые можно разделить на две группы в зависимости от гипотезы, составляющей основу при рассмотрении перемещения массы частиц. По одной группе гипотез

масса частиц уподобляется фильтрационной системе, через которую движется поток среды, направленный вертикально снизу вверх; по другой – рассматривается падение индивидуальной частицы в среде в массе других частиц. Соответственно получены различные выражения для расчета скорости стесненного движения.

Одной из наиболее широко применяемых является методика расчета скорости стесненного движения, полученная Лященко на базе экспериментального материала:

$$V_{cm} = V_{вum} m^{\lambda}, \quad (2.21)$$

где $V_{вum}$ – скорость витания частиц в свободных условиях, m – коэффициент разрыхленности слоя материала, λ – показатель степени, зависящий от характеристик материала.

Коэффициент разрыхленности m является величиной, обратно пропорциональной концентрации частиц в единице объема рабочего пространства сепаратора. При этом, чем выше концентрация частиц в единице объема сепаратора, тем меньше значение разрыхленности m .

Как указывается во многих работах [92, 95], показатель λ существенно зависит от числа Рейнольдса и может изменяться в пределах от 2,5 до 4,5. В этих же работах приводится график зависимости $\lambda = f(Re)$ для шарообразных частиц, с помощью которого можно найти значение λ , зная величину числа Рейнольдса для условий свободного падения. Значения параметра λ , определенные по указанной выше методике графическим путем, представлены в табл. 2.7.

Анализ данных табл. 2.7 позволяет выделить диапазоны значений эквивалентного диаметра частиц, в которых параметр λ изменяется в определенных интервалах [99]. Например, для всех материалов получены следующие диапазоны диаметров частиц: 0,3-0,9, 0,9-1,5мм.

Таблица 2.7

Значения параметра λ для частиц различной крупности в зависимости от разрыхленности материала

Диаметр эквивалентный, d , мм	Разрыхленность														
	$m = 0,9$			$m = 0,8$			$m = 0,7$			$m = 0,6$			$m = 0,5$		
	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина
0,3	2,95	3,65	4,72	2,62	3,46	4,7	2,60	3,47	4,33	2,49	3,39	4,21	2,45	3,24	4,03
0,4	2,82	3,61	4,32	2,58	3,31	4,42	2,55	3,38	4,06	2,42	3,26	4,19	2,39	3,1	3,8
0,5	2,75	3,47	4,26	2,50	3,32	4,2	2,49	3,39	4,0	2,4	3,24	3,88	2,31	3,08	3,49
0,6	2,67	3,46	4,10	2,45	3,27	4,08	2,36	3,26	4,14	2,37	3,21	3,75	2,31	3,2	3,3
0,7	2,64	3,44	4,20	2,41	2,72	4,07	2,34	3,12	4,0	2,34	2,90	3,47	2,28	2,80	3,12
0,8	2,59	3,50	4,18	2,40	2,33	4,2	2,34	2,79	3,90	2,27	2,70	3,31	2,23	2,65	3,05
0,9	2,45	3,40	4,09	2,33	2,28	4,01	2,32	2,65	3,71	2,28	2,58	3,21	2,27	2,37	2,8
1,0	2,40	3,3	3,52	2,3	2,24	3,46	2,27	2,26	3,33	2,27	2,22	2,65	2,26	2,03	2,6
1,2	2,37	3,10	3,38	2,26	2,02	3,41	2,23	2,04	3,24	2,24	2,15	2,58	2,23	2,06	2,44
1,5	2,23	2,90	3,30	2,28	2,18	3,08	2,20	2,1	2,79	2,21	2,06	2,28	2,25	2,0	2,3

В пределах первого диапазона параметр λ уменьшается с более высокой скоростью. В следующем диапазоне крупности частиц значения λ снижаются менее интенсивно. Для самых тяжелых частиц – частиц меди – параметр λ снижается относительно равномерно от значения 2,95 до 2,45 в первом диапазоне изменения диаметра и от 2,45 до 2,23 во втором. Легкие частицы резины имеют наибольший разброс значений λ : от 4,03-4,72 до

2,8-4,09 в первом диапазоне и от 2,8-4,0 до 2-3,3 во втором в зависимости от разрыхленности. При снижении разрыхленности параметр λ уменьшается для всех исследованных материалов, однако скорость этого изменения различна.

Изменение параметра λ для меди, алюминия и резины в зависимости от величины эквивалентного диаметра и разрыхленности материала представлено на рис. 2.15.

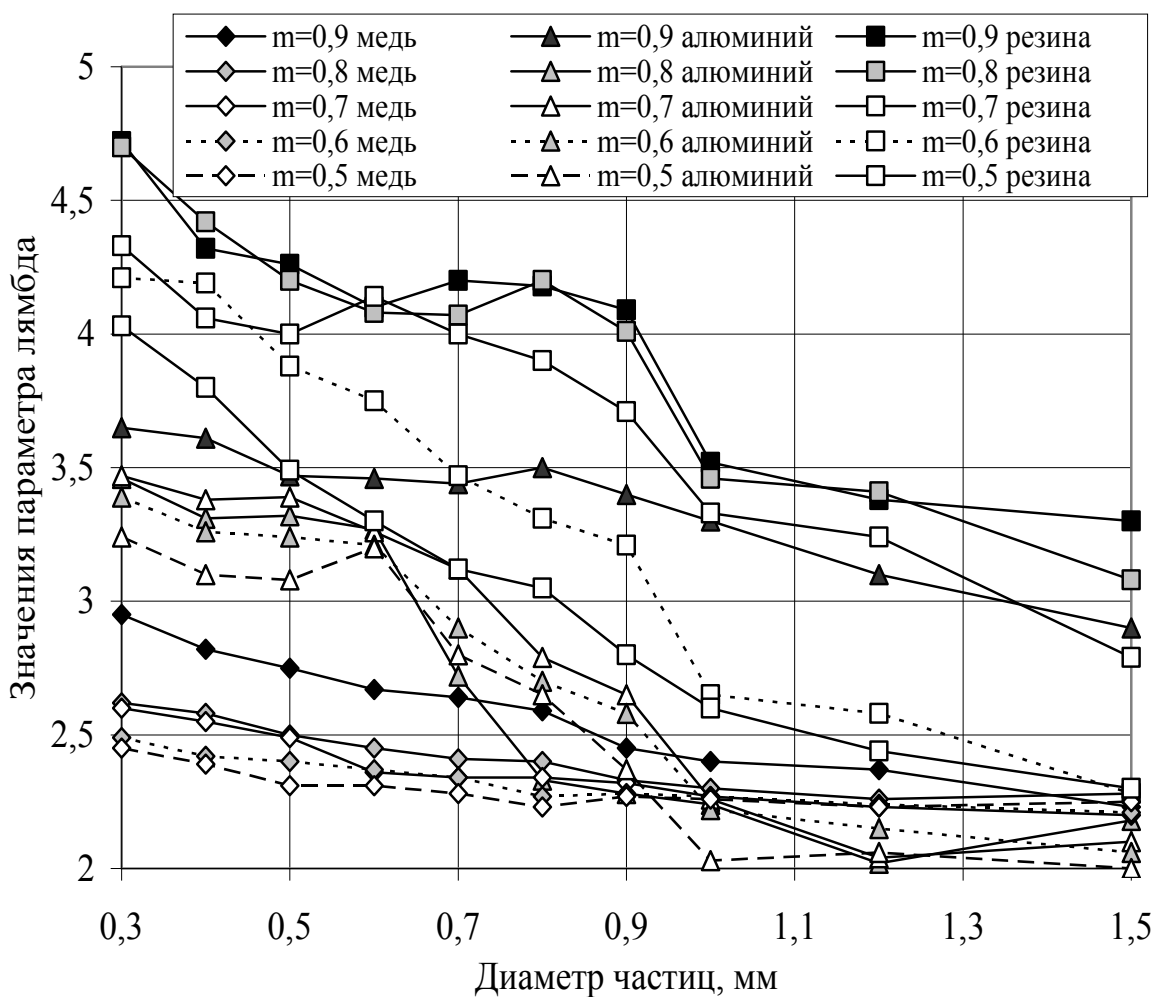


Рисунок 2.15. Изменение параметра λ для разных материалов в зависимости от диаметра частиц и разрыхленности.

Из приведенных данных следует, что наибольшие значения λ соответствуют максимальной разрыхленности. При увеличении диапазона крупности скорость изменения этого параметра уменьшается.

В работе [71] приведена зависимость, позволяющая определять скорость витания в стесненных условиях в широком диапазоне режимов движения в зависимости от разрыхленности с использованием критерия Архимеда, предложенная О.М. Тодесом и другими. Сначала рассчитывается критерий Рейнольдса для стесненных условий, а затем скорость стесненного витания по соотношениям:

$$Re_{cm} = Ar * m^{4.75} / (18 + 0.6 (Ar m^{4.75}))^{1/2} . \quad (2.22)$$

$$V_{cm} = Re_{cm} * \nu / d_3 . \quad (2.23)$$

Здесь Ar – критерий Архимеда, m – разрыхленность.

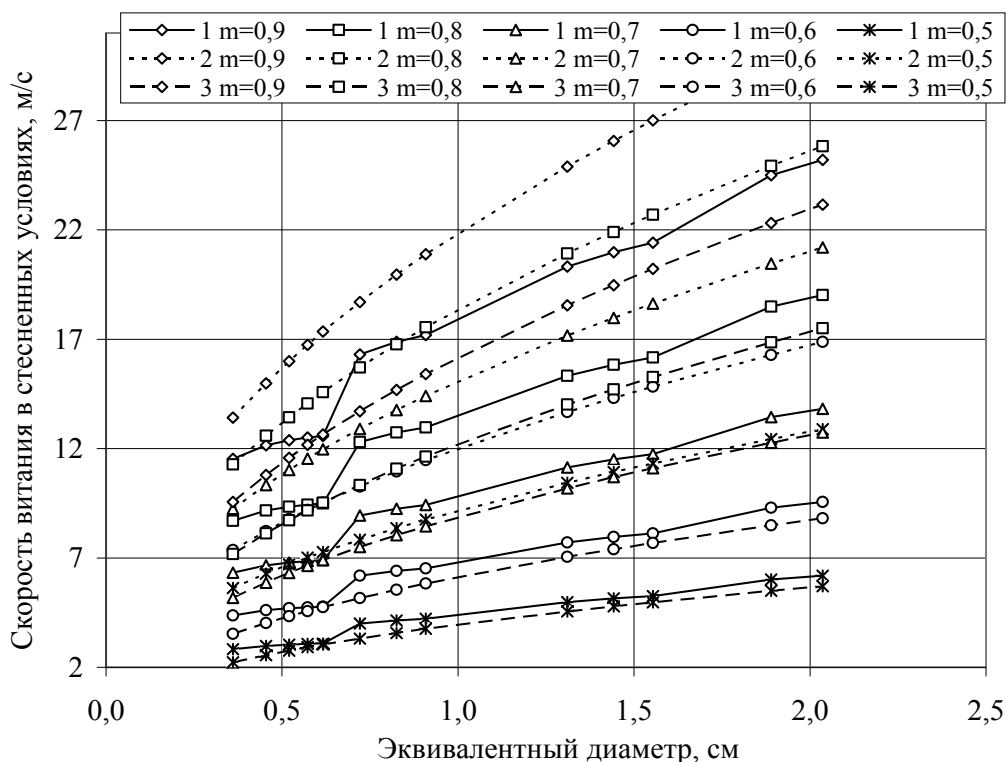


Рисунок 2.16. Скорость стесненного витания частиц алюминия.

Как и в случае определения скорости свободного витания расчеты выполнены также по методике ДГИ. Сравнение результатов в графической

форме представлено на рис. 2.11 и 2.12 по методам: 1- Лященко П.В., 2 – ДГИ, 3 – Тодеса О.М.

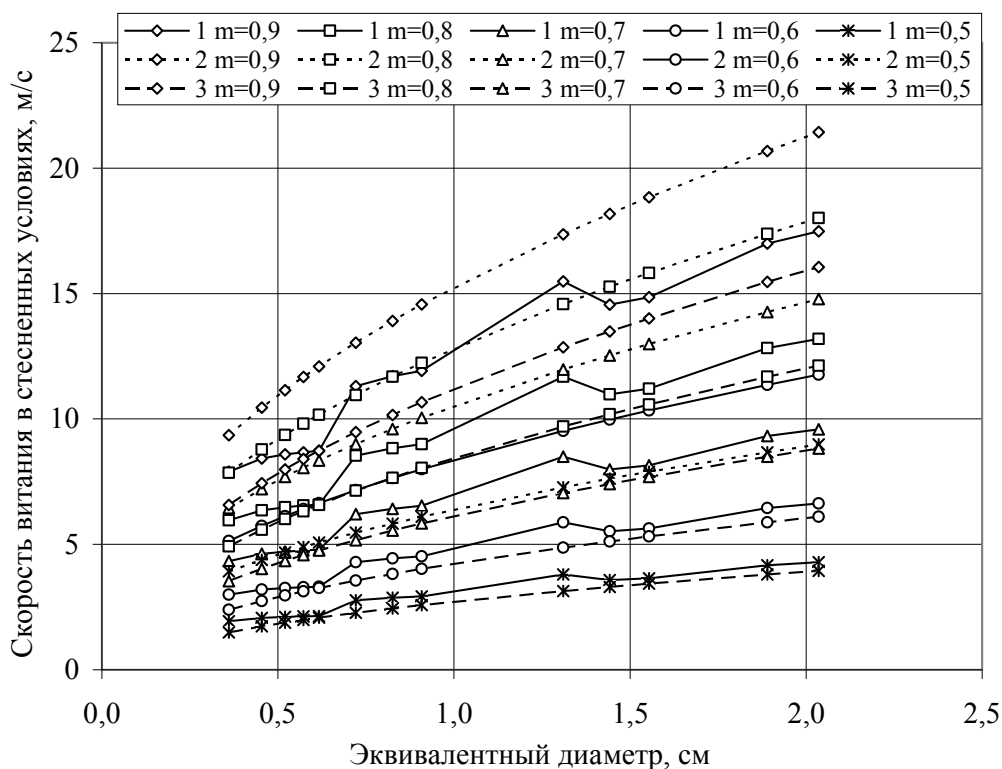
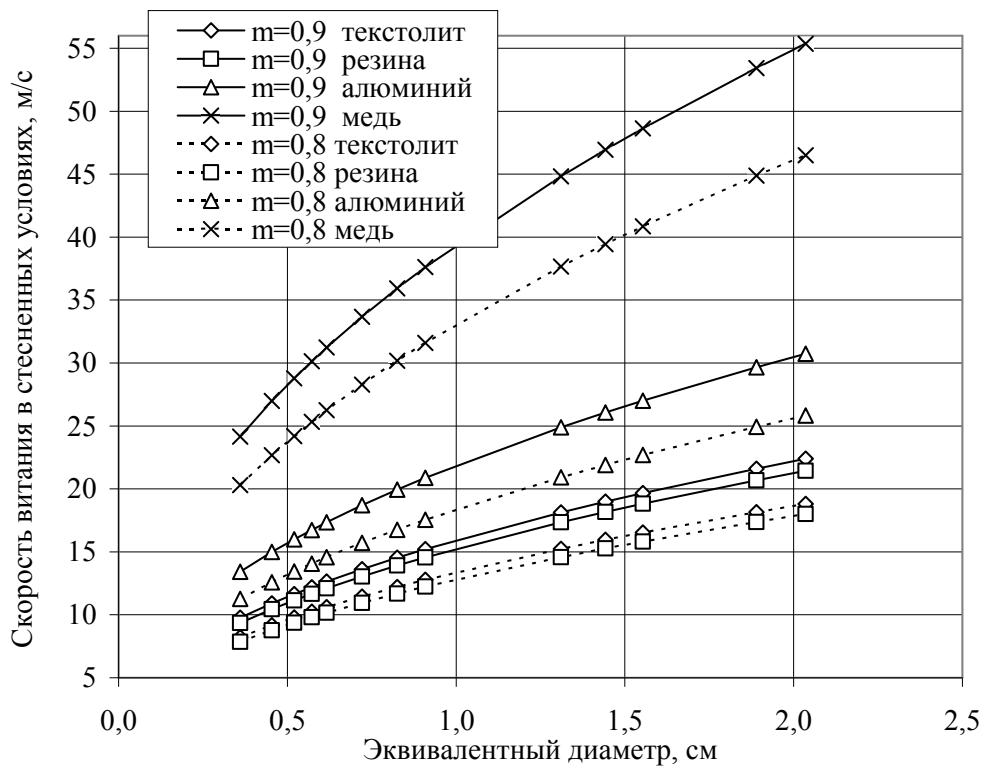


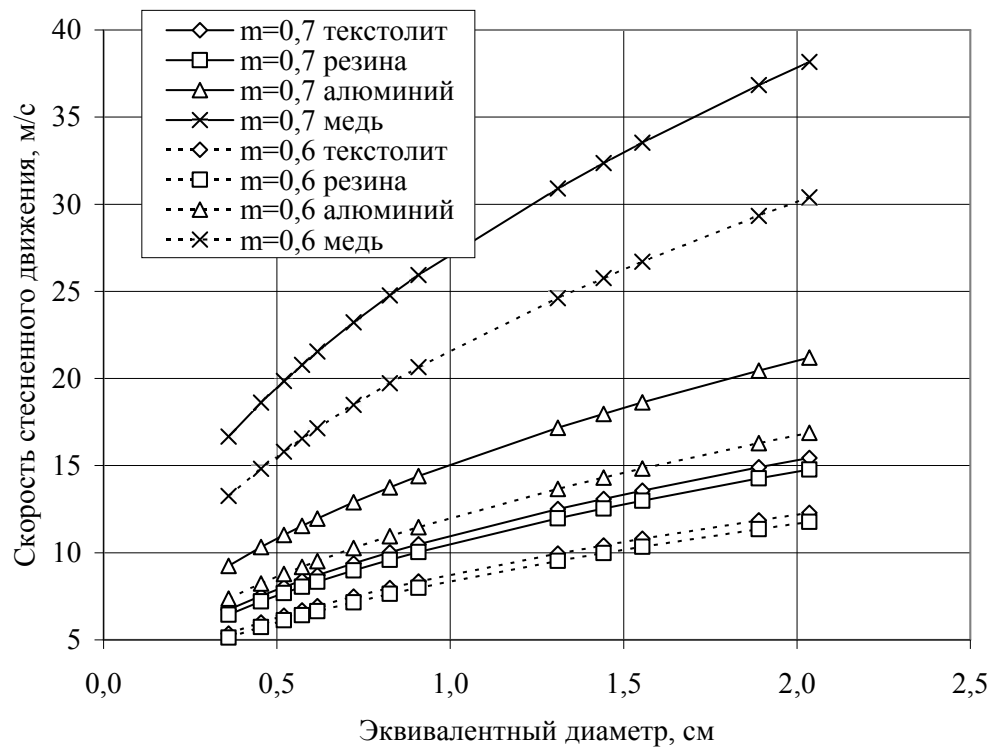
Рисунок 2.17. Скорость стесненного витания частиц резины.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что значения скорости витания в стесненных условиях, определенные по методу Лященко и Тодеса дают результаты, отличающиеся на 6-20%. Расчетные скорости витания по методу ДГИ несколько превышают эти значения (на 12-28%) и при увеличении эквивалентного диаметра частиц и разрыхленности этот разрыв увеличивается. Тем не менее, последняя указанная методика имеет минимальное количество вычислений и удобна в использовании как для определения параметров движения частиц в свободных условиях, так и для стесненных условий.

Скорости витания частиц эквивалентного диаметра в стесненных условиях для исследованных материалов, рассчитанные по методике, приведенной в работе [26], в зависимости от разрыхленности представлены в графической форме на рис. 2.18-2.19, а для алюминия и резины, которые будут подвергаться сепарации – на рис. 2.20.



a



b

Рисунок 2.18. Скорости витания частиц эквивалентного диаметра в стесненных условиях при высокой разрыхленности и при ее снижении: а – $m = 0,9-0,8$, б – $m = 0,7-0,6$.

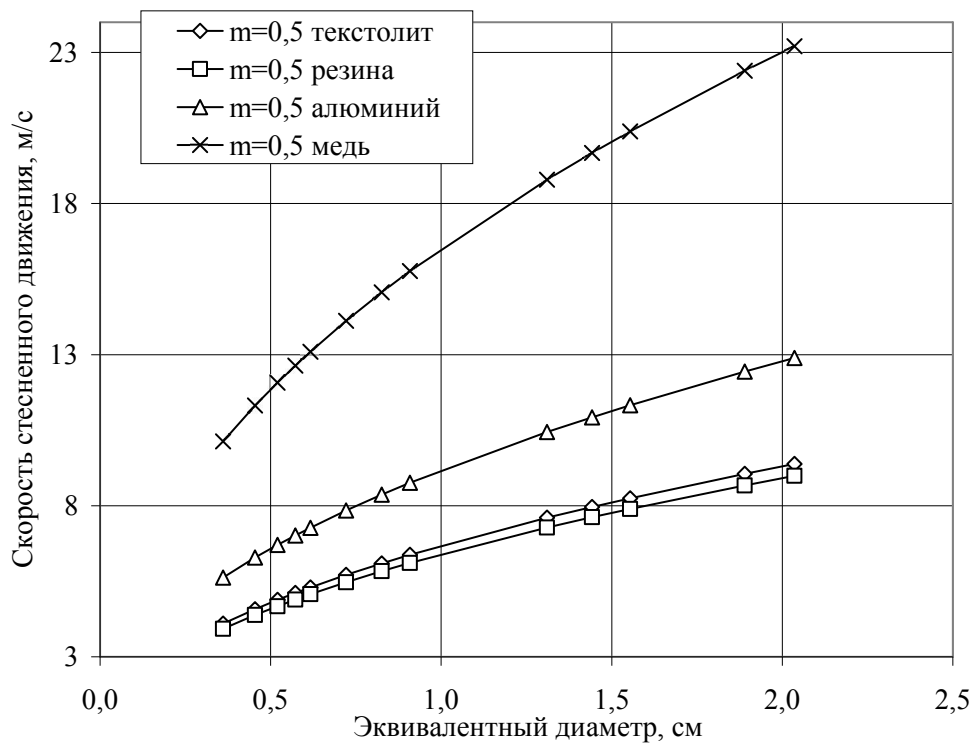


Рисунок 2.19. Скорость витания в стесненных условиях при снижении разрыхленности до 0,5.

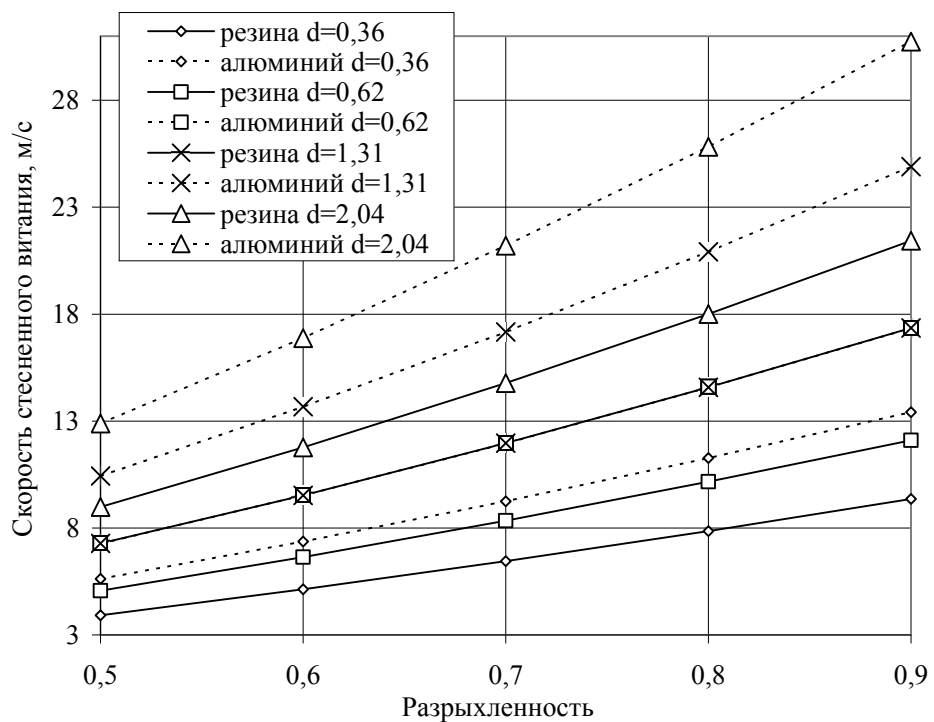


Рисунок 2.20. Зависимость скорости витания в стесненных условиях от разрыхленности для алюминия и резины.

Из графиков, представленных на рис. 2.18-2.19 можно заключить, что для всех материалов сохраняется снижение скорости витания в стесненных условиях при снижении разрыхленности. Изоляционные материалы - текстолит и резина – имеют близкие значения скорости витания в разных условиях, следовательно, их разделение между собой будет затруднено.

Данные, приведенные на рис. 2.20, показывают, что частицы резины с эквивалентным диаметром 1,31 см имеют значения скорости витания в стесненных условиях практически равные скоростям частиц алюминия с эквивалентным диаметром 0,62 см. Такие частицы являются равнопадаемыми, что необходимо учесть при выборе шкалы классификации материала.

При анализе результатов, полученных по методике ДГИ, установлено, что соотношение скоростей витания в стесненных условиях для «соседних» значений разрыхленности всех эквивалентных диаметров любых материалов подчиняется определенной закономерности и равняется одному и тому же постоянному коэффициенту. Это связано с тем, что в области, где $Re_{cm} > 1500-2000$, параметры A и n из формулы (2.19) остаются постоянными. Результаты сравнения приведены в табл. 2.8.

Анализ данных табл. 2.8 позволил установить следующие закономерности для турбулентного режима движения частиц эквивалентного диаметра в стесненных условиях:

1) соотношение скоростей витания, определенных по методике ДГИ, для разрыхленности, изменяющейся на шаг $\Delta m = -0,1$, не зависит от диаметра частиц и плотности вещества и является величиной постоянной; 2) при снижении разрыхленности значение этого соотношения увеличивается.

Для скоростей, определенных по методике Годеса О.М., указанная закономерность в целом сохраняется при незначительных колебаниях значения соотношения скоростей вблизи некоторого среднего значения.

**Соотношение скоростей витания в стесненных условиях при разной
разрыхленности**

Диаметр эквивалентный, см	Соотношение скоростей витания V_{mi}/V_{mi+1}							
	по формуле (2.19)				по формуле (2.23)			
	$V_{0.9}/V_{0.8}$	$V_{0.8}/V_{0.7}$	$V_{0.7}/V_{0.6}$	$V_{0.6}/V_{0.5}$	$V_{0.9}/V_{0.8}$	$V_{0.8}/V_{0.7}$	$V_{0.7}/V_{0.6}$	$V_{0.6}/V_{0.5}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
резина								
0,361	1,190	1,218	1,256	1,310	1,336	1,393	1,476	1,604
0,454	1,190	1,218	1,256	1,310	1,332	1,388	1,466	1,587
0,520	1,190	1,218	1,256	1,310	1,330	1,385	1,462	1,579
0,572	1,190	1,218	1,256	1,310	1,329	1,383	1,459	1,574
0,617	1,190	1,218	1,256	1,310	1,329	1,382	1,458	1,571
0,721	1,190	1,218	1,256	1,310	1,327	1,380	1,454	1,565
0,825	1,190	1,218	1,256	1,310	1,327	1,379	1,452	1,561
0,909	1,190	1,218	1,256	1,310	1,326	1,378	1,451	1,558
1,310	1,190	1,218	1,256	1,310	1,325	1,376	1,447	1,551
1,442	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,376	1,447	1,550
1,554	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,376	1,446	1,549
1,890	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,375	1,445	1,547
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,036	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,375	1,445	1,547
Среднее значение					1,327	1,380	1,454	1,565
алюминий								
0,361	1,190	1,218	1,256	1,310	1,332	1,387	1,466	1,586
0,454	1,190	1,218	1,256	1,310	1,329	1,383	1,459	1,574

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,520	1,190	1,218	1,256	1,310	1,328	1,381	1,456	1,568
0,572	1,190	1,218	1,256	1,310	1,327	1,380	1,454	1,565
0,617	1,190	1,218	1,256	1,310	1,327	1,380	1,453	1,562
0,721	1,190	1,218	1,256	1,310	1,326	1,378	1,451	1,558
0,825	1,190	1,218	1,256	1,310	1,325	1,377	1,449	1,555
0,909	1,190	1,218	1,256	1,310	1,325	1,377	1,448	1,553
1,310	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,375	1,446	1,549
1,442	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,375	1,445	1,548
1,554	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,375	1,445	1,547
1,890	1,190	1,218	1,256	1,310	1,324	1,374	1,444	1,546
2,036	1,190	1,218	1,256	1,310	1,323	1,374	1,444	1,545
Среднее значение					1,327	1,380	1,454	1,565

Анализ соотношений скоростей стесненного витания для условий движения в турбулентном режиме при постоянстве параметров A и n определил следующие зависимости. По методике, изложенной в работах [26, 90, 91]:

$$V_{cm} = Re_{cm} \mu / d \Delta, \quad (2.24)$$

$$V_{cm} = \mu (A Re^2 \psi_{cm})^n / d \Delta = \mu (A Re^2 \psi_0 m^3)^n / d \Delta = (A Re^2 \psi_0 m^3)^n v / d. \quad (2.25)$$

Отсюда при условии постоянства значений A , n , $Re^2 \psi_0$ и d :

$$V_{cm\ mi} / V_{cm\ mi+1} = (m_i / m_{i+1})^{3n}, \quad (2.26)$$

$$V_{cm\ mi+1} = V_{cm\ mi} * (m_{i+1} / m_i)^{3n}, = V_{cm\ mi} * k_v \quad (2.27)$$

где $k_i = (m_{i+1} / m_i)^{3n}$ при изменении разрыхленности от высоких значений к более низким: $m_i = 0,9$, $m_{i+1} = m_i - 0,1 = 0,8$ и т.д.

Такой зависимости могут подчиняться только расчетные значения скоростей, т.к. в реальных условиях стесненного движения частицы несферической формы будут располагаться в восходящем потоке воздуха случайным образом.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что в принципе может быть достигнуто эффективное разделение такого сложного по составу и свойствам объекта как частицы многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции гравитационными методами. В качестве обогатительного аппарата экономически целесообразным является использование пневматического сепаратора, где разделение происходит в восходящем потоке воздуха.

Расчетные значения скорости стесненного перемещения частиц металлов и изоляции различной крупности и формы свидетельствуют о том, что наибольшая эффективность разделения достигается для наиболее крупных и тяжелых частиц.

Изоляционные материалы - текстолит и резина – имеют близкие значения скорости витания в разных условиях и их разделение между собой будет затруднено.

На основе расчетных скоростей витания частиц резины и алюминия определены равнопадающие частицы, что необходимо учесть при выборе шкалы классификации материала.

2.3 Экспериментальное определение аэродинамических характеристик компонентов лома кабельно-проводниковой продукции

Полученные расчетные значения скоростей витания необходимо проверить путем проведения прямых экспериментов.

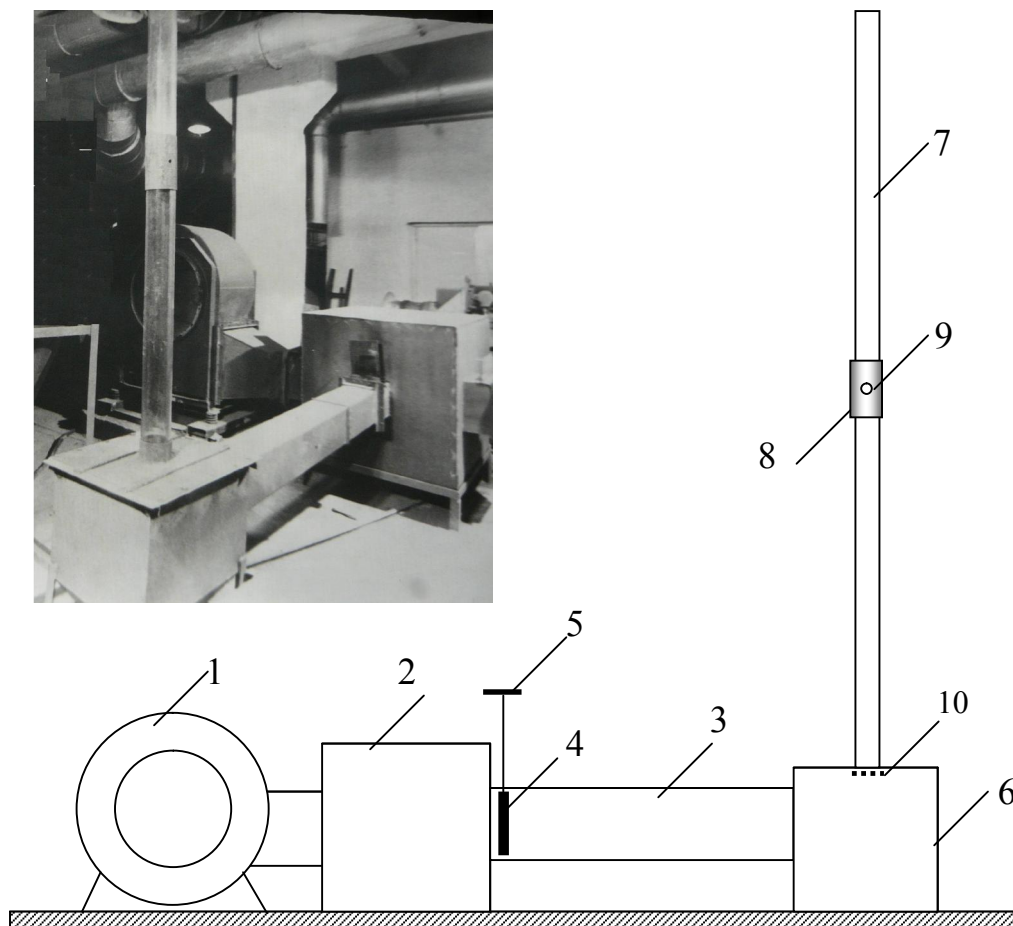


Рисунок 2.21. Измерительный стенд для определения скорости витания частиц: 1 – вентилятор, 2 – ресивер, 3 – газоход, 4 – шибер, 5 – штурвал, 6 – бункер, 7 – прозрачная трубка, 8 – соединительная вставка, 9 – отверстия в соединительной вставке, 10 – сетка.

Для этого из материалов, составляющих многокомпонентный лом кабельно-проводниковой продукции, были изготовлены частицы правильной геометрической формы – шарики, цилиндры и пластинки.

Определение скорости витания выполнялось на специальном лабораторном стенде, собранном в лаборатории института ДонНИПИЦМ, общий вид и принципиальная схема которого представлены на рис. 2.21. Стенд оснащен вентилятором, ресивером, прямоугольным газходом и бункером, на котором установлена измерительная трубка из прозрачного оргстекла диаметром 150мм.

В прямоугольном газоходе длиной 2м на выходе из ресивера смонтирован вертикально перемещающийся шибер. Перемещение шибера осуществляется с помощью винта со штурвалом, который может вращаться в крепежном седле. На стенке ресивера имеется шкала, по которой определяется высота подъема шибера и скорость потока в рабочем канале. Определение скорости витания выполнялось с помощью трубки, состоящей из двух частей длиной по 1м, соединенных металлической вставкой. Вставка имеет два взаимно перпендикулярных отверстия в боковых стенках для ввода пьезометрической трубки Пито-Прандтля и микроманометра, с помощью которых определялся динамический напор потока воздуха. Диаметр отверстий 11мм. Предварительно проводилась тарировка индикаторной шкалы. Для стабилизации потока и относительно равномерного распределения его скорости по сечению трубки в верхней части бункера смонтирован стабилизатор потока, представляющий собой набор взаимно перпендикулярных пластин, обтянутых сеткой с ячейкой 1.25мм.

Скорость потока определялась по формуле:

$$V = (2g k P_{дин.} / \Delta)^{1/2} , \quad (2.28)$$

где $P_{дин.}$ – динамический напор, м; Δ - плотность воздуха, k – коэффициент, равный для данных измерений 0,93 (по данным работы [71]).

Тарировочными экспериментами установлено, что при повышении расхода воздуха распределение потока становится менее равномерным и скорость в пристеночных областях все больше отстает от центральной части канала.

Перед выполнением экспериментов были подготовлены частицы различных материалов определенной формы с определенными известными размерами. В ходе исследований частица располагалась на сетке, затем скорость потока постепенно наращивалась до тех пор, пока частица не

поднималась в трубке и не находилась во взвешенном состоянии. За скорость витания принималась скорость потока воздуха, при достижении которой частица перемещалась по протяженности прозрачного цилиндра, не выходя за его пределы. Каждый опыт повторялся 5 раз. Экспериментальные значения приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9.

Экспериментальные значения скоростей витания для частиц разных материалов и формы в свободных условиях

Размер частиц, мм	Средняя скорость витания, м/с	Дисперсия	Ошибка	Точность, %
1	2	3	4	5
Цилиндрическая форма				
Алюминий				
10x10	22,4	0,02	0,17	0,83
5x5	16	0,01	0,13	0,12
5x10	17,1	0,127	0,44	2,6
5x15	18,2	0,08	0,35	2
Текстолит				
10x10	16,5	0,085	0,36	2,18
5x10	13,8	0,02	0,17	1,23
5x5	13,4	0,1	0,39	2,9
5x15	14,2	0,045	0,26	1,83
Гетинакс				
10x10	16	0.027	0.2	1.25
Резина				
5x5	12.1	0.03	0.21	1.73
5x10	13.4	0.035	0.23	1.71

Окончание табл. 2.9

1	2	3	4	5
Пластинчатая форма				
Алюминий				
20x20	17,5	0.05	0.28	2.88
10x10	13,6	0.037	0.24	2.6
Резина				
20x20	11,1	0.028	0.2	2.56
10x10	9,1	0.048	0.27	3.91
Гетинакс				
20x20	8.7	0.022	0.18	2.3
10x10	8.3	0.015	0.17	2
Пластик				
20x20	10,2	0.052	0.28	3.63
10x10	8,3	0.02	0.17	2.32
Кубическая форма				
Резина				
20x20x20	22,1	0.053	0.28	1.4
15x15x15	17,8	0.045	0.27	1.6
10x10x10	15,1	0.04	0.25	1.5
5x5x5	10,9	0.04	0.25	2.2
Шарообразная форма				
Алюминий				
D = 10	24,6	0.018	0.164	0.7
D = 5	18,6	0.02	0.174	0.9

Сравнительные данные для расчетных и определенных экспериментально значений скоростей витания в свободных условиях частиц правильной геометрической формы представлены в табл. 2.10.

Сравнение данных, приведенных в табл. 2.10, свидетельствует о том, что практически для всех частиц правильной геометрической формы расчетные скорости превышают экспериментально определенные на 1-8 м/с. Исключение составляют частицы шарообразной формы, для которых отличие в расчетных и фактических скоростях витания незначительно и не превышает 7%.

Таблица 2.10.

Статистическая оценка результатов вычислений и эксперимента

Размер частиц, мм	Скорость витания, м/с		Отклонение	
	экспериментальная	расчетная	абсолютное	относительное, %
1	2	3	4	5
Цилиндрическая форма				
Алюминий				
10x10	23,6	27,8	4,2	15,1
5x5	17,4	19,9	2,5	12,6
5x10	18,9	22,3	3,4	15,2
5x15	19,8	23,8	4,0	16,8
Текстолит				
10x10	17,5	20,2	2,7	13,4
5x10	13,8	14,5	0,7	4,8
5x5	13,6	16,2	2,6	16,0
5x15	14,7	17,3	2,6	15,0
Гетинакс				
10x10	16	18,7	2,7	14,4

Продолжение табл. 2.10

1	2	3	4	5
Резина				
5x5	12,0	13,9	1,9	13,6
5x10	13,4	15,5	2,1	13,5
Пластинчатая форма				
Алюминий				
20x20x0,9	17,5	24,5	7	28,6
10x10x0,9	13,6	19,7	6,11	31,0
Резина				
20x20x1,1	12,1	17,7	5,6	31,6
10x10x1,1	9,9	14,2	4,3	30,3
Пластик				
20x20x0,85	10,6	16,2	5,6	34,6
10x10x0,85	8,8	13,0	4,2	32,3
Кубическая форма				
Резина				
20x20x20	25,1	28,1	3	10,7
15x15x15	21,8	24,5	2,7	11,0
10x10x10	18,1	20,1	2	10,0
5x5x5	12,9	14,4	1,5	10,4
Шарообразная форма				
Алюминий				
D = 10	24,6	26,1	1,8	5,75
D = 5	18,4	18,7	0,3	1,6

Для оценки закономерностей движения частиц в массовом потоке проводились эксперименты по определению скоростей движения частиц в стесненных условиях – подготавливались пробы, состоящие из

искусственных смесей частиц изоляционных материалов (полихлорвинила и резины), проводников тока.

Методика исследования состояла в следующем. Искусственным путем с помощью надфилей подготавливались частицы шарообразной формы с известным объемом. Проба формировалась таким образом, чтобы слой частиц был равномерным при минимальном их количестве. Было установлено, что такое условие может быть достигнуто при количестве частиц поливинилхлорида 1640 и 3280 штук, объемом $2,44 \times 10^{-8} \text{ м}^3$.

Скорость подачи воздуха в воздуховод и далее в измерительную трубку, заполненную исследуемыми частицами в определенном количестве, изменялась с помощью поднимания или опускания шибера. При подаче воздуха материал разрыхлялся, и контролировалась высота разрыхленного слоя. Коэффициент разрыхления при известном объеме частиц определялся по формуле:

$$m = (V_c - V_{ш}) / V_c, \quad (2.29)$$

где V_c – объем слоя частиц, $V_{ш}$ - суммарный объем частиц шарообразной формы.

За скорость витания принята скорость потока воздуха, при которой частицы равномерно распределялись в разрыхленном слое и оставались в его пределах без разброса их по высоте цилиндрической трубки.

Затем по методике [26] рассчитана теоретическая скорость витания частиц и выполнено ее сравнение с фактически определенной при проведении экспериментов.

Аналогичным образом выполнялись измерения и вычисления, и определялась скорость витания частиц из резины, имеющих форму усеченного конуса. Такие частицы были специально изготовлены вручную с помощью надфилей. Расчеты выполнялись с учетом диаметра эквивалентного шара. Для этой серии экспериментов разрыхление слоя частиц начиналось при скорости потока 19 м/с, что ниже расчетной скорости витания. По-видимому, данный факт может быть объяснен,

исходя из повышенной крупности искусственно полученных зерен. При проведении экспериментальных исследований скоростей витания частиц каждое измерение дублировалось, и находились средние значения. Сравнение расчетных и экспериментальных данных представлено в табл. 2.11.

Таблица 2.11

**Расчетные и экспериментально полученные скорости витания частиц
в стесненных условиях**

Размер частиц, мм	Коэффициент разрыхления	Скорость витания, м/с		Отклонение, %
		расчетная	экспериментальная	
Шарообразные частицы полихлорвинила				
D = 2.44	0,8	6,4	5,3	17,2
	0,9	7,6	6,6	13,2
	0,96	8,3	7,6	8,4
	0,98	8,6	8,5	1,2
	0,99	8,7	8,9	2,3
Частицы в виде усеченного конуса из резины				
dxDxh = 16x20x30	0,86	22,3	19,0	13,2

Анализ данных табл. 2.11 свидетельствует о том, что полученная экспериментально скорость витания частиц в стесненных условиях ниже расчетной. Расхождения значений находятся в пределах 2,3-17,2%. Снижение измеренной скорости витания частиц по сравнению с расчетной может быть связано с неучтенным взаимодействием частиц при столкновениях друг с другом. Это полностью согласуется с выводами, полученными в работе [71], в которой приводятся данные по изучению влияния концентрации частиц на условия гравитационного разделения в воздушном потоке, т.е. фактически разрыхленности.

Для сравнения расчетных, экспериментальных данных для частиц правильной формы и данных для реальных зерен, получаемых в ходе подготовки многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции к сепарации, проведены расчеты именно для таких частиц при их перемещении в восходящем воздушном потоке. Пробы материала были получены в реальных условиях в результате дробления однородного сырья кабельного лома в ножевой дробилке СМД-149. Исследование скоростей витания частиц выполнялось путем расчета скоростей для металлических и неметаллических зерен максимального и минимального размера, а также выполнялись расчеты с учетом распределения компонентов по классам крупности.

В качестве исходного материала рассматривались частицы резины и алюминия крупностью 2.5-5 мм. Для таких частиц произведен расчет для выявления значения пределов изменения транспортной скорости, обеспечивающей вынос зерен из зоны разделения компонентов, а также взаимозасорения материалов.

Расчет скорости витания проводился по методике, приведенной выше. Металлические частицы в основном имеют форму цилиндров с диаметром 1.72 мм, частицы изоляции – полых цилиндров с внутренним диаметром 1.72 мм и толщиной стенки 0,9 мм. Результаты расчетов при различной разрыхленности материала представлены в табл. 2.12.

Данные табл. 2.12 подтверждают положение о том, что при увеличении разрыхленности слоя частиц в рабочем пространстве сепаратора скорость витания увеличивается. При высокой разрыхленности слоя значение скорости витания в стесненных условиях приближается к полученному для свободных условий перемещения.

Это свидетельствует о том, что в целях поддержания необходимой производительности пневматического сепаратора следует подбирать рациональную разрыхленность слоя частиц, обеспечивающую приемлемое взаимозасорение продуктов.

Таблица 2.12.

**Расчетные значения скоростей витания компонентов дробленого
лома проводников тока**

Размер частиц, мм	Скорость свобод- ного витания, м/с	Скорость стесненного движения при разрыхленности, м/с				
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Цилиндрические частицы алюминия						
1,72x7	14,97	5,4	7,0	8,8	10,8	12,8
1,72x2	12,25	4,4	5,8	7,2	8,8	10,5
Цилиндрические частицы резины						
7x0,9	11,8	4,2	5,5	6,9	8,5	10,1

Выполненные расчеты и теоретические исследования свойств частиц многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции как объекта гравитационного разделения, а также скоростей перемещения частиц различной формы и массы в свободных и стесненных условиях позволяют сделать следующие выводы:

- ножевая дробилка дает более мелкий продукт по сравнению с молотковой дробилкой; при дроблении в молотковой дробилке максимальное извлечение металла наблюдается в классе 10-20 мм; изоляционный материал сосредоточен в основном в классе 20-40 мм; для ножевой дробилки характерно сосредоточение металлов в классе 2,5-5 мм, для изоляционных материалов наибольшие значения извлечения отмечаются для крупности частиц в пределах 2,5-10 мм;

- зависимости скорости витания частиц от эквивалентного диаметра подтверждают близость значений скорости частиц, рассчитанных по различным методикам, в связи с чем можно использовать методику ДГИ [26] как наиболее простую, универсальную и удобную для расчетов;

- статистический анализ полученных значений расчетной скорости витания в свободных условиях показал, что для всех материалов зависимость скорости от диаметра сферических частиц описывается логарифмической функцией с различными коэффициентами с достаточной степенью приближения (см. табл. 2.5);

- скорость стесненного перемещения частиц алюминия занимает промежуточное положение между наиболее тяжелыми и наиболее легкими частицами меди и резины и имеет значение от 5 до 26 м/с в диапазоне изменения эквивалентного диаметра от 3 до 21 мм.

- получены диапазоны значений эквивалентного диаметра частиц, в которых параметр λ в формуле Лященко для скорости витания в стесненных условиях изменяется в определенных интервалах; в диапазоне диаметров частиц 0,3-0,9 мм параметр λ уменьшается с более высокой скоростью, во втором диапазоне крупности 0,9-1,5 мм значения λ снижаются менее интенсивно; в целом для исследованных материалов параметр λ имеет значения от 2,2 до 4,7; при снижении разрыхленности параметр λ уменьшается для всех исследованных материалов, однако скорость этого изменения различна;

- значения скорости витания в стесненных условиях, определенные по методу Лященко и Годеса дают результаты, отличающиеся на 6-20%; расчетные скорости витания по методу ДГИ несколько превышают эти значения (на 12-28%), при увеличении эквивалентного диаметра частиц и разрыхленности этот разрыв увеличивается; тем не менее, последняя методика имеет минимальное количество вычислений и удобна в использовании как для определения параметров движения частиц в свободных условиях, так и для стесненных условий;

- для всех материалов при уплотнении слоя скорость стесненного перемещения снижается; увеличение эквивалентного диаметра от 3,6 до 20 мм приводит к повышению расчетной скорости стесненного перемещения алюминиевых частиц с 5,6 до 30,7 м/с, для частиц резины этот параметр

изменяется в пределах 4-13 м/с в зависимости от разрыхленности; увеличение различия расчетных скоростей стесненного перемещения частиц алюминия и резины начинается при разрыхленности 0,5 и составляет от 1,5 до 3м/с в зависимости от крупности частиц;

- частицы резины с эквивалентным диаметром 1,31см имеют значения скорости витания в стесненных условиях практически равные скоростям частиц алюминия с эквивалентным диаметром 0,62см; такие частицы являются равнопадаемыми, что необходимо учесть при выборе шкалы классификации материала;

- для всех частиц правильной геометрической формы расчетные скорости витания в свободных условиях превышают экспериментально определенные на 5-16%, исключение составляют частицы с формой, близкой к сферической, для которых отличие в расчетных и фактических скоростях витания незначительно - 2-10%; наибольшие отклонения расчетных значений скорости от измеренных отмечены для частиц пластинчатой формы (28-34%);

- скорость витания частиц в стесненных условиях, полученная экспериментально, ниже расчетной; расхождения значений находятся в пределах 2,3-17,2%; снижение измеренной скорости витания частиц по сравнению с расчетной может быть связано с неучтенным взаимодействием частиц при столкновениях друг с другом в стесненных условиях; при высокой разрыхленности расчетная скорость витания частиц с формой, приближенной к реальной, в стесненных условиях незначительно отличается от полученной для свободных условий перемещения; это свидетельствует о том, что в целях поддержания необходимой производительности пневматического сепаратора следует подбирать рациональную разрыхленность слоя частиц, обеспечивающую приемлемое взаимозасорение продуктов;

- эффективное разделение такого сложного по составу и свойствам объекта как частицы многокомпонентного лома кабельно-проводниковой

продукции может быть достигнуто гравитационными методами; в качестве обогатительного аппарата экономически целесообразным является использование вибропневматического сепаратора, где разделение происходит в восходящем потоке воздуха.

Раздел 3 Лабораторные исследования процессов воздушной сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции

Многолетними разработками в различных отраслях промышленности создано значительное количество пневматических сепараторов для различных целей [115-126]. В зарубежной практике сухой сепарации материалов также имеется много разработок [45, 127, 128]. В разделе 1 работы приведена классификация сепараторов для сухого разделения сыпучих материалов и описаны некоторые из конструкций. На основании анализа сделан вывод о том, что наиболее перспективным направлением является создание пневмовибрационных сепараторов с противоточным движением разделяемых материалов. Установка такого типа и была разработана в применении для отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции [107, 108].

Для обеспечения эффективного транспортирования легкой фракции по верхнему ситы сепаратора создан направленный поток воздуха достаточной величины, который обеспечивается за счет установки верхнего сита с меньшим сопротивлением воздушному потоку, чем у нижнего. Это условие выполняется за счет установки сит с различным размером отверстий ячейки.

Обратный угол наклона рабочей камеры относительно направления действия вибрации к горизонту обеспечивает малую амплитуду подбрасывания материала на ситах в вертикальной плоскости, создавая

условия для раздельного транспортирования материала к месту разгрузки и исключения их перемешивания.

3.1 Определение закономерностей движения материала по верхнему и нижнему ситам сепаратора

Процесс сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции на пневмовибрационном сепараторе имеет характер массового разделения зерен на фракции различной плотности. Для упрощения расчетов рассмотрим характер движения отдельно взятого зерна легкой и тяжелой фракции по соответствующим ситам [107, 108].

Рассмотрим силы, действующие на частицы в рабочей камере сепаратора при разделении, которые показаны на рис. 2.22.

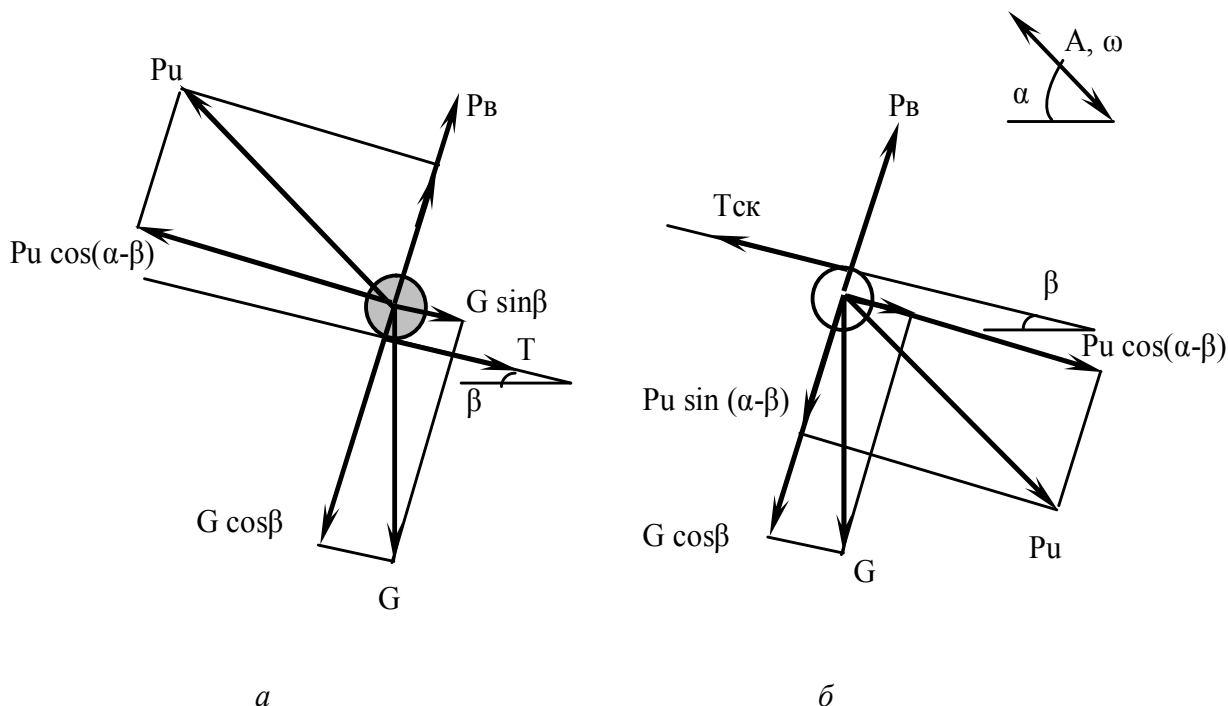


Рисунок 2.22. Силы, действующие на тяжелые (а) и легкие (б) частицы в рабочей камере сепаратора.

На рис. 2.22 обозначено: G – сила тяжести частицы, Н; P_u – сила инерции частицы, Н; T – сила трения частицы по нижнему ситам, Н; $T_{ск}$ – сила трения скольжения частицы по верхнему ситам, Н; P_v – сила давления

воздуха, H ; α - угол, под которым действует возмущающая сила, град.; β – угол наклона сита к горизонту, град.; A – амплитуда колебаний, м; ω – угловая скорость, c^{-1} .

Из равновесия сил, действующих на тяжелые частицы (рис. 2.22, а), вытекает, что для подбрасывания материала на нижнем сите необходимо выполнение следующего условия:

$$G \cos \beta < P_u \sin (\alpha - \beta) + P_B . \quad (2.30)$$

Если условно принять форму частиц близкой к шарообразной, то сила тяжести частицы определится из соотношения:

$$G = \pi d^3 \delta g / 6 , \quad (2.31)$$

где d – диаметр частицы, δ – плотность материала частицы, g – ускорение свободного падения.

Сила давления воздуха пропорциональна квадрату скорости витания частицы:

$$P_B = F V_B^2 \Delta / 3 = \pi d^2 V_B^2 \Delta / 12 . \quad (2.32)$$

Здесь F – площадь сечения частицы, $F = \pi d^2 / 4$; V_B - скорость витания частицы, Δ - плотность воздуха.

Скорость воздушного потока должна выбираться из условия уноса частиц легкого материала, определяемого по величине скорости витания.

Сила инерции частицы может быть определена из выражения:

$$P_u = G A \omega^2 \sin (\alpha - \beta) / g \quad (2.33)$$

После подстановки соотношений (2.31–2.33) в условие подбрасывания тяжелых частиц на нижнем сите (2.33) получим выражение для угловой скорости, которую должен иметь привод сепаратора:

$$\omega_{\text{п}} > [(d g \delta \cos \beta - 0.5 V_{\text{в}}^2 \Delta) / d \delta A \sin (\alpha - \beta)]^{1/2} . \quad (2.34)$$

Для легких частиц сила трения скольжения частицы по верхнему сити определяется как:

$$T_{\text{ск}} = N f , \quad (2.35)$$

где N – нормальная реакция поверхности сита, f - коэффициент трения материала легких частиц о поверхность верхнего сита.

С учетом сил, действующих на легкие частицы (см. рис. 2.22, б), которые прижаты к верхнему сити потоком воздуха, нормальная реакция определится из выражения:

$$N = G \cos \beta + P_u \sin (\alpha - \beta) - P_{\text{в}} . \quad (2.36)$$

Для того, чтобы осуществлялось скольжение легкой частицы по верхнему сити из условия равновесия сил, действующих на нее, необходимо:

$$P_u \cos (\alpha - \beta) + G \sin \beta > f (G \cos \beta + P_u \sin (\alpha - \beta) - P_{\text{в}}) . \quad (2.37)$$

С учетом выражений (2.32-2.33) и (2.36) получим соотношение параметров для определения угловой скорости вращения привода сепаратора, при которой будет происходить скольжение легких частиц по верхнему сити:

$$\omega_c > \{ [d g \delta (f \cos \beta - \sin \beta) - 0.5 V_B^2 \Delta] / [d g \delta A \sin (\alpha - \beta) (\cos (\alpha - \beta) - f \sin (\alpha - \beta))] \}^{1/2}. \quad (2.38)$$

Экспериментами установлено, что на расслоение частиц особое влияние оказывает встряхивающее действие сепаратора. Исходя из этого, режим разделения в сепараторе определяется в основном угловой скоростью, при которой обеспечивается подбрасывание тяжелых частиц на нижнем сите. Таким образом, рабочие значения угловой скорости должны определяться по выражению (2.34) для $\omega_{п}$.

Таким образом, предварительные исследования показали, что для обеспечения разделения отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в рабочем пространстве пневмовибрационного сепаратора необходимы следующие условия.

1. Поднятие зерен материала легких фракций и удержание их на верхнем сите обеспечивается при динамическом напоре воздуха равном

$$P_B = F V_B^2 \Delta / 3.$$

2. Для обеспечения транспортирования частиц материала по верхнему и нижнему сити сепаратора необходима угловая скорость

$$\omega_{п} > [(d g \delta \cos \beta - 0.5 V_B^2 \Delta) / d \delta A \sin (\alpha - \beta)]^{1/2}.$$

3. Для исключения равнопадания частиц различных материалов и взаимного засорения продуктов необходимо выполнять условие: $d_1 / d_2 < (\delta_2 - \Delta) / (\delta_1 - \Delta)$. Следовательно, нужна узкая шкала классификации материала перед пневматическим обогащением.

3.2 Результаты лабораторных экспериментов по разделению отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции

Для проведения исследований вибропневматической сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции была создана лабораторная установка, состоящая из следующих элементов (рис. 2.23): лабораторная модель вибропневматического сепаратора; вибрационный электродинамический стенд ВЭДС-100Б; пневматическая система.

Лабораторная модель вибропневматического сепаратора для наглядности наблюдения за процессом разделения материала, выполнена из прозрачного органического стекла. Динамический режим колебаний модели сепаратора создается вибрационным электродинамическим стендом ВЭДС-100Б.

Модель сепаратора устанавливается посредством опорной рамы на вибрационный стол, являющийся исполнительным органом стенда ВЭДС-100Б. Опорная рама обеспечивает установку требуемого наклона сепаратора и направления действия возмущающей силы.

Пневматический режим работы сепаратора обеспечивается вентилятором с регулируемым расходом воздуха.

Общий вид лабораторной установки показан на рис. 2.23.

Установка вибропневматического сепаратора работает следующим образом. С помощью вибрационного стенда создается определенный динамический режим колебаний модели, передаваемый через вибрационный стол. Частота колебаний модели контролируется по шкале вибрационного стенда, а амплитуда - амплитудником, установленным на модели сепаратора.



Рисунок 2.23. Общий вид лабораторной установки пневмовибрационного сепаратора для разделения лома цветных металлов.

Регулировка расхода воздуха в камере сепаратора осуществляется шиберным устройством, установленным на всасывающем патрубке вентилятора.

Методика проведения экспериментальных исследований вибропневматической сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции заключалась в следующем. Вначале выполнялась подготовка проб материала путем дробления его на дробильном оборудовании. Затем производилось определение гранулометрического и фракционного состава отобранной пробы. На

основании теоретических выводов определялись параметры вибропневматической сепарации на модели.

После настройки режима вибраций проводились непосредственные эксперименты при определенном режиме пневмовибрационной сепарации, определялись количественные и качественные показатели продуктов разделения и выполнялась оценка полученных результатов.

На основании полученной информации проводилась корректировка режима пневмовибрационной сепарации.

После определения режима пневмовибрационной сепарации проводился пассивный эксперимент. В ходе пассивного эксперимента определялось значение и доверительный интервал количественных и качественных показателей пневмовибрационной сепарации отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции.

Качественными показателями, оценивающими работу лабораторной модели пневмовибрационного сепаратора, являются:

- 1) содержание металла в концентрате,
- 2) извлечение металла в концентрат,
- 3) содержание неметалла в отходах,
- 4) извлечение неметалла в отходы,
- 5) эффективность сепарации.

Количественным показателем, оценивающим работу лабораторной модели пневмовибрационного сепаратора, является удельная производительность.

Эффективность процесса разделения определялась по формуле Ханкока-Луйкена [129]. В соответствии с этим критерием эффективность определяется как отношение фактической разности между извлечением данного материала в продукт и выходом этого продукта к теоретически возможной их разности:

$$E = (\varepsilon_m - \gamma_m) / (\varepsilon_{MT} - \gamma_{MT}). \quad (2.39)$$

Здесь ε_m – извлечение металла в соответствующий продукт, γ_m – выход продукта, ε_{MT} – теоретически возможное извлечение данного материала в продукт, γ_{MT} – максимальный теоретически возможный выход продукта в идеальных условиях.

При том, что теоретический максимум извлечения равен единице, а теоретический максимальный выход равен содержанию металла в исходном питании, выражение (2.39) приобретает вид:

$$E = (\varepsilon_m - \gamma_m) / (1 - \beta_{исх}). \quad (2.40)$$

Здесь $\beta_{исх}$ – содержание металла в исходном питании.

Удельная производительность сепаратора определялась из соотношения:

$$q = M / S t. \quad (2.41)$$

Здесь M – масса исходного материала, S – площадь рабочей поверхности сепаратора, t – время сепарации.

Для проведения экспериментальных исследований была подготовлена проба отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции крупностью 1,25-5 мм массой 600 г, в состав которой входит алюминий и резиновая изоляция плотностью 2720 и 1200 кг/м³. Результаты определения фракционного анализа отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Фракционный состав пробы крупностью 1.25-5мм

Материал	Содержание в исходном	
	масса, г	%
Алюминий	496,44	82,74
Резиновая изоляция	103,56	17,26
Всего	600,0	100,0

В табл. 2.13 представлены теоретически и экспериментально определенные скорости витания частиц отходов многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции крупностью 1.25-5мм [112].

Таблица 2.14

**Скорости витания частиц отходов многокомпонентного лома
кабельно-проводниковой продукции**

Материал	Крупность, мм	Эквивалентный диаметр, мм	Скорость витания, м/с	
			теоретическая	фактическая
Алюминий	2,5-5	4,13	17,5	11,9
	1,25-2,5	1,72	11,3	10,6
Резиновая изоляция	2,5-5	4,14	11,6	7,9
	1,25-2,5	2,06	8,2	7,6

При проведении экспериментов по воздушной сепарации указанного материала поддерживался следующий режим: частота колебаний лабораторной модели сепаратора $\omega = 15$ Гц, амплитуда колебаний $A = 2,5$ мм, угол наклона сепаратора к горизонту $\beta = 6^{\circ}$, угол, под которым действует возмущающая сила $\alpha = 68^{\circ}$. Каждый эксперимент дублировался три раза и определялись средние показатели [112]. Результаты исследований процесса сепарации в лабораторных условиях представлены в табл. 2.15 и 2.16.

Таблица 2.15

Количественные показатели работы лабораторной установки

Масса питания, г	Время обогащения, мин.	Удельная производительность, т/ч м ²
600	1,75	0,74
600	1,58	0,86
600	2	0,67
600	1,8	0,79
600	1,5	0,85
600	2	0,69
600	1,6	0,88
600	2	0,68
600	1,5	0,87

Качественные показатели работы лабораторной установки

Тяжелый продукт				Легкий продукт				Эффективность, %
выход, %	содержание, %		извлечение алюминия, %	выход, %	содержание, %		извлечение резины	
	алюминия	резины			алюминия	резины		
82,12	99,91	0,09	99,16	17,88	3,9	96,1	99,55	98,7
82,43	100	0	99,57	17,67	3,96	96,03	98,31	99,3
82,8	98,72	1,28	99,96	17,9	3,51	96,49	90,67	99,4
83,82	99,36	0,64	98,59	16,18	4,73	95,27	98,8	85,6
83,82	98,15	0,85	99,43	16,18	3,28	96,72	90,66	90,4
82,33	100	0	99,43	17,87	3,97	96,03	99,32	99,1
82,88	99,3	0,7	99,26	17,12	4,35	95,65	94,98	94,9
82,29	98,14	1,86	99,46	19,01	5,19	94,81	99,97	99,5
81,87	99,5	0,5	96,45	18,13	5,78	94,22	98,96	84,5
82,07	98,71	1,29	97,91	17,93	4,06	95,94	99,77	91,8

Данные табл. 2.16 позволяют заключить, что была достигнута удельная производительность $q = 0,77 \pm 0,196$ т/ч м².

Анализ данных свидетельствует о том, что при пневмовибрационной сепарации в лабораторных условиях была достигнута высокая эффективность разделения алюминия и резины $E = 94,3 \pm 2,28$ %.

В лабораторных условиях была проведена серия экспериментов по исследованию влияния разрыхленности на показатели разделения отходов лома кабельно-проводниковой продукции воздушной сепарацией.

Таблица 2.17

Влияние разрыхленности на показатели разделения

Разрыхленность, m	Количество частиц, шт.			Извлечение алюминия в тяжелый продукт, ε, доли ед.
	питание		тяжелый продукт	
	алюминий	резина	алюминий	
1	2	3	4	5
0,1	73	87	7	0,0959
			1	0,0137
			2	0,0274
			5	0,0685
			10	0,1370
среднее				0,0685
0,3	65	70	12	0,1846
			5	0,0769
			7	0,1077
			15	0,2308
			10	0,1538
среднее				0,1508
0,5	55	65	28	0,5091
			26	0,4727
			33	0,6000
			35	0,6364
			32	0,5818
среднее				0,560
0,6	50	60	29	0,5800
			34	0,6800
			39	0,7800
			36	0,7200
			38	0,7600
среднее				0,7040
0,9	20	30	16	0,8000
			17	0,8500
			18	0,9000
			19	0,9500
			18	0,900
среднее				0,880

Для этого были подготовлены искусственные смеси частиц алюминия и резины близких размеров с разным общим их количеством. Результаты разделения смесей, соответствовавших значениям разрыхленности, полученным в ходе компьютерного моделирования, представлены в табл. 2.17 [110].

Количество частиц, попавших в тяжелый концентрат алюминия, определялось визуально, извлечение частиц вычислялось по известной формуле.

По экспериментальным данным табл. 2.17 построена зависимость извлечения алюминиевых частиц в тяжелый продукт от разрыхленности и выполнено ее сравнение с логистической кривой [110]. Графики приведены на рис. 2.24.

Для логистической кривой подобрана следующая эмпирическая зависимость:

$$\varepsilon = 1 / (1 + e^{-10 m + 5}). \quad (2.42)$$

Здесь ε – извлечение частиц алюминия в тяжелый продукт, доли ед.; e – основание натуральных логарифмов; m – разрыхленность материала в рабочем пространстве сепаратора.

Данные рис. 2.24 позволяют заключить, что рациональный диапазон изменения разрыхленности начинается с интервала 0,4-0,5, т.к. эти значения соответствуют равновероятному распределению частиц между продуктами пневмовибрационной сепарации.

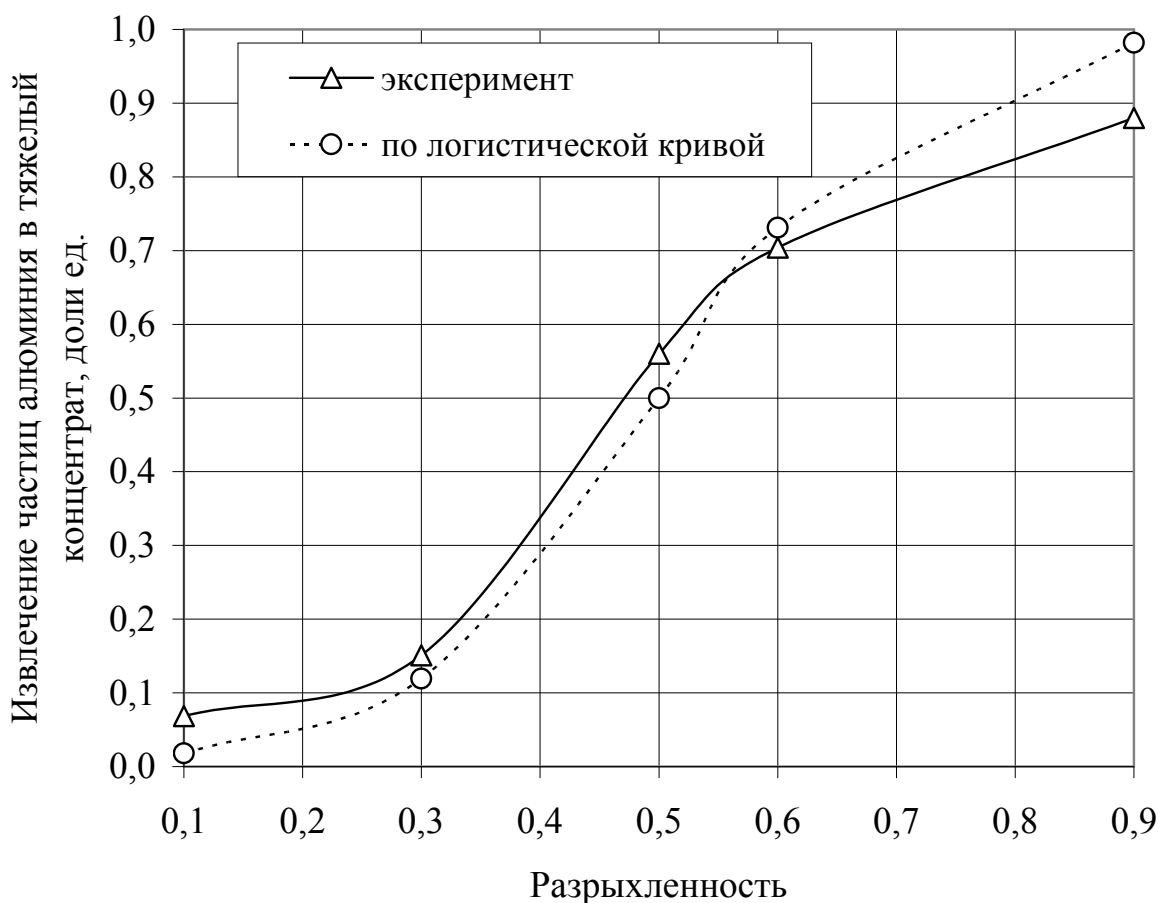


Рисунок 2.24. Сопоставление данных эксперимента с логистической кривой разделения.

Для создания математической модели процесса воздушной сепарации алюминиевых и резиновых частиц была выполнена серия экспериментов с применением планирования по матрице центрального композиционного рототабельного плана ЦКРП [130]. При планировании входными факторами были приняты: X_1 – расход воздуха, X_2 – амплитуда колебаний, X_3 – нагрузка на сепаратор, X_4 – угол наклона сепаратора. Опыты дублировались и определялись средние значения выходного параметра.

Разрыхленность слоя материала в сепараторе определяется такими параметрами как расход воздуха, амплитуда колебаний и нагрузка на сепаратор. Нагрузка на сепаратор фиксировалась заданным значением высоты открытия загрузочного шибера. Основные уровни и шаг

варьирования параметров представлены в табл. 4.6, а матрица планирования и результаты – в табл. 2.18. В качестве функции отклика была принята эффективность сепарации, определяемая по критерию Ханкока (в %).

Таблица 2.18

Исходные данные для ЦКРП вибропневматической сепарации

Параметр	Обо- значение	Код	Ед. измерения	Шаг	Уровни		
					-1	0	+1
Удельный расход воздуха	q_v	X_1	$m^3/ч\ m^2$	50	150	200	250
Амплитуда колебаний	A	X_2	мм	0,5	2	2,5	3
Нагрузка на сепаратор	Q	X_3	кг/ч	4	10	14	18
Угол наклона сепаратора	β	X_4	град.	3	3	6	9

Таблица 2.19

Матрица ЦКРП и результаты экспериментов

№№	X_1	X_2	X_3	X_4	E, %
1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	-1	-1	84,5
2	1	-1	-1	-1	86,1
3	-1	1	-1	-1	85,3
4	1	1	-1	-1	88,2
5	-1	-1	1	-1	82,5
6	1	-1	1	-1	84,3
7	-1	1	1	-1	82,3
8	1	1	1	-1	84,9

Окончание табл. 2.19

1	2	3	4	5	6
9	-1	-1	-1	1	84,1
10	1	-1	-1	1	85,9
11	-1	1	-1	1	85,6
12	1	1	-1	1	87,8
13	-1	-1	1	1	82,4
14	1	-1	1	1	84,7
15	-1	1	1	1	82,1
16	1	1	1	1	85,2
17	-2	0	0	0	83,1
18	2	0	0	0	87,8
19	0	-2	0	0	82,9
20	0	2	0	0	85,4
21	0	0	-2	0	85,9
22	0	0	2	0	83,2
23	0	0	0	-2	85,7
24	0	0	0	2	83,5
25	0	0	0	0	84,5
26	0	0	0	0	84,6
27	0	0	0	0	84,4
28	0	0	0	0	84,6

Статистическая обработка результатов и расчет коэффициентов регрессии выполнялись с помощью пакета прикладных программ STATISTICA и позволили получить модель взаимосвязи входных параметров и функции отклика (E) в следующем виде:

$$E = 84,525 + 1,15417 \cdot X_1 + 0,495833 \cdot X_2 - 1,02083 \cdot X_3 - 0,195833 \cdot X_4 + 0,240625 \cdot X_1^2 + 0,20625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,08125 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,03125 \cdot X_1 \cdot X_4 -$$

$$\begin{aligned}
 & - 0,084375 * X_2^2 - 0,35625 * X_2 * X_3 + 0,01875 * X_2 * X_4 + 0,015625 * X_3^2 + \\
 & + 0,06875 * X_3 * X_4 + 0,028125 * X_4^2 .
 \end{aligned}
 \tag{2.43}$$

Значимость коэффициентов модели определена с помощью стандартизированной Парето диаграммы с учетом 5% уровня значимости, отмеченного на рис. 2.25 вертикальной линией.

Standardized Pareto Chart for E

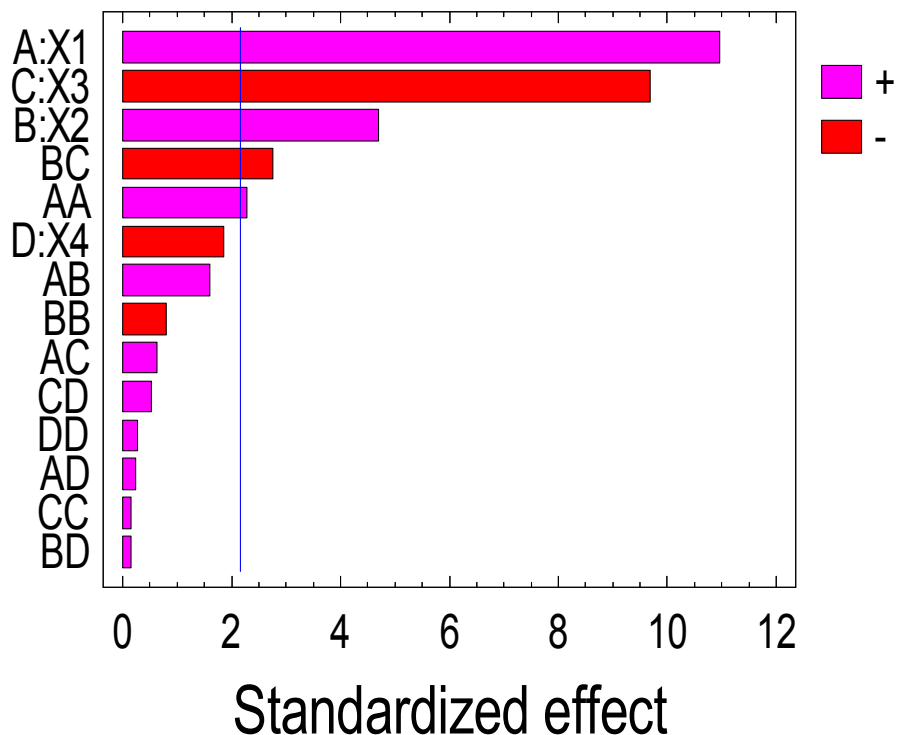


Рисунок 2.25. Значимость факторов в модели.

Из Парето-распределения следует, что фактор X_4 – угол наклона сепаратора в принятом диапазоне его изменения – незначим. Незначимыми являются взаимодействия X_1X_2 , X_1X_3 , X_1X_4 , X_2X_4 , X_3X_4 и члены второго порядка X_2^2 , X_3^2 , X_4^2 . С учетом значимости коэффициентов регрессионная модель для эффективности процесса получена в виде полинома:

$$E = 84,525 + 1,1542X_1 + 0,4958X_2 - 1,0208X_3 + 0,2406X_1^2 - 0,3562X_2X_3 \quad (2.44)$$

Поверхности отклика для различных сочетаний факторов представлены на рис. 2.26-2.28. На рис. 2.29-2.31 показаны изолинии для эффективности E разделения алюминиевых и резиновых частиц на лабораторной установке пневмовибрационной сухой воздушной сепарации в условиях, заданных матрицей планированного эксперимента.

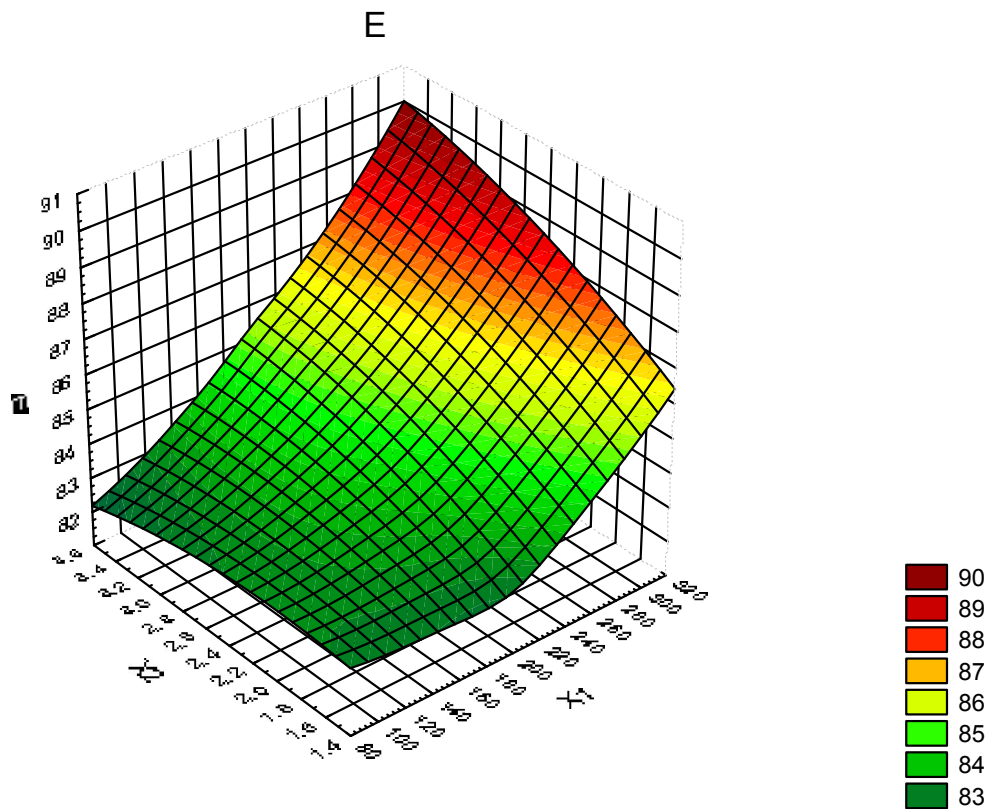


Рисунок 2.26. Поверхность отклика в координатах X_1, X_2 .

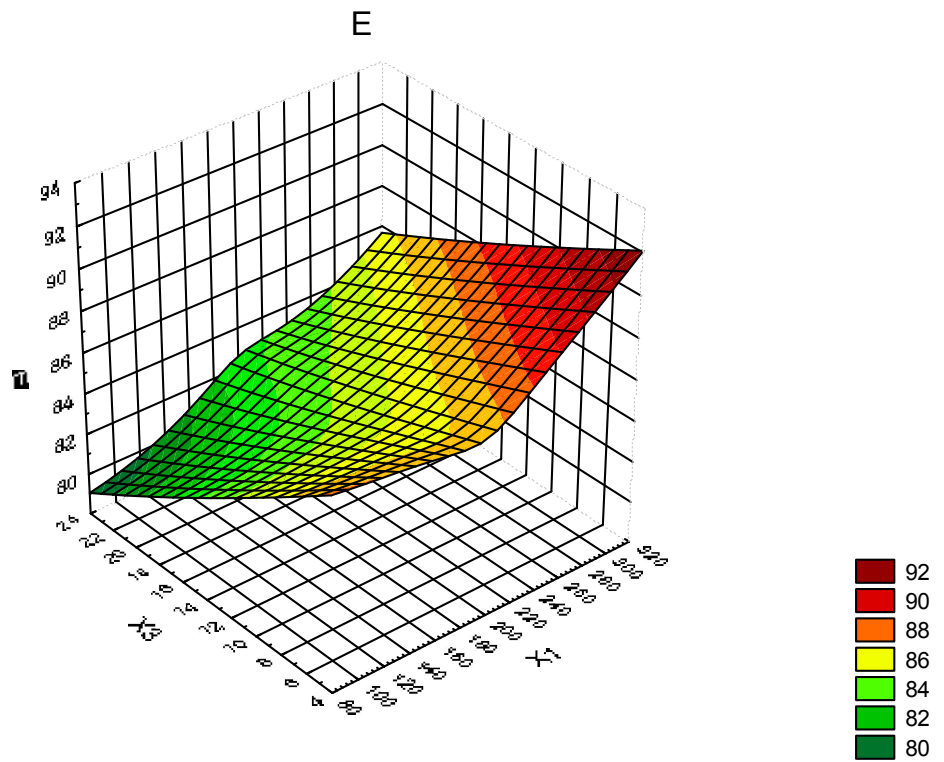


Рисунок 2.27. Поверхность отклика в координатах X_1, X_3 .

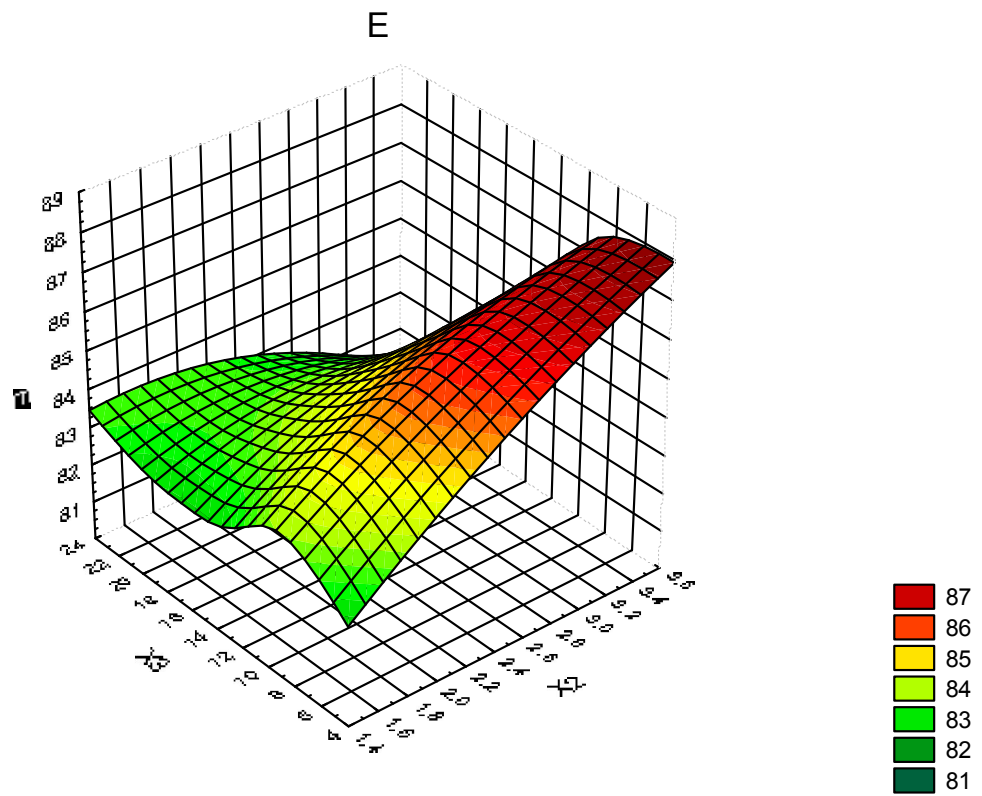


Рисунок 2.28. Поверхность отклика в координатах X_2, X_3 .

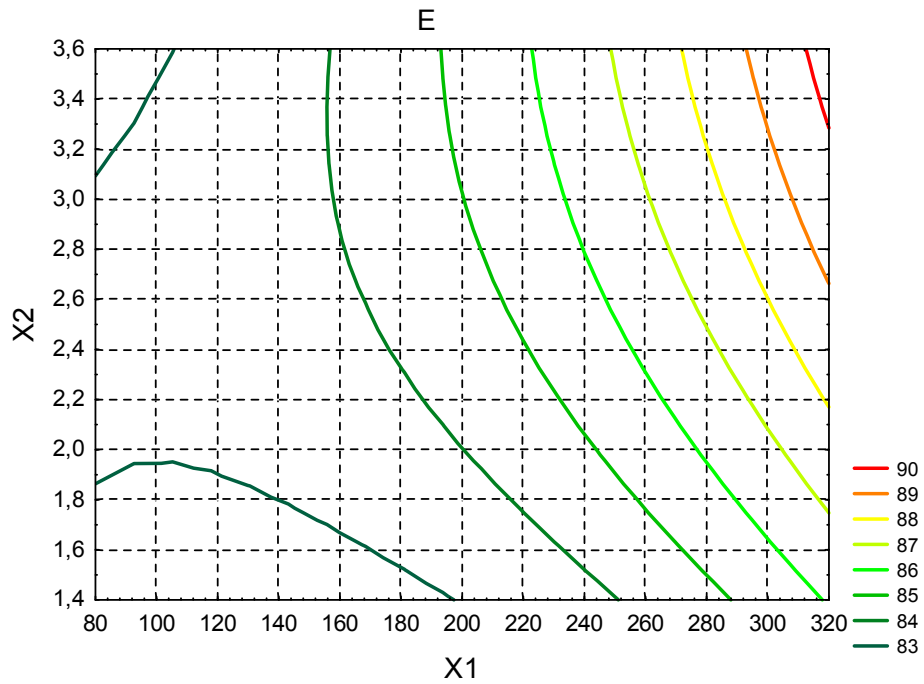


Рисунок 2.29. Изолинии эффективности разделения в координатах X_1 (расход воздуха), X_2 (амплитуда колебаний).

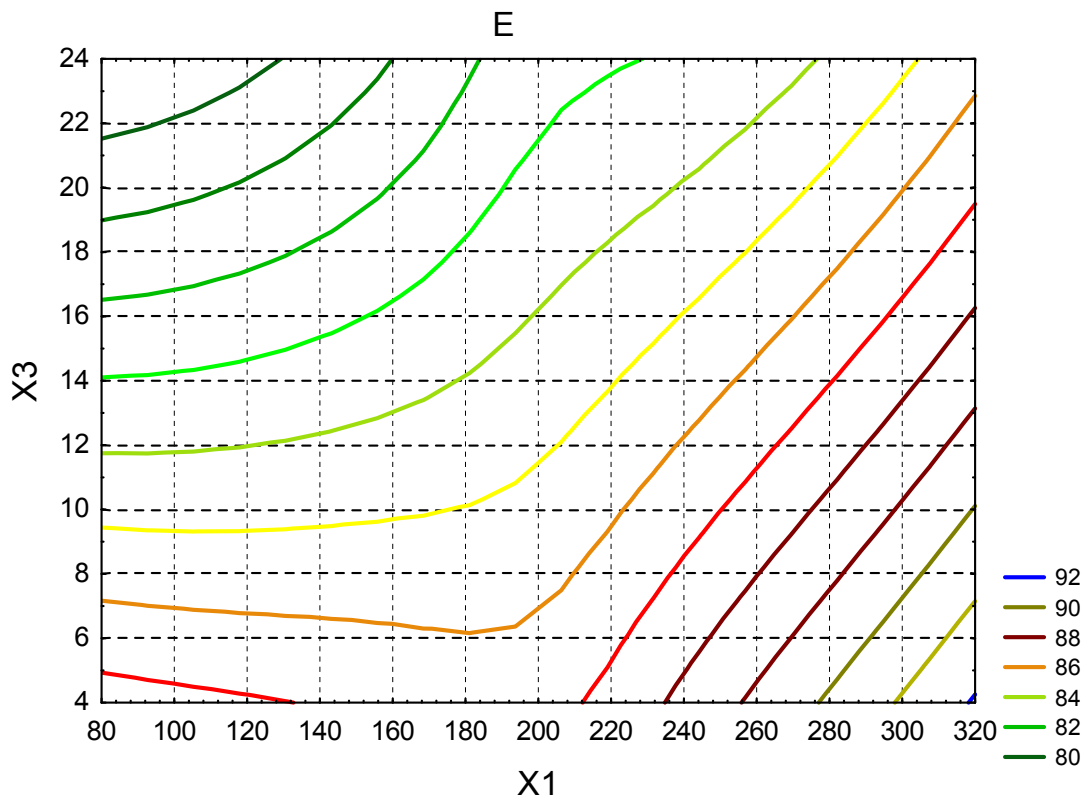


Рисунок 2.30. Изолинии эффективности разделения в координатах X_1 (расход воздуха), X_3 (нагрузка на сепаратор).

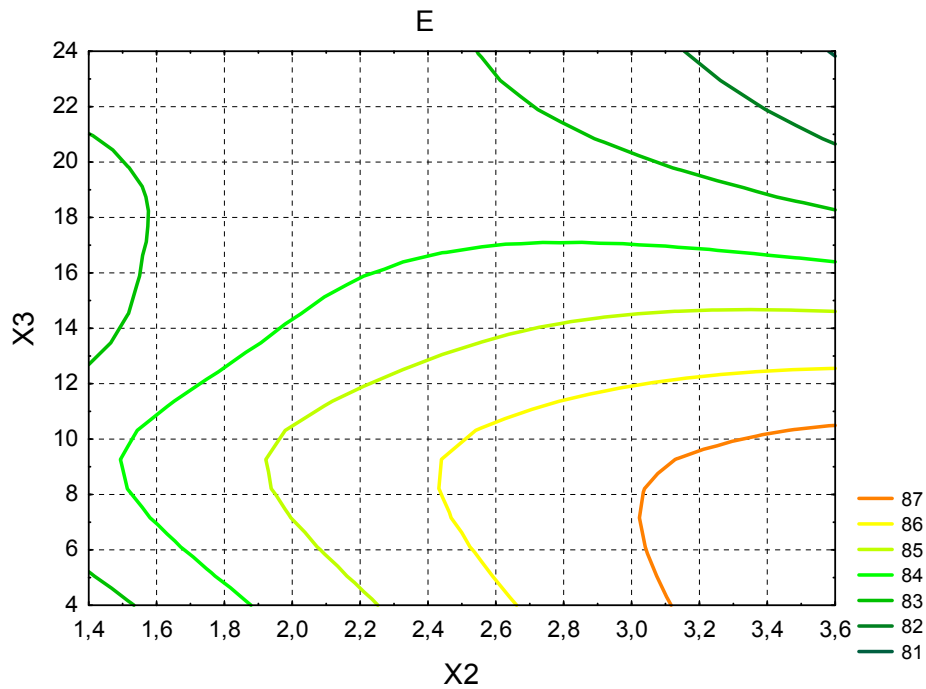


Рисунок 2.31. Изолинии эффективности разделения в координатах X_2 (амплитуда колебаний), X_3 (нагрузка на сепаратор).

Изучение факторного пространства по полученной математической модели, имеющей вид уравнения (2.44) и представленной на рис. 2.26-2.31, позволило сделать следующие основные выводы. Наибольшее влияние на эффективность разделения оказывают удельный расход воздуха и нагрузка на сепаратор, при чем их влияние взаимно противоположное: расход воздуха влияет прямо пропорционально, а нагрузка на сепаратор – обратно пропорционально.

Наиболее высокие значения эффективности разделения (более 88%) алюминиевых и резиновых зерен в пневмовибрационном сепараторе достигаются при высоких удельных расходах воздуха $280-320 \text{ м}^3/\text{ч м}^2$ в широком диапазоне изменения амплитуды колебаний – от 2 до 3.6мм (см. рис. 2.26 и 2.29). Эта же эффективность может быть получена при снижении удельного расхода воздуха до $230 \text{ м}^3/\text{ч м}^2$ и низкой нагрузке на сепаратор – от 4 до 12 кг/ч (см. рис. 2.27 и 2.30). При амплитуде колебаний более 3мм не удастся получить эффективность разделения выше 87% даже

при низкой нагрузке на сепаратор (не более 10 кг/ч), о чем свидетельствуют данные рис. 2.28 и 2.31.

Выполненный анализ результатов факторного эксперимента позволяет еще раз подчеркнуть определяющее значение разрыхленности материала для эффективности разделения, т.к. и удельный расход воздуха и нагрузка на сепаратор влияют на этот параметр. Влияние амплитуды колебаний менее значимо по сравнению с первыми двумя параметрами.

В сентябре 2008 г. в условиях экспериментальной базы Донецкого научно-исследовательского и проектно-конструкторского института цветных металлов (ДонНИПИЦМ) были проведены полупромышленные стендовые испытания технологии воздушной сепарации многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции в вибропневматическом сепараторе. Основные результаты сепарации приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20.

Параметры режима вибропневматической сепарации

№№	Параметры	Ед. измерения	Значение
1.	Удельная производительность	т/ч м ²	1
2.	Удельный расход воздуха	м ³ ч / м ²	150-250
3.	Частота колебаний	с ⁻¹	15-25
4.	Амплитуда колебаний	мм	2-3
5.	Угол наклона деки сепаратора	град.	0-6
6.	Угол наклона траектории колебаний к плоскости деки	град.	50-70

В процессе испытаний извлечение металла в тяжелый концентрат составило 90-95% при его содержании в концентрате 97-99% и потерях с

отходами 1-3%. Эффективность воздушной пневмовибрационной сепарации алюминиевых и резиновых частиц 87-89%.

Проведенные испытания показали практическую возможность использования разработанного режима пневмовибрационной сепарации многокомпонентного лома кабельно-проводниковой и радиотехнической продукции.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения установки воздушной сепарации составляет 60 тыс. грн.

Таким образом, определение условий, при которых обеспечивается разделение материала в сепараторе, и проведенные лабораторные исследования разделения частиц алюминия и резины в пневмовибрационном сепараторе позволяют сделать следующие выводы:

- для исключения равнопадания частиц различных материалов необходимо поддерживать определенное соотношение их размеров и плотностей, которое имеет вид: $d_1 / d_2 < (\delta_2 - \Delta) / (\delta_1 - \Delta)$, при этом необходимо использование узкой шкалы классификации материала;

- анализ сил, действующих на легкие и тяжелые частицы, позволил определить значения угловых скоростей ω , при которых обеспечивается подбрасывание тяжелых частиц на нижнем сите сепаратора и скольжение легких частиц на верхнем сите;

- для обеспечения транспортирования частиц материала по верхнему и нижнему ситам сепаратора необходима угловая скорость, при которой обеспечивается подбрасывание тяжелых частиц на нижнем сите; рабочие значения угловой скорости должны определяться по выражению

$$\omega_{\text{п}} > [(d g \delta \cos \beta - 0.5 V_{\text{в}}^2 \Delta) / d \delta A \sin (\alpha - \beta)]^{1/2} ;$$

- поднятие зерен материала легких фракций и удержание их на верхнем сите обеспечивается при динамическом напоре воздуха равном

$$P_{\text{в}} = F V_{\text{в}}^2 \Delta / 3;$$

- при пневмовибрационной сепарации в лабораторных условиях была достигнута высокая эффективность разделения алюминия и резины $E = 94,3 \pm 2,28 \%$;

- для логистической кривой, определяющей влияние разрыхленности материала m на показатели разделения (извлечение частиц алюминия в тяжелый продукт ϵ), установлена эмпирическая зависимость вида $\epsilon = 1 / (1 + e^{-10 m + 5})$ и выполнено ее сопоставление с экспериментальными данными;

- результаты экспериментов подтверждают теоретически полученный вывод о том, что рациональный диапазон изменения разрыхленности начинается с интервала 0,3-0,5, т.к. эти значения соответствуют равновероятному попаданию частиц в тяжелый или легкий продукт;

- проведенные лабораторные исследования гравитационной сепарации многокомпонентного лома кабельно-проводниковой продукции с использованием пневмовибрационного метода в лабораторных условиях на модели сепаратора позволили определить основные параметры сепарации; в ходе исследований было установлено, что на процесс разделения определяющее влияние оказывают расход подаваемого воздуха и его распределение по камере, динамический режим работы сепаратора и угол его наклона;

- определены параметры рабочего режима установки, при которых получено эффективное разделение многокомпонентного лома цветных металлов с извлечением алюминия 96-99% в один продукт и с извлечением резины 90-99% в другой;

- проведение планируемого факторного эксперимента позволило получить регрессионную зависимость эффективности разделения от удельного расхода воздуха, амплитуды колебаний и нагрузки на сепаратор вида $E = 84,525 + 1,1542X_1 + 0,4958X_2 - 1,0208X_3 + 0,2406X_1^2 - 0,3562X_2X_3$; анализ поверхностей отклика и изолиний модели еще раз подчеркнул

определяющее значение разрыхленности материала для эффективности разделения, т.к. и удельный расход воздуха и нагрузка на сепаратор непосредственно влияют на этот параметр; влияние амплитуды колебаний менее значимо по сравнению с первыми двумя параметрами;

- проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют заключить, что метод вибропневматической сепарации обеспечивает разделение материала под действием восходящего потока воздуха и вибраций с высокой эффективностью, при этом происходит расслоение материала по крупности и плотности частиц; разделение на продукты осуществляется путем перемещения образовавшихся слоев материала на рабочей поверхности в противоположных направлениях;

- полупромышленные испытания пневмовибрационной сепарации в условиях экспериментальной базы ДонНИПИЦМ показали практическую возможность использования процесса для разделения лома кабельно-проводниковой продукции. Достигнуто извлечение металла в тяжелый концентрат 90-95% при потерях с отходами 1-3%, эффективность воздушной пневмовибрационной сепарации алюминиевых и резиновых частиц 87-89%. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения одной установки воздушной сепарации составляет 60 тыс. грн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бредихин В.Н. Переработка лома и отходов олова / В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев // Цветные металлы. – 1986. - №12. – С. 75-77.
2. Козловский К.П. Исследование обогащения лома электрических соединений с покрытиями из драгоценных металлов / К.П. Козловский, Т.И. Шуляк, А.В. Пластовец // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №3. – С. 70-73.
3. Самсонов А.И. Исследование обогащения стеклотканевых плат со срубленными радиодетальями лома РЭА / А.И. Самсонов, К.П. Козловский, А.В. Пластовец и др. // – Metallургия: сб. науч. трудов. – Вып. 10. – Запорожье: ЗГИА. – 2004, С. 82-87.
4. Котляр Ю.А. Metallургия благородных металлов./ Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков. Уч. пос., М.: АСМИ, 2002. – 466 с.
5. Исаков М.Г. Состояние рынка вторичных металлов / М.Г. Исаков, Н.П. Валуев, Ю.В. Мойш и др. // Рынок вторичных металлов. М.: - 2004. – № 2/22. – С. 54-59.
6. Кравченко Н.Д. Основные направления повышения эффективности использования легких и тяжелых цветных металлов. / Н.Д. Кравченко, В.Н. Бредихин, Ю.М. Дубинский - М: Цветметинформация, 1980. – 40 с.
7. Стрижко Л.С. Metallургия золота и серебра / Л.С. Стрижко. – М.: МИМиС, 2001. – 336 с.
8. Лаврентьев М.И. Оптимизация подготовки к переплаву лома и отходов цветных металлов и сплавов за счет рационального выбора приборов контроля химического состава / М.И. Лаврентьев, В.В. Верхорубов // Цветные металлы. – 2006. - №5. – С. 81-86.
9. Колобов Г.А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г.А. Колобов, В.Н. Бредихин, В.М. Чернобаев. - М: Metallургия, 1992. – 228 с.

10. Бредихин В.Н. Проблемы сортировки низкокачественного дробленого лома / В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев// Проблемы ресурсосбережения во вторичной цветной металлургии: сб. научн. трудов ин-та титана. – Запорожье. – 1990. – С. 89-92.

11. Бредихин В.Н. Автоматизированная сортировка отходов цветных металлов / В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев, Л.П. Старчик // Цветная металлургия. – 1990. - №8. – С. 77-79.

12. Бредихин В.Н. Технологические проблемы переработки алюминиевых отходов / В.Н. Бредихин, В.А. Кожанов, В.Ю. Кушнерова// XIV МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века». – Севастополь. – 2007. – С. 112-116.

13. Шевелев А.И. Создание комплекса по переработке лома и отходов цветных металлов. // Металл и литье Украины. – 2004. - №3-4. – С. 45-51.

14. Козловский К.П. Подготовка лома интегральных микросхем в пластмассовых корпусах, содержащих золото, для гидрOMETALLургической переработки / К.П. Козловский, Т.И. Шуляк, А.В. Пластовец// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. - № 2. - С. 74-75.

15. Купряков Ю.П. Вторичные материальные ресурсы цветной металлургии / Ю.П. Купряков. - М: Экономика, 1984. – 152 с.

16. Смирнов В.А. Обогащение руд и отходов цветных металлов / В.А. Смирнов, В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев. - Донецк: Изд. Дом Кальмиус, 2008. – 500 с.

17. Карпов Ю.А. Проблемы пробоотбора, пробоподготовки и анализа вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы / Ю.А. Карпов// Заводская лаборатория, 1996, № 10, С. 4-7.

18. Bredikhin V. Intensification of Non-Ferrous Turnings Preparation for Metallurgical Processing / V. Bredikhin, A. Shevelev, I. Mirovich// XXII Int. Min. Proc. Cong. Cape Town: South Africa, 2003, p. 450-452.

19. Стасовский Ю.Н. Перспективные возможности Украины по обеспечению цветными металлами с использованием собственного сырья/ Ю.Н. Стасовский // Металл и литье Украины. – 2000. - №11-12. – С. 6-9.
20. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы / В.В. Кармазин.- М: Недра, 2002. – 512 с.
21. Кравченко Н.Д. Магнитная сепарация лома и кусковых отходов цветных металлов / Н.Д. Кравченко, В.И. Кричевский //М.: Вторичная металлургия цветных металлов, 1987. – 56 с.
22. Кравченко Н.Д. Магнитные и электромагнитные аппараты для сепарации отходов цветных металлов / Н.Д. Кравченко, В.Н. Губаревич - М: Цветметинформация. 1983 – 48 с.
23. Кравченко Н.Д. Магнитная сепарация отходов цветных металлов / Н.Д. Кравченко, В.И. Кармазин. - М: Металлургия, 1986. – 116 с.
24. Пилов П.И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых / П.И. Пилов. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 124 с.
25. Бредихин В.Н. Современные технологии для переработки отходов цветных металлов / В.Н. Бредихин, А.И. Шевелев – М.: ЦНИИЭИЦМ, 1991. – в. 1 - 74 с.
26. Кравченко Н.Д. Комплексная переработка отходов медных сплавов / Н.Д. Кравченко- М.: Цветметинформация, 1979. – 30 с.
27. Лата В.А. Зарубежные технологии переработки аккумуляторного лома / В.А. Лата, Л.Д. Хегай, С.О. Соколовская и др. // Цветные металлы. – 2004. - №7. – С. 28-31.
28. Шустров А.Ю. Переработка лома аккумуляторов / А.Ю. Шустров, Ю.А. Маценко, В.И. Никифоров и др.// Цветные металлы. – 2004. - №1. – С. 35-39.
29. Бредихин В.Н. Свинец вторичный / В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк, А.Я. Кафтаненко. – Донецк: ДонНТУ, 2005 – 240 с.

30. Wills Barry A. Mineral processing technology/ Barry A. Wills.. В/Н. Oxford. 2001 – 424 p.

31. Самсонов А.И. Исследование работы концентрационного стола СКО-0.5 для обогащения продуктов дробления лома РЭА /А.И. Самсонов, В.Н. Бредихин, К.П. Козловский// *Металлургия*. – Запорожье. – 2005. – Вып. 12. – С. 41-48.

32. Букин С.Л. Разделение лома цветных и редких металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем / С.Л. Букин, В.Н. Бредихин, А.Н. Корчевский // *Совершенствование технологии и оборудования по переработке лома и отходов, содержащих драгоценные металлы*. Материалы IV н-т конференции 16-18 апреля 1996 г. Донецк. – ДониЦМ, 1996. – С. 17-20.

33. Золотухин В.А. Технологические и конструктивные аспекты переработки лома РЭА / В.А. Золотухин, В.Н. Бредихин, А.В. Пластовец и др.// МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века». – Севастополь. – 2003. – С. 288-294.

34. Тихонов Б.С. Тяжелые цветные металлы. Справочник. Т.1, ч. 2. / Б.С. Тихонов. М: Цветметинформация, 1999. – 416 с.

35. Справочник по обогащению руд. Т. 2. Основные процессы. Под ред. О.С. Богданова. – М: Недра, 1982 – 366 с.

36. Jordan С.Е. Pneumatic Concentration of Mica Report of Investigation / С.Е. Jordan, G.V. Sullivan and В.Е. Davis // R18457. US Bureau of Mines, 1980 – 24 pp.

37. А.с. СССР 829212, МКИ³ В 07 В 7/12, В 07 В 1/28. Устройство для обогащения трудноразделяемых зерновых смесей. Оpubл. 15.05.81, Бюл. №18.

38. А.с. СССР 700215 МКИ2 В 07 В 9/00. Устройство для очистки зерна от минеральных примесей. Оpubл. 30.11.79, Бюл. №44.

39. А.с. СССР 250653 МПК В07b. Устройство для очистки зерна от минеральных примесей. Оpubл. 12.08.69., Бюл. №26.

40. А.с. СССР 700215 МКИ² В 07 В 9/00. Устройство для очистки зерна от минеральных примесей. Опубл. 30.11.79, Бюл. №44.
41. Beekmans J.M. Coal Cleaning by Counter-Current Fluidizing Cascade / J.M. Beekmans, M. Goransson. & S.G. Butcher// Bul. Can. Inst. Min. and Metall. - 1982. – 75(839). – p. 184-191.
42. Germain R.J. Dry Cleaning of Coal by the Counter-Current Fluidizing Cascade / R.J. Germain, S.G. Butcher, J.M. Beekmans // 14th Int. Min. Proc. Cong. Toronto C. I. M. – 1982. – Paper VII-2, 19 pp.
43. Shen L. The compound Dry Cleaning Machine and its Application / L.Shen // *Proceedings of XIV International Congress of Coal Preparation. South Africa. 2002. p.419-423.*
44. Li Congmin. Compound Dry Cleaning Technique – Study and Practice. / Congmin Li // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 439-447.*
45. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения / Берт Р.О.– М: Недра, 1990. – 574 с.
46. Абрамов А.А. Обогащение руд цветных и редких металлов в странах Азии, Африки и Латинской Америки. Уч. для вузов. / А.А. Абрамов, С.И. Горловский, В.В. Рыбаков. – М: Недра, 1991. – 312 с.
47. Gusev A.P. Advanced Milling Methods of Asbestos Ores in the USSR Dfsed on the Development and Introduction of New Equipment./ A.P. Gusev, A.A. Korolyov, B.A. Polovnyov and other// 14th Int. Min. Proc. Cong. Toronto C. I. M. – 1982. – Paper V-11, 14 pp.
48. Полькин С.И. Обогащение руд цветных металлов. Уч. для вузов. / С.И. Полькин, Э.В. Адамов. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
49. Permpon G. Dry Separation. Paper presented to Similar on Benefication of Tin and Associated Minerals / G. Permpon, S. Srimeechai and V. Vichitamarabhand. Bangkok. SEATRAD Centre, 1982. – Oct., 25 pp.

50. Snoby Richard. Dry Jigging: Advantages and Limitations / Richard Snoby, Honaker R.Q., Richard Weinstein. // *Proc. of XV Int. Cong. of CP. China. 2006. p.448-456.*
51. Оборудование для обогащения угля: Спр. пособие / Под ред. Б.Ф. Братченко. М.: Недра, 1979. – 336 с.
52. Новая технология сухого обогащения // *Российский уголь.* – 2003. – №1. – С. 28-29.
53. Справочник по обогащению углей / Под ред Благова И.С., Коткина А.М., Зарубина Л.С. М.: Недра, 1984 - 614 с.
54. Кофанов А.С. Обогащение полезных ископаемых пневмовибрационным способом / А.С. Кофанов, В.Ф. Чумак, А.С. Уманец, Ю.И. Ефремов // *Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб.* – Вип. 17. - Дн-ськ: НГУ. – 2003. – С. 96-101.
55. Анисимов Н.Т. Отработка технологии для индивидуальных обогатительных установок /Н.Т. Анисимов, В.Г. Голубничий, З.В. Багмут и др. // *Уголь Украины.* – 2003. - №3. – С. 40-41.
56. Назимко Е.И. Применение вибрационного пневматического сепаратора при переработке угольных отвалов / Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко, А.Н. Корчевский // *Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб.* - №17(58) – Дн-ськ: НГУ. - 2003 – С. 84-90.
57. Корчевский А.Н. Патент Украины, МКИ В07В1/40, В07В1/100. Вібраційний грохот. / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, А.И. Хохотва А.И и др. – 4с. ил.; Опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.
58. Sullivan G.V. Pneumatic Beneficiation of Mica / G.V. Sullivan and M.H. Stranczyk. // *14th Int. Min. Proc. Cong. Toronto C. I. M.* – 1982. – Paper V-6, 16 pp.
59. Lupa Z. Desulphurization of Coals in a Fluidizing Separator / Z. Lupa, J. Laskowski // *Proc. Silesian Univ. of Tech. – Mining Gliwice.* – 1983. – 60 – 27 pp.

60. Chan E.W. Pneumatic Beneficiation of Coal Fines using the Counter-Current Fluidizing Cascade. / E.W. Chan and S. Beekmans // Int. J. Miner. Proc. – 1982. – 9. – p. 157-165.

61. Lupa Z. Dry Gravity Concentration in Fluidizing Separators./ Z. Lupa, J. Laskowski// 13th Int. Min. Proc. Cong. Warsaw. Laskowski J. (Ed) – 1979. – p. 1195-1215.

62. Кофман В.Я. Производство цветных металлов из вторичного сырья в Японии./ В.Я. Кофман - М: ЦНИИЭИЦМ, 1986. - Вып. 3. – 39 с.

63. А.с. СССР 1502098, МКИ В 02 С 18/22. Способ переработки кабельного лома и установка для его осуществления. Опубл. 23.08.89. Бюл. №31. – с. 5.

64. А.с. СССР 1536829, МКИ С 22 В 7/00. Способ подготовки лома и отходов цветных металлов к металлургическому переделу. // Опубл. 01.02.87. Бюл. №4, с. 6.

65. А.с. СССР 1143478, МКИ В 07 В 1/22. Сепаратор для разделения смеси кусковых, сыпучих и вьюнообразных материалов. // Опубл. 07.03.85. Бюл. №9, с. 3.

66. А.с. СССР 1505598, МКИ В 07 В 1/22. Сепаратор. Опубл. 07.06.89. Бюл. №33. – с. 5.

67. А.с. СССР 1273192 А1 МКИ² В 07 В 4/08, В 01 J 8/40. Пневмосепаратор. Опубл. 30.11.86, Бюл. №44.

68. А.с. СССР 1704861, МКИ В 07 С 5/34. Устройство для сепарации крупнокусковых материалов. // Опубл. 05.01.92. Бюл. №8, с. 4.

69. Барский М.Д. Гравитационная классификация зернистых материалов / М.Д. Барский, В.И. Ревнивцев, Ю.В. Соколкин. - М.: Недра, 1974. – 280 с.

70. Барский М.Д. Фракционирование порошков / М.Д. Барский. - М: Недра, 1980.- 328 с.

71. Назимко Е.И. Исследование кинетики взаимодействия фаз в динамической среде при обогащении минералов / Е.И. Назимко, И.Н. Друц

// Информационно-аналитический бюллетень МГГУ. М:– 2004. - № 1. – с. 336-339.

72. Назимко Е.И. Исследование процессов взаимодействия фаз в динамических условиях при обогащении полезных ископаемых / Е.И. Назимко // “Форум Гірників – 2005”. Матер. Междунар. Конф. Дніпропетровськ. - 2005, т. 3, с. 185-190.

73. Анохин В.Д. Вибрационные сепараторы / В.Д. Анохин, Д.А. Плинс, В.Н. Монахов.- М.: Недра, 1991. – 156 с.

74. А.с. СССР 540665, МКИ² В 03/ В 4/00. Установка для пневматического разделения сыпучих материалов. Оpubл. 30.12.76, Бюл. №48.

75. А.с. СССР 423522, МКИ В 07 В 9/00. Пневматический сепаратор. Оpubл. 15.04.74, Бюл. №14.

76. А.с. СССР 956062, МКИ В 07 В 13/00. Вибрационный сепаратор. Оpubл. 07.09.82, Бюл. №33.

77. А.с. СССР 975124, МКИ В 07 В 13/00. Вибрационный сепаратор. Оpubл. 23.11.82, Бюл. №43.

78. Патент России 94028696 А1 МКИ⁶ В03В004/00. Вибрационный пневматический сепаратор. Оpubл. 20.03.2006.

79. А.с. СССР 1755950 А1 МКИ⁵ В 07 В 4/08. Пневматический сепаратор. Оpubл. 23.08.92, Бюл. №31.

80. Бережний М.М., Збагачення та окускування сировини / М.М. Бережний, В.П. Мовчан. – Кривий Ріг, 2000. – 360 с.

81. Самсонов А.И. Обогащение модулей радиоэлектронного лома, содержащего драгоценные металлы / А.И. Самсонов, А.П. Козловский, А.В. Пластовец и др. // Metallurgy. Тр. ЗГИА. – Запорожье. – 2004. – Вып. 9. – С. 56-59.

82. Котляр Ю.А. Metallurgy благородных металлов / Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков – М: АСМИ, 2002. – 466 с.

83. Романтиев Ю.П. Металлургия благородных металлов / Ю.П. Романтиев. – М.: МИСиС, 2007. – 260 с.
84. Бредихин В.Н. Медь вторичная / В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк, А.Я. Кафтоненко. Д.: ДонНТУ, 2006. – 416 с.
85. Колобов Г.А. Металлургия цветных металлов / Г.А. Колобов, В.Н. Бредихин, Н.А. Маняк и др. Д.: ДонНТУ, 2007. – 462 с.
86. Корчевский А.Н. Исследование свойств лома цветных металлов как объекта обогащения / А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. – Вип.6 – Кривий Ріг: КТУ. - 2007 – С. 68-71.
87. А.с. СССР 1625528, МКИ В 02 С 18/22. Ножевая дробилка стержнеобразных материалов. Оpubл. 07.02.91. Бюл. №5 – с. 5.
88. Бедрань Н.Г. Расчет скорости свободного движения минеральных зерен в среде / Н.Г. Бедрань, А.И. Денисенко, П.И. Пилов// Изв. вузов. Горный журнал. - 1976 - №9, С. 141-144.
89. Бедрань Н.Г. Расчет скорости стесненного движения минеральных зерен в среде / Н.Г. Бедрань, А.И. Денисенко, П.И. Пилов// Изв. вузов. Горный журнал. - 1979 - №1, С. 169-171.
90. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы процессов гравитационного обогащения / Б.В. Кизевальтер. - М.: Недра, 1979. – 296 с.
91. Келина И.М. Разделение материалов в восходящем потоке воздуха / И.М. Келина. - М.: Недра, 1969. – 84 с.
92. Олевский В.А. Диаграмма для определения скорости свободного падения шарообразных частиц в жидкости / В.А. Олевский // Обогащение руд. – 1971. - №1. – С. 35-39.
93. Шохин В.Н. Гравитационные методы обогащения. Уч. для вузов / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин – М: Недра, 1980. – 400 с.
94. Фоменко Т.Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых / Т.Г. Фоменко. - М.: Недра, 1966. – 332 с.

95. Назимко Е.И. Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в восходящем потоке / Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский, С.С. Апоначенко // Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб. - №29-30. – Дн-ськ: НГУ. – 2007 – С. 135-140.

96. Козловский К.П. Подготовка лома интегральных микросхем в пластмассовых корпусах, содержащих золото, для гидрометаллургической переработки / К.П. Козловский, Т.И. Шуляк, А.В. Пластовец// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. - №2. - С. 74-75.

97. Корчевский А.Н. Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в стесненных условиях/ А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко // *Мат. межд. н-т. конф. Форум гірників 2007*, 11-13 жовтня, - Дніпропетровськ, С. 258-264.

98. Корчевский А.Н. Исследование условий разделения лома цветных металлов гравитационными методами / А.Н. Корчевський // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 98-104.

99. Cundall P.A. A discrete numerical Model for granular assemblies/ P.A. Cundall, O.D.L. Strack // *Geotechnique*, 29, # 1, pp. 47-65 (1974).

100. Гарковенко Е.Е. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов и др. Донецк: Норд-Пресс, 2002. – 266 с.

101. Bruno M. S. Some influences of saturation and fluid flow on sand production: Laboratory and Discrete Element Model Investigations./ M. S. Bruno et al. // *SPE 36534, Proc. 1996 SPE Ann. Tech. Conf., Denver, Colorado*, 6–9 October, 1996. p. 447–461.

102. Звягильский Е.Л. Изучение кинетики обрушения толщи над горизонтальными выработками мелкого заложения / Е.Л. Звягильский// *Проблемы горного давления*. - Донецк. – 1999. - № 2. – С. 17-29.

103. O'Connor P. M. Discrete Element Modeling of Sand Production/ P.M. O'Connor et al. // *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* 1998. 34:3–4, Paper No. 231.

104. Корчевский А.Н. Моделирование процесса сухой сепарации материалов. Настройка модели. / А.Н. Корчевский // *Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб. - №23(64).* – Дн-ськ: НГУ. – 2005. - С. 113-119.

105. Исследовать возможность гравитационной сепарации многокомпонентного лома с применением виро-пневматического метода. Отчет о НИР (заключ.). Х/т № 86-82, № Гр. 01860030623, И. № 02870067323. – Донецк, 1987. Рук. Сухин Н.В., 86 с.

106. Сухин Н.В. Применение вибрационного пневматического сепаратора при разделении лома цветных металлов / Н.В. Сухин, А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко // *Обогащение полезных ископаемых: науч.техн. сб. - №20(61) – 2004 – С. 77-83.*

107. Nazimko L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*

108. Корчевский А.Н. Влияние разрыхленности слоя материала на показатели пневматической сепарации лома цветных металлов / А.Н. Корчевский // *Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб. - №33(74).* – Дн-ськ: НГУ. – 2008 – С. 75-82.

109. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей / М.И. Бейлин. – М.: Недра, 1969. – 240 с.

110. Корчевский А.Н. Моделирование процесса пневматического разделения лома цветных металлов / Е.И. Назимко// *Вісник Криворізького технічного університету:зб наук. праць. – вип. 21. – Кривий Ріг: КТУ - 2008. - - С. 62-66.*

111. Козин В.З. Экспериментальное моделирование и оптимизация процессов обогащения полезных ископаемых / В.З. Козин. М., Недра, 1984. - 112 с.

112. Шупов Л.П. Прикладные математические методы в обогащении полезных ископаемых / Л.П. Шупов. М., Недра, 1972. - 168 с.

113. А.с. СССР 384562 МКИ В07b 4/08. Пневматический сортировальный стол для сыпучих смесей. Оpubл. 29.05.73, Бюл. №25.

114. А.с. СССР 562321 МКИ² В 07 В 4/00. Пневмосортировальный стол. Оpubл. 25.06.77, Бюл. №23.

115. А.с. СССР 1080886 МКИ В 07 В 7/08. Способ обогащения сыпучих шламовых продуктов. Оpubл. 23.04.84, Бюл. №11.

116. А.с. СССР 1199305 МКИ² В 07 В 4/08. Способ управления процессом извлечения асбестовых концентратов на пневматической установке с воздухоприемником грохота. Оpubл. 23.12.85, Бюл. №47.

117. А.с. СССР 1279684 А1 МКИ² В 07 В 4/08. устройство для обогащения сыпучего материала. Оpubл. 30.12.86, Бюл. №48.

118. А.с. СССР 1297944 А1 МКИ⁴ В 07 В 4/08. Способ сепарации зернистых материалов. Оpubл. 23.03.87, Бюл. №11.

119. А.с. СССР 1364377 А1 МКИ⁴ В 07 В 4/00. Способ сепарации сыпучих материалов. Оpubл. 07.01.88, Бюл. №1.

120. А.с. СССР 1377158 А1 МКИ⁴ В 07 В 4/06. Устройство для разделения сыпучих материалов. Оpubл. 29.02.88, Бюл. №8.

121. А.с. СССР 1472149 А1 МКИ⁴ В 07 В 9/02. Способ сепарации сыпучих материалов и устройство для его осуществления. Оpubл. 15.04.89, Бюл. №14.

122. А.с. СССР 1477237 А3 МКИ⁴ В 03 В 4/00, В 07 В 9/02. Устройство для разделения зерен на несколько фракций. Оpubл. 30.04.89, Бюл. №16.

123. А.с. СССР 1480895 А1 МКИ⁴ В 07 В 4/00. Способ разделения сыпучих материалов. Оpubл. 23.05.89, Бюл. №19.

124. Смышляев Г.К. Воздушная классификация в технологии переработки полезных ископаемых / Г.К. Смышляев. – М.: Недра, 1969. – 100 с.
125. Патент России 2067034 С1 МКИ⁶ В07В004/00. Аэродинамический сепаратор. Оpubл. 15.05.2007.
126. Патент Китая 2174877 С2 МКИ⁷ В07В013/00. Безрешетчатый вибрационный сепаратор. Оpubл. 20.04.2007.
127. Барский М.Д. Оптимизация процессов разделения зернистых материалов / М.Д. Барский. М.: Недра, 1978. – 168 с.
128. Корчевский А.Н. Определение рациональных режимов вибропневматической сепарации лома цветных металлов / А.Н. Корчевский// Збагачення корисних копалин: науч-техн. зб. - №25(66)-26(67). – Дн-ськ: НГУ. – 2006 – С. 121-125.
131. Carabedian P.R., Lewy H., Schiffer M., Anally symmetric cavitation flow. Ann. of Math., 1952, 56, с. 560-602.
132. Friedrichs K.O. Uber ein Minimumproblem fur Potehtialstromungen mit freic Rande. Math. Arm., 1933, 109с.
133. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономическая схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана. - Вычислительная математика и математическая физика. 1965, 5, №5, с. 816-827.
134. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. - М.: Наука, 1976. - 498с.
135. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1968. - 378с.

«Утверждаю»
Проректор по научной работе
ГВУЗ «ДонНТУ»
проф. Башков Е.А.
« »
2013 г.

«Утверждаю»
Директор ООО «Райт»
Ткачев А.М.
« »
2013 г.

Акт

промышленных испытаний сепаратора СВП-5,5х1 в условиях
комплекса модульной установки по обогащению сыпучих
углесодержащих материалов ООО «Райт»

Комиссия в составе:

- от ООО «Райт»: технический директор Розанов Ю.А.; начальник модульной установки Дудников С.В.; начальник участка по обогащению Кустова Т.З.;
- от ГВУЗ «ДонНТУ»: заведующий кафедрой «Обогащение полезных ископаемых», проф., д.т.н. Назимко Е.И.; доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых», к.т.н., заведующий углехимической лабораторией НИЧ Корчевский А.Н.; магистрант кафедры «Обогащение полезных ископаемых», ведущий инженер НИЧ Пластовец А.В.;
- от ООО «Ресурс-Инжиниринг»: главный инженер проекта Исаев Е.Л.

Научно-технические работники кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГВУЗ «ДонНТУ», ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я. Пархоменко», ГП «Укруглекачество», ООО «Райт» осуществили реализацию проекта и курирование строительства модульного обогатительного комплекса на основе вибропневматического сепаратора СВП-5,5х1 (МОК-СВП) (см. Рис.1).

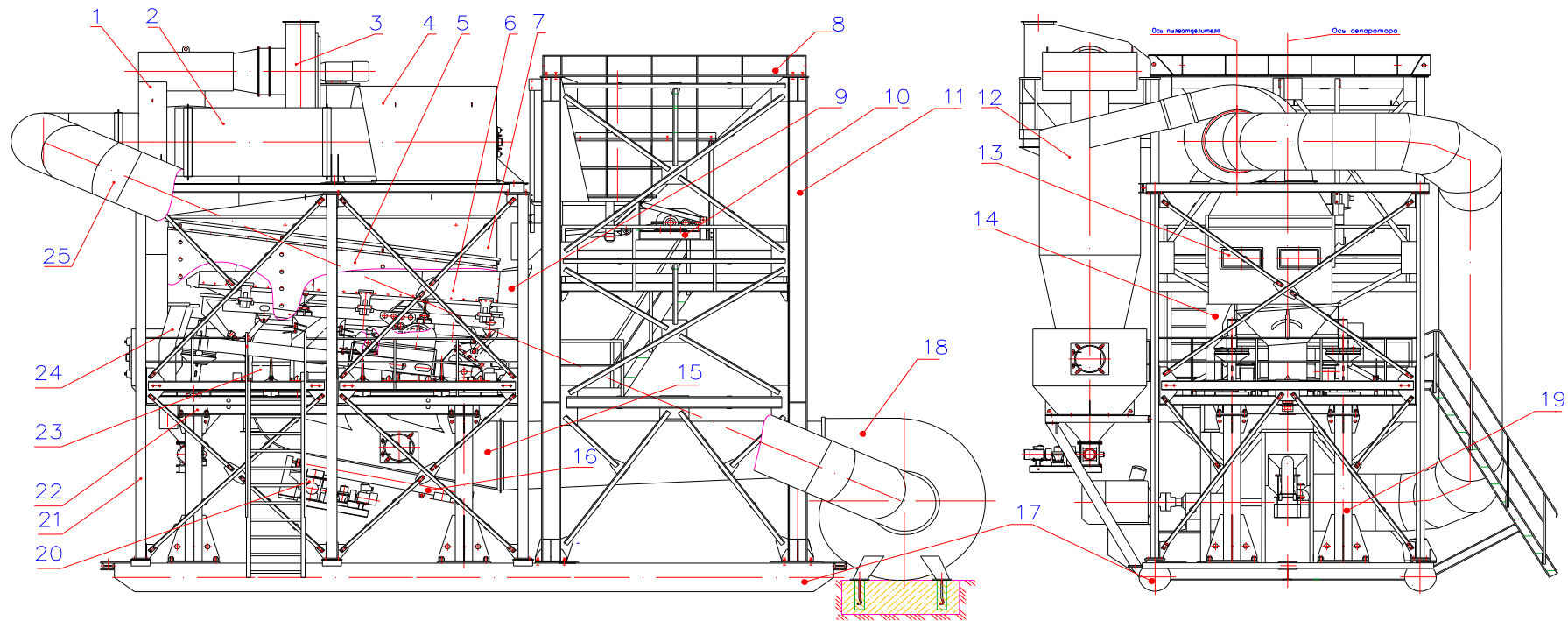


Рисунок 1. Комплекс пневматического обогащения КПО-50 на основе сепаратора СВП-5,5x1

1 – закручивающая улитка; 2 – труба; 3 – вентилятор дутьевой; 4 – пылеотделитель; 5 – штора; 6 – сепаратор; 7 – зонт; 8 – бункер; 9 – загрузочный лоток; 10 – питатель; 11 – металлоконструкция; 12 – циклон; 13 – окно смотровое; 14 – приёмные воронки; 15 – воздухопровод; 16 – разгрузчик; 17 – платформа; 18 – дымосос; 19 – стойка; 20 – дозатор; 21 – металлоконструкция; 22 – рама; 23 – пульсатор; 24 – воронка породная; 25 – трубопровод.

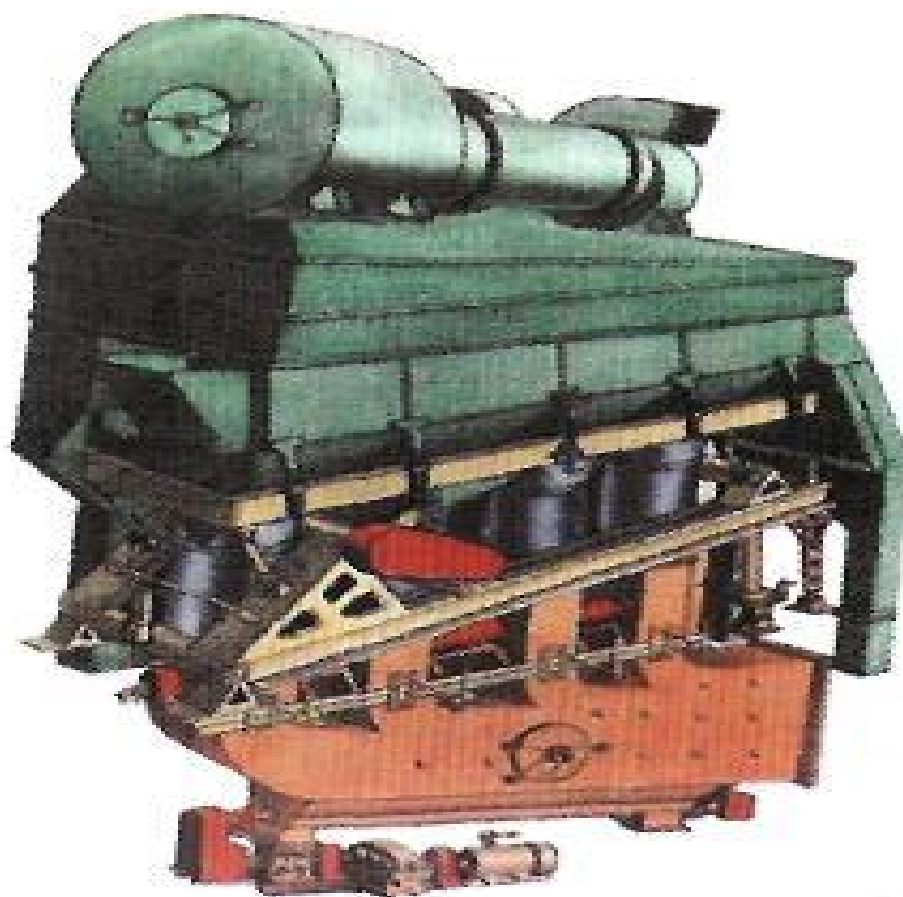


Рисунок 2. 3D – модель сепаратора СВП-5,5х1

Технологическая работа сепаратора СВП-5,5х1 основана на принципе пульсирующей подачи технологического воздуха под перфорированную деку, по которой движется слой разделяемого углесодержащего материала. Динамический режим колебаний позволяет получать высокие технологические показатели и может применяться для выделения товарного продукта из углесодержащего сырья с широким диапазоном крупности и зольности. Обогащение рядового угля (РУ) или горной массы террикона (ГМТ) гравитационного класса крупности 0-75 мм происходит на наклонной качающейся деке сепаратора с рифленой и перфорированной рабочей поверхностью, через отверстия которой нагнетается воздух. Конструкция деки предусматривает возможность изменения углов ее наклона в поперечном и продольном направлениях.

Дека содержит направляющие (рифли), изготовленные из стальных полос разной высоты. Наибольшую высоту рифли имеют в зоне разгрузки концентрата. Высота направляющих постепенно уменьшается как в продольном, так и в поперечном направлении. Высота рифлей в зоне выгрузки отходов минимальна. Конструкции деки предусматривает возможность изменения углов наклона в поперечном и продольном направлениях.

Конструкция сепаратора СВП-5,5х1 предусматривает пульсирующее нагнетание воздуха под деку. Воздух под деку нагнетается технологическим вентилятором через воздуховод, разделенный в верхней части на патрубки и диффузоры. Число патрубков и диффузоров соответствует числу воздушных полей сепаратора. Запыленный воздух удаляется через брезентовый зонт.

Материал из загрузочного устройства поступает на деку сепаратора, где с помощью питателя распределяется и образует «постель». Дека установлена на наклонных опорах и совершает возвратно-поступательные движения, благодаря чему «постель» по инерции подбрасывается вверх в направлении, перпендикулярном к плоскости опор. В результате одновременного подбрасываний и нагнетания потока воздуха материал «постели» разрыхляется и приобретает свойства текучести. Благодаря наклону деки в поперечном направлении и поступательному движению верхний (легкий) слой «постели», расположенный выше рифлей постепенно сползает вниз, под углом к оси сепаратора и разгружается вдоль его борта в передней части деки. Нижний (тяжелый) слой «постели», находящийся между рифлями, движется вдоль них. Разгрузка продуктов сепарации происходит по периметру деки. Распределение зольности продуктов сепарации в потоке движения возрастает в дифференциальной зависимости по периметру разгрузочной части деки и повторяет закон распределения зольности и выходов фракций исходного сырья.

Технические и технологические параметры сепаратора СВП-5,5х1

Технические параметры сепаратора СВП-5,5х1:

1.	Производительность по исходному материалу, т/ч, не более	50
2.	Класс крупности исходного материала, мм, не более	75
3.	Насыпная плотность исходного материала, т/м ³ , не более	2,8
4.	Поверхностная влага исходного материала, %, не более	8,0
5.	Рабочая площадь разделения, м ²	6,7
6.	Ширина деки, м	1,4
7.	Диапазон регулируемой частоты качания деки, с ⁻¹	5,0 ÷ 8,0
8.	Мощность приводов установленная, кВт	15,0
9.	Размеры габаритные, мм	6450x3906x7750
10.	Масса, кг	12570
11.	Продукты обогащения: концентрат, промпродукт и порода	

Технологические параметры сепаратора СВП-5,5х1

Серия	Продукт	Выход, γ , %	Золь- ность, A^d , %	Извлечение горючей массы, %	Эффек- тивность, %	Селектив- ность, %
1	Концентрат	33,5	18,4	63,43	52,6	14,28
	Порода	66,5	76,3			
	Исходный	100,0	56,9			
2	Концентрат	44,7	14,3	78,65	66,2	25,88
	Порода	55,3	81,2			
	Исходный	100,0	51,3			
3	Концентрат	66,2	19,5	87,46	54,4	14,14
	Порода	33,8	77,4			
	Исходный	100,0	39,07			

В сентябре-октябре 2013 года были проведены технологические испытания сепаратора СВП-5,5х1.

Достоверность результатов достигалась применением операций подготовки сырья, включающих классификацию исходного материала по классу крупности +50 мм и выделение сухого отсева (часть) класса крупности 0-6(8) мм.

В ходе испытаний контролировалась влага сырья и производительность сепараторов по исходному материалу, а также показатели продуктов обогащения.

Сравнение показателей сепараторов выполнялось при выделении 2 (двух) продуктов (концентрат и отходы) и определялось по извлечению горючей массы в концентрат и минеральной массы в отходы по эффективности обогащения E (формула Ханкока-Луйкена) и по селективности разделения S_G (формула Годэна).

В связи с тем, что эффективность и селективность разделения являются взаимно противоположными показателями, их использование дает наиболее объективную оценку результатов испытания.

$$E=100 \cdot \gamma_K (A_{II} - A_K) / A_{II} (100 - A_{II})$$

$$S_G = ((100 - A_K) / A_K) \cdot (A_O / (100 - A_O))$$

где: γ_K - выход концентрата, %; A_{II} , A_K , A_O - зольность питания, концентрата и отходов, %.

Результаты обогащения рядового угля СВП-5,5х1

Фракция	Рядовой уголь			Продукты обогащения			
				концентрат		отходы	
	γ , %	A^d , %	w^r , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %
СВП-5,5х1, испытания 2010.03.11							
Концентрат	15,9	19,8	-	30,7	19,8	69,8	73,1
Порода	36,8	73,1	-				
Питание	52,7	57,0	-				
Отсев	47,3	35,8	-				
Всего	100	47,0	8,9				
Извлечение горючей фракции, %				56,3			
Извлечение минеральной фракции, %						89,5	
Эффективность E , %				45,83			
Селективность S_G , %				11,01			

Анализ испытаний СВП-5,5х1

1 Пульсирующая подача воздуха под деку в зоны разделения способствует повышению эффективности сепарации СВП-5,5х1.

2 Динамическая и кинематическая схемы СВП-5,5х1 обеспечивают высокое разрыхление «постели» за счет дополнительных вертикальных составляющих колебаний, что способствует улучшению селективности разделения легких и тяжелых фракций.

3 СВП-5,5х1 обеспечивает более высокие технологические показатели при более трудных исходных условиях сепарации. При соответствующей настройке режима работы СВП-5,5х1 выход концентратных фракций может быть увеличен при одновременном повышении его зольности до допустимых пределов.

4 Возможность перенастройки параметров СВП-5,5х1 в довольно широких пределах позволяет оперативно управлять процессом разделения в зависимости от свойств поступающего сырья.

Спецификация МОК-СВП на базе сепаратора СВП-5,5х1

Спецификация обогатительного и вспомогательного оборудования, примененного в модульном обогатительном комплексе (МОК-СВП) на базе сепаратора СВП-5,5х1.

№ п./п.	Обозначение	Оборудование	Изготовитель
1	СВП-5,5х1	Пневматический сепаратор в сборе	ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А.Я. Пархоменко», г. Луганск
2	ДН-17	Дымосос	з-д Теплотехнического оборудования, г. Барнаул
3	ВДНу-12,5	Вентилятор	з-д Котельного оборудования, г. Бийск
4	Ц-24	Циклон	Оборудование индивидуального изготовления по проекту
5		Пылеуловитель спиральный	
6		Рукавный фильтр	
7		Шнековый уловитель просыпи	
8		Пункт управления	
9	ГИЛ-1,5Х2Д	Грохот инерционный	
10		Воздуховод	
11		Привод сепаратора	
12	Конвейерный тракт (до 150 м суммарный)		
13	ПК-1,2х8-0	Питатель	
14	Система аспирации		
15	Оборудование электропитания и распределения		
16	Металлоконструкции, строительные сооружения, архитектура, ген. План		
17	Конструкции вспомогательные		

Ситуаційний план

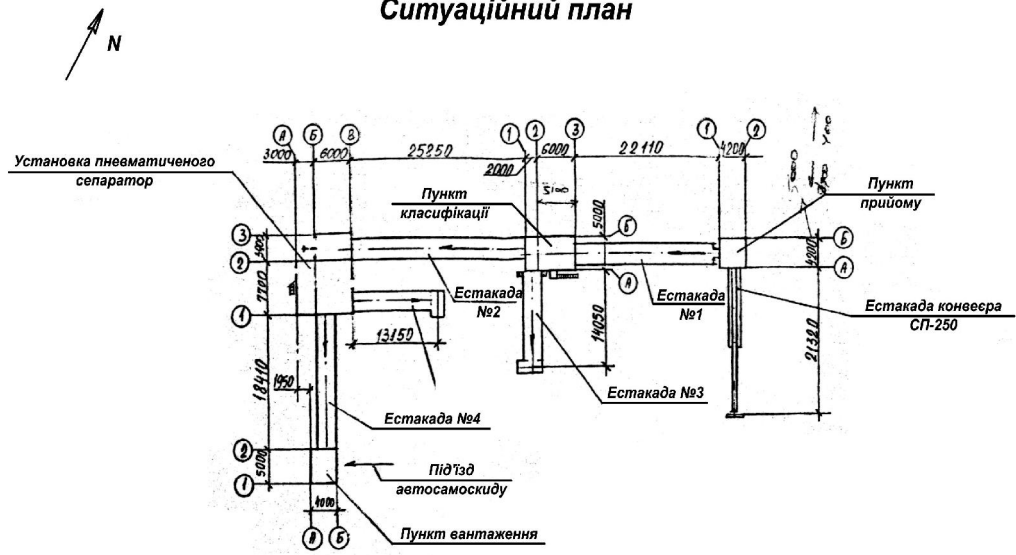
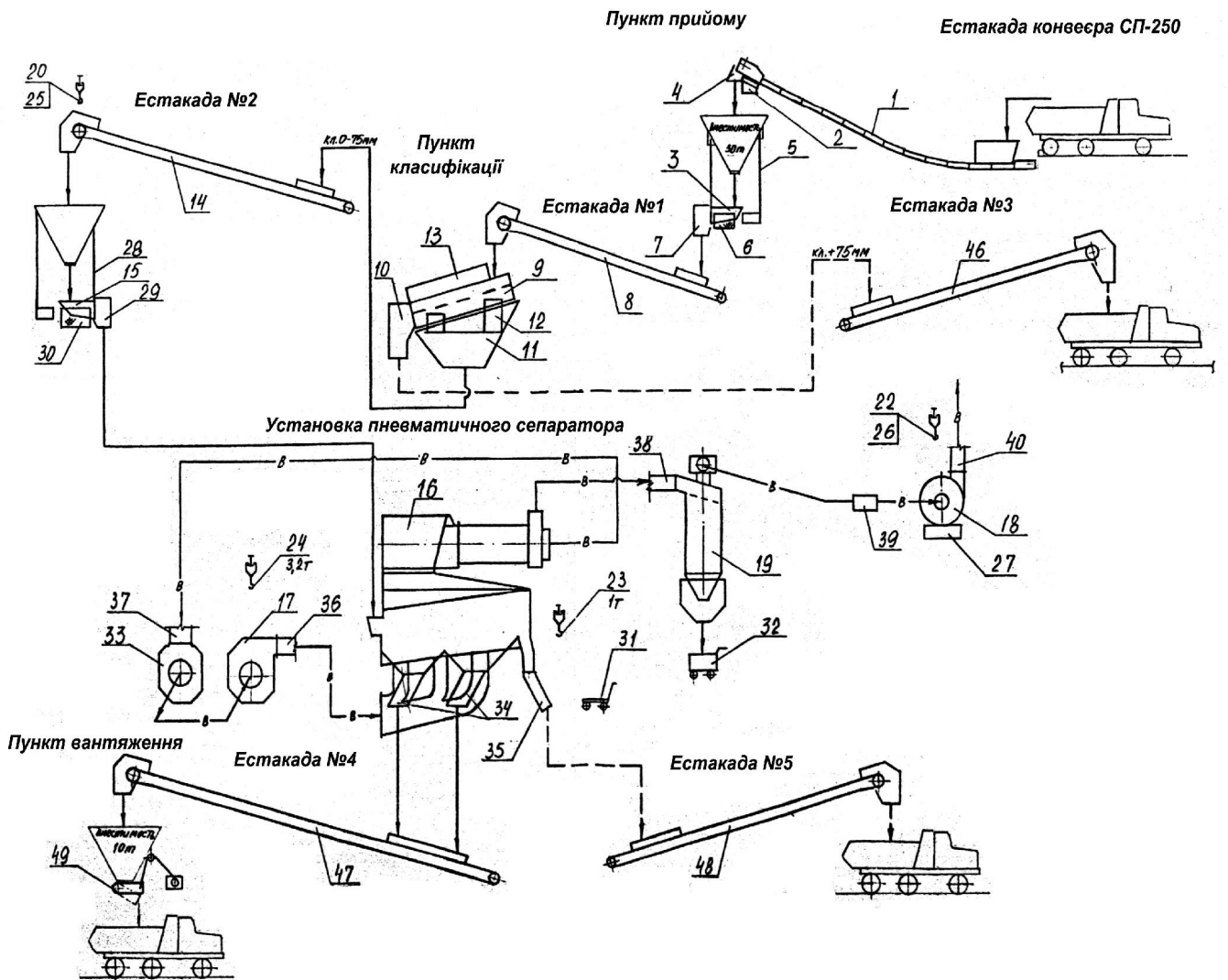


Схема обладнання



Ситуаційний план і технологічна схема ланки апарату МОК-СВП на базі сепаратора СВП-5,5x1

Порядок проведения испытаний по обогащению рядового угля (РУ) марки «ДГ» ш. «Южно-Донбасская № 1».

1. Испытания обогащения рядового угля (РУ) марки «ДГ» ш. «Южно-Донбасская №1» проводились на производственной площадке модульного обогатительного комплекса (МОК-СВП) на базе сепаратора СВП-5,5х1, который располагается в г. Макеевка, р-н террикона ш. «Щегловская-Глубокая».

2. РУ ш. «Южно-Донбасская № 1» (ориентировочная масса 45 тонн) был завезен на МОК-СВП до начала испытаний.

3. Запуск сепаратора СВП-5,5х1 проводился в холостом режиме (без нагрузки) с подачей воздуха под деку и включения вибрационного возбуждения деки. Запуск в холостом режиме обусловлен требованиями эксплуатации сепаратора – поток классифицированного угля должен подаваться на вибрирующую деку с подпором воздуха.

4. РУ загружается в бункер приема исходного материала из автосамосвалов.

5. РУ перегружается скребковым конвейером в накопительный бункер, из которого качающийся питатель разгружает РУ посредством ленточного конвейера на верхнее сито 2-ситного инерционного грохота типа ГИЛ-1,5х2Д:

верхнее сито – плоское, стальное, штампованное Ø 50 мм;

нижнее сито – мульти-наклонное (3 угла уклона 15°, 10° и 5°), резиновые сита # 6 мм.

6. Надрешетный продукт класс крупности +50 мм разгружается ленточным конвейером в штабель крупного продукта.

7. Промежуточный продукт класс крупности 0(6)-50) мм разгружается ленточным конвейером в бункер питания сепаратора.

8. Подрешетный продукт класс крупности 0-6 мм (частичный или полный отсев) разгружается ленточным конвейером в штабель мелкого продукта (для условий конкретных испытаний – в кузов грузового автотранспорта).

9. Часть подрешетного продукта класс крупности 0-6 мм смешивается с промежуточным продуктом класс крупности 0(6) -50 мм и загружается в бункер сепаратора для формирования псевдо-ожиженной «постели» и повышения эффективности разрыхления «постели».

10. Сепаратор СВП-5,5х1 разделяет РУ на 2 (два) продукта:

- легкий – концентрат;
- тяжелый – отходы (порода).

11. Результаты испытаний РУ ш. «Южно-Донбасская» №1 от 15.09.2013 г.

Продукт	Класс крупности, мм	γ, %	A ^d , %
Отсев	0-6	36,4	46,24
Порода ручной выборки	50-300	6,5	82,25
Уголь ручной выборки	50-300	2,2	4,18
Питание сепаратора	0-6	17,1	45,94
	6-50	37,8	56,99
	0-50	54,9	53,55
Концентрат	0-6	6,5	38,34
	6-50	15,2	23,22
	0-50	24,1	24,99
Отходы	0-6	1,4	57,38
	6-50	29,4	76,77
	0-50	30,8	75,89
Концентрат (объединенный)			
Отсев	0-6	36,4	46,24
Уголь ручной выборки	50-300	2,2	4,18
Концентрат сепаратора	0-50	24,1	24,99
Итого продукт товарный	0-300	62,7	36,60
Отходы (объединенный)			
Порода ручной выборки	50-300	6,5	82,25
Отходы сепаратора	0-50	30,8	75,89
Итого порода		37,3	76,99
Уголь рядовой		100,0	51,66

12. Обобщенные результаты испытаний РУ ш. «Южно-Донбасская № 1» от 15.09.2013 г. и 11.10.2013 г.

Дата	Материал	Класс крупности исходного материала, мм							
		0-6, %		6-50, %		50-300, %		исходный, %	
		γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %
15.09.13	РУ ш. «ЮД №1»	28,60	45,25	47,20	40,14	24,20	60,18	100,00	46,45
11.10.13	РУ ш. «ЮД №1»	53,50	46,14	37,80	56,99	8,70	62,50	100,00	51,66

13. Результаты испытаний работы сепаратора СВП-5,5x1 по классам крупности

Класс крупности исходного материала, мм	Питание СВП, %		Концентрат, %		Отходы, %		Снижение A^d , %
	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	γ , %	A^d , %	
0-6	17,1	45,94	6,5	38,34	1,4	57,38	1,20
6-50	37,8	56,99	15,2	23,22	29,4	76,70	2,45

14. Результаты испытаний работы сепаратора СВП-5,5x1 и МОК-СВП

	Питание, %		Концентрат, %			Отходы, %			Извлечение горючей массы, %	Извлечение золы в отходы, %	Эффективность по Фоменко	Селективность по Годэну
	γ , %	A^d , %	γ , %	γ к операции, %	A^d , %	γ , %	γ к операции, %	A^d , %				
СВП-5,5x1	54,9	53,55	24,1	43,90	24,99	30,8	56,10	75,89	32,93	79,51	26,18	9,45
МОК-СВП	100,0	51,66	62,7	-	36,60	37,3	-	76,99	39,75	55,59	22,10	5,80

15. Выводы о работе сепаратора СВП-5,5x1 и МОК-СВП по результатам испытаний:

- сепаратор СВП-5,5x1 обеспечивает снижение зольности класса крупностью 6-50 мм (характерный исходный материал) практически в 2,5 раза;

- выход товарного продукта (концентрат марки «ДГ») сепаратора СВП-5,5x1 составляет $\gamma = 44\%$ с $A^d = 25\%$, а отходы с $A^d \geq 75\%$.

- МОК-СВП позволяет в целом получать 63% товарного продукта с $A^d = 36-37\%$ при исходном питании с $A^d = 51,7\%$. Отходы МОК-СВП имеют $A^d = 77\%$ и являются отвальными, снижение золы составляет 1,4.

От ООО «Райт»

Розанов Ю.А.

22.10.2013

Дудников С.В.

22.10.2013

Куфтова Т.З.

22.10.2013

От ГВУЗ «ДонНТУ»

Назимко Е.И.

22.10.2013

Корчевский А.Н.

22.10.2013

Пластовец А.В.

23.10.2013

От ООО «Ресурс-Инжиниринг»

Исаев Е.Л.

24.10.2013

«Затверджую»
Проректор з наукової роботи
ДВНЗ «ДонНТУ»
проф. Башков Е.О.
2013 р.

«Затверджую»
Директор ТОВ «Райт»
Ткачев О.М.
2013 р.



ПРОТОКОЛ

**визначення річного економічного ефекту впровадження
технології збагачення на базі сепаратора СВП-5,5x1
на модульній установці переробки сипких вуглевмісних
матеріалів ТОВ «Райт»**

Комісія у складі:

- від ТОВ «Райт»: технічний директор Розанов Ю.О.; начальник модульної установки Дудніков С.В.; замісник директора по збагаченню Кустова Т.З.;
- від ДВНЗ «ДонНТУ»: завідуючий кафедрою «Збагачення корисних копалин», проф., д.т.н. Назимко О.І.; доцент кафедри «Збагачення корисних копалин», к.т.н., завідуючий вуглехімічною лабораторією НДЧ Корчевський О.М.; магістрант кафедри «Збагачення корисних копалин», провідний інженер НДЧ Пластовець О.В.;
- від ТОВ «Ресурс-Інжиніринг»: головний інженер проекту Ісаєв Е.Л.

1 Показники технології сухого збагачення рядового вугілля з використанням пневматичного сепаратора

Результати розрахунку наведені на рисунку 1, баланс продуктів збагачення - у таблиці 1. З цих даних слідує, що зольність концентрату складала 29,0% (менше 30%), зольність відходів 80,8%. Зниження зольності вихідного вугілля - 25% (більше 20%).

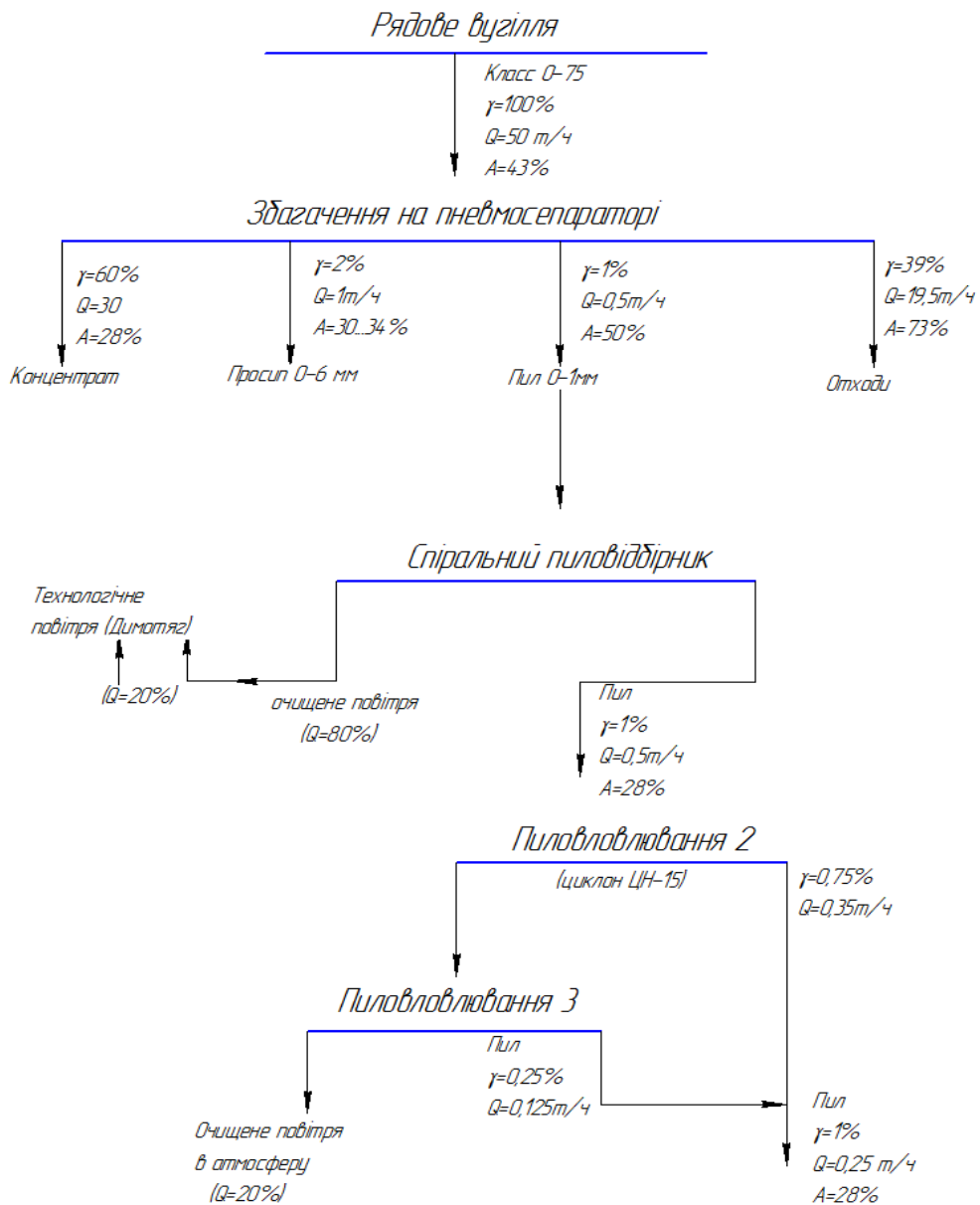


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки сыпучих углесодержащих материалов

Розрахунок показників збагачення очікуваний баланс продуктів збагачення виконаний на підставі експериментальних досліджень.

Технологічна схема переробки вуглевмісних сипких матеріалів і очікувані баланси продуктів збагачення й продуктів роботи аспіраційних установок наведені, відповідно, на рис. 1 і в табл. 2.

Таблиця 1 – Баланс продуктів збагачення

Продукти	Вихід, %	Кількість		Зольність, A ^d , %
		т/г	тис. т/рік	
1 Концентрат (у відвантаження)	80,80	40,40	174,50	29,0
2 Просип (кл. 0-6 мм) у відвантаження	1,00	0,50	2,16	38,0
3 Зважений пил (на аспірацію)	0,03	0,015	0,07	39,1
4 Відходи (у відвантаження)	18,17	9,085	39,25	80,8
Разом	100,00	50,00	216,00	38,5

Таблиця 2 – Баланс продуктів роботи аспіраційних установок

Продукти	Кількість		Зольність, A ^d , %
	т/г	тис. т/рік	
1 Пил (у процес)	0,012	0,052	39,1
2 Пил (у відвантаження)	0,00255	0,011	39,1
3 Пил (в атмосферу)	0,00045	0,002	39,1
Разом	0,015	0,070	39,1

2 Розрахунок річного економічного ефекту від застосування технології

Технологія призначається для зниження зольності рядового вугілля шляхом сухого збагачення з використанням пневматичних сепараторів без застосування водно-шламового комплексу та мулонакопичувачів

Технологія застосовується на підприємствах вугільної промисловості. Стадія розробки - ТЗ.

За базовий варіант прийнято показники роботи шахти «Южно-Донбасская №1».

Річний обсяг установки пневмосепаратора складає 216 тис. т. Виходячи з режиму роботи й продуктивності установки пневмосепаратора

Використані методики та нормативні матеріали:

- «Методические рекомендации по формированию цен на новую научно-техническую продукцию» (второе издание), Минуглепром Украины, ДонУГИ, Донецк, 1995 г.
- «Методические рекомендации по оценке экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса в угольной промышленности», Минуглепром Украины, ДонУГИ, Донецк, 1995 г.
- Ціни на вугільну продукцію і обладнання прийняті як такі, що склалися на договірних умовах на час розрахунку економічного ефекту.

Таблиця 3 – Фракційний аналіз продуктів розділення сепаратора СВП-5,5

Щільність розділення, т/м ³	Живлення СВП, %		Концентрат, %			Відходи, %			Вилучення горючої маси, %	Вилучення золи у відходи, %	Ефективність по Фоменко, %	Селективність по Годэну
	Вихід	Зола	Вихід	Вихід до операції	Зола	Вихід	Вихід до операції	Зола				
-1,4	20,6	2,95	16,6	30,2	2,94	4,0	7,3	3,01	-	-	-	-
1,4-1,8	2,4	21,69	1,9	3,5	21,79	0,5	0,9	21,34	-	-	-	-
+1,8	31,9	88,11	5,6	10,2	88,58	26,3	47,7	88,01	-	-	-	-
Разом	54,9	53,25	24,1	43,90	24,99	30,8	56,10	75,89	32,93	79,51	26,18	9,45

Таким чином при роботі сепаратора забезпечується зниження зольності, що є його характерним продуктом, практично в 2,5 разу. При цьому з високозольного матеріалу(зола класу близько 54%) можна отримати енергетичний продукт зольністю 23-25% і відходи зольністю близько 76-80%.

Вихід товарного продукту сепаратора складає близько 44% із зольністю 25%, відходи мають зольність вище 75%. Ефективність роботи сепаратора близько 26 ед. (по Фоменко)зниження золи в 2 рази.

Комплекс пневматичної сепарації в цілому дозволяє отримувати близько 63% товарного продукту із зольністю 36-37% при золі живлення комплексу 51,7%. Відходи мають зольність близько 76% і є відвальними. Ефективність роботи комплексу 25 ед. (по Фоменко) зниження золи складає 1,4

Таблиця 4 – Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту застосування технології та її договірної ціни

Назва показників	Одиниця виміру	Варіанти	
		базовий	новий
Переробка рядового вугілля	тис.т.	216	216
Зольність рядового вугілля	%	38,5	38,5
Волога рядового вугілля	%	8	8
Випуск товарної продукції	тис.т	216	150.77
Вихід товарної продукції	%	100,0	69,8
Зольність товарної продукції	%	38,5	20

Нижчий рівень ціни нової технології визначається за формулою:

$$C_H = \frac{(Z_p \times K_I' + Z_{en} \times K_I'')(1 + \gamma)}{A_r \times T} + Z_{TI} =$$

$$\frac{(600 \times 1,1 + 0 \times 1,2)(1 + 0,25)}{1 \times 5} + 6827,6 = 7008,6 \text{ тис. грн,} \quad (1)$$

де Z_p - витрати розроблювачів за час виконання НД і ДКР з урахуванням податків та нормативного прибутку за цінами відповідних періодів, тис.грн. Згідно з кошторисом ДП "УкрНДІвуглезбагачення" $Z_p = 600,0$ тис.грн.;

K_I', K_I'' - зведені коефіцієнти інфляції, які враховують ріст цін та забезпечують проведення різночасних витрат до початку серійного випуску та реалізації виробу, враховані у витратах розроблювачів, $K_I' = 1,1; K_I'' = 1,2$;

Z_{en} - одноразові витрати виробника на освоєння серійного випуску та реалізації виробу, $Z_{en} = 0$;

γ - доля ліцензійних платежів розроблювачів (НДІ, ПКВ) від сум, що повертаються інвестору, $\gamma = 0,25$;

A_r - середньорічний обсяг виробництва, шт., $A_r = 1$ шт.;

T - очікуваний період серійного випуску виробу до зняття його з виробництва, років, T = 5;

Z_{ти} - витрати заводу-виробиика з урахуванням податків та нормативного прибутку, з розрахунку на одиницю виробу (без врахування зворотних витрат Міністерству енергетики та вугільної промисловості), тис.грн., Z_{ти} = 6843,6 тис.грн. (див. таблицю 5).

Таблиця 5 – Калькуляція вартості установки

№ поз.	Назва обладнання	Кіл.	Ціна, тис.грн.	
			одиниці	всього
I Основне обладнання				
1	Грохот ГЛ-1,5 х2Д	1	423,1	423,1
2	Сепаратор СВП-5,5 х1	1	1384,6	1384,6
3	Пиловловлювач Ц-1600	1	240,0	240,0
4	Горизонтальний равликівий (спіральний) пиловловлювач	1	350,0	350,0
5	Живильник ПКЛ-8-0	1	107,7	107,70
Разом				2505,4
II Допоміжне обладнання				
6	Стрічковий конвеєр КЛ-80	3	269,2	807,7
7	Димосос ДН-17,5	1	580,8	580,8
8	Вентилятор ВДНу-12,5	1	272,3	272,3
Разом				1660,8
III Будівельно-монтажні роботи (від вартості обладнання)				
9	Будівля відділення сухого збагачення (10%)	1	1384,6	1384,6
10	Бункер (25 м ³)	1	43,1	43,1
11	Транспортні витрати (10%)			416,6
12	Монтажні роботи (20%)			833,3
Разом				2677,6
IV Пуск та наладка				
13	5% від вартості обладнання			208,31
Всього				6843,6

Використання технології дасть можливість зменшити зольність товарної продукції на 25% та скоротити обсяг її транспортування

При впровадженні технології зміняться експлуатаційні затрати по елементах: "Заробітна плата", "Електроенергія", "Поточний ремонт", "Амортизація", "Матеріали".

Таблиця 6 - Розрахунок витрат по елементу «Заробітна плата» з нарахуваннями

Професія	Розряд	Оклад, тарифна ставка	Кількість працівників	Кількість робочих годин у місяці	Пряма заробітна плата, грн/рік	Нарахунки до прямої заробітної плати	Разом заробітна плата з нарахуваннями, грн/рік
Начальник установки	-	3 500	1		42 000	12 600	54 600
Механік	-	3 000	1		36 000	10 800	46 800
Енергетик	-	2 700	1		32 000	9 720	42 120
Начальник зміни	-	15,0	2	176	63 360	19 008	82 368
Оператор	IV	11,5	2	176	48 576	14 572	63 148
Апаратник вуглезбагачення	V	14,2	2	176	59 980	17 994	77 974
Апаратник вуглезбагачення	IV	11,5	2	176	48 576	14 572	63148
Слюсар і електрослюсар	IV	11,5	2	176	48 576	14 572	63 148
Слюсар і електрослюсар	V	14,2	2	176	59 980	17 994	77 974
Слюсар і електрослюсар	III	10,4	2	176	43 929	13 178	57 107
Черговий слюсар і електрослюсар	IV	11,5	2	176	48 576	14 572	63 148
Разом			19		531 553	159 582	691 525

3 Розрахунок витрат по елементу "Амортизація"

Витрати по елементу "Амортизація" для обладнання технологічної схеми визначені на підставі норм амортизаційних відрахувань і балансової вартості обладнання згідно таблиці 5.

Таблиця 7 – Розрахунок витрат по елементу "Амортизація"

№ п/п	Назва обладнання	Кількість одиниць обладнання, шт.	Балансова вартість з врахуванням транспортних витрат (10%), монтажно-транспортних робіт (20%), ПДВ, тис. грн.	Загальна балансова вартість, тис.грн.	Норматив амортизації на реновацію, %	Амортизаційні відрахування на реновацію, тис.грн. у рік
1	Грохот ГІЛ-1,5 х2Д	1	550,0	550,0	15	82,5
2	Сепаратор СВП-5,5 х1	1	1800,0	1800,0	15	270,0
3	Пиловловлювач Ц-1600	1	312,0	312,0	15	46,8
4	Горизонтальний (спіральний) пиловловлювач	1	455,0	455,0	15	68,25
5	ЖивильникПКЛ-8-0	1	140,0	140,0	15	21,0
6	Стрічковий конвеєр КЛ-80	3	350,0	1050,0	15	157,5
7	Димосос ДН-17,5	1	755,0	755,0	15	113,3
	Вентилятор ВДНу-12,5	1	354,0	354,0	15	53,1
8	Разом			5416,0		812,5
9	Будівля	1	1800,0	1800,0	3,1	55,8
10	Бункер	1	56,0	56,0	3,1	1,7
	Разом			1856,0		57,5
	Всього			7272,0		869,9

4 Розрахунок витрат по елементу «Поточний ремонт»

Витрати по поточному ремонту визначаються у розмірі 3,5% від балансової вартості обладнання і складають:

$$Z_{пр} = 5416,0 \times 0,035 = 189,6 \text{ тис. грн. на рік.} \quad (2)$$

Таблиця 8 - Розрахунок витрат по елементу «Електроенергія»

№ п/п	Струмо-приймачі	Потужність одного струмоприймача, кВт	Кількість одночасно працюючих струмоприймачів, шт.	Загальна потужність, кВт	Коефіцієнт завантаження	Час роботи за рік, годин	Витрачена потужність кВт/год (K ₅ -K ₆ -K ₇)	Ціна витраченої електроенергії, тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Грохот ГЛ-1,5 х2Д	11,0	1	11,0	0,8	4320	38016	10,6
2	Сепаратор СВП-5,5 х1	10,0	1	10,0	0,8	4320	34560	9,67
3	Пиловловлювач Ц-1600	0,0	1	0	0,8	4320	0	0
4	Горизонтальний равликівий (спіральний) пиловловлювач	0,0	1	0	0,8	4320	0	0
5	Живильник ПКЛ-8-0	2,2	1	2,2	0,8	4320	7603	2,1
6	Стрічковий конвеєр КЛ-80	7,5	3	22,5	0,8	4320	77760	21,7
7	Димосос ДН-17,5	161,0	1	161,0	0,8	4320	556416	155,8
8	Вентилятор ВДНУ-12,5	55,0	1	55,0	0,8	4320	190080	53,2
9	Освітлення			15,0	0,8	4320	51840	14,5
10	Різне			100,0	0,8	4320	345600	40,8
	Разом			376,7			1301875	308,4

5 Розрахунок витрат по елементу «Матеріали»

Таблиця 9 – Витрати на робочі поверхні

Назва обладнання	Кількість	Навіска робочої поверхні, м ² на одиницю обладнання	Кількість замін на рік	Річна навіска робочої поверхні всього, м ²	Ціна робочої поверхні з ПДВ, грн/м ²	Загальна вартість робочих поверхонь, тис. рік
Грохот ГІЛ-1,5 х2Д	1	10,5	4	42,0	3500	147,0
Сепаратор СВП-5,5 х1	1	6,3	1	6,3	6300	39,7
Разом	2					186,7

Таблиця 10 – Експлуатаційні витрати

Елементи витрат	Сума витрат, тис. грн/рік
Заробітна плата з нарахуваннями	691,5
Амортизація	869,9
Поточний ремонт	189,6
Електроенергія	308,4
Матеріали	186,7
Разом	2246,1
Невраховані експлуатаційні витрати (10% від загальних витрат)	224,6
Всього ДИ	2470,7

Експлуатаційні витрати за термін Т:

$$\Delta И_T = \Delta И * T = 2470,7 \times 5 = 12353,5 \text{ тис. грн.} \quad (3)$$

де Т - термін служби обладнання, років. Т = 5 років.

6 Розрахунок приросту прибутку

Розрахунок приросту прибутку за рахунок реалізації отриманої продукції більш високої якості

Приріст прибутку $\Delta\Pi_1$

$$\Delta\Pi_1 = (P_{\text{ТОВ.н}} \cdot Ц_{\text{ТОВ.н}} - P_{\text{ТОВ.б}} \cdot Ц_{\text{ТОВ.б}}), \quad (4)$$

де $P_{\text{ТОВ.н}}$, $P_{\text{ТОВ.б}}$ - випуск товарної продукції в новому і базовому варіантах, відповідно, для кокосового концентрату -150,77 і 216,0 тис. т.;

$Ц_{\text{ТОВ.н}}$, $Ц_{\text{ТОВ.б}}$ - ціна 1 т товарної продукції у новому та базовому варіантах, грн./т.

Таблиця 11 – Розрахунок ціни товарної продукції

Назва продукції (варіант)	Марка вугілля по ДСТУ 3472.	Узгоджена якість і ціна			Фактична якість		Знижки, приплати* по			Ціна з урахуванням якості, грн./т
		Узгоджена розрахункова якість по		Узгоджена оптова ціна за 1 т, грн.	зольність, %	вологість, %	зольність, %/грн.	вологість, %/грн.	всього, %/грн.	
		зольність, %	вологість, %							
Вугілля (базовий)	«Г»	24,0	8	550,0	38,5	8	-0,36	0	-0,36	350,6
							-	0	-	
Вугілля (новий)	«Г»	24,0	8	550,0	20	8	+0,1	0	+0,1	605
							+55	0	+55	

Приріст прибутку (за даними таблиці 4.11)

$$\Delta\Pi_1 = 605,0 \cdot 150,77 - 350,6 \cdot 216,0 = 91215,9 - 75729,6 =$$

$$= 15\,486,3 \text{ тис. грн.} \quad (5)$$

Розрахунок приросту прибутку за рахунок зменшення витрат на перевезення вугільної продукції.

Приріст прибутку $\Delta\Pi_2$

$$\Delta\Pi_2 = P_{\text{тр б}} - P_{\text{тр н}} = 129,6 - 90,5 = 39,1 \text{ тис. грн.}, \quad (6)$$

де $P_{\text{тр б}}$, $P_{\text{тр н}}$ – транспортні витрати на перевезення товарної вугільної продукції по базовому і новому варіантам, тис. грн..

Витрати на перевезення товарної вугільної продукції по базовому варіанту

$$P_{\text{тр.б}} = P_{\text{Тов.б}} \cdot C_{\text{тр.}} = 216,0 \cdot 0,6 = 129,6 \text{ тис. грн.}, \quad (7)$$

де $C_{\text{тр}} = 0,6$ - витрати на перевезення 1 т вугілля на відстань 3 км (за розрахунками ГП «УкрНДІвуглезбагачення»), грн./т.

Витрати на перевезення товарної вугільної продукції по новому варіанту

$$P_{\text{тр.н}} = P_{\text{Тов.н}} \cdot C_{\text{тр}} = 150,77 \cdot 0,6 = 90,5 \text{ тис. грн.} \quad (8)$$

Приріст прибутку за термін T

$$\Delta\Pi = (\Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2) \cdot T = (15486,3 + 39,1) \cdot 5 = 77627,0 \text{ тис. грн.} \quad (9)$$

Капітальні витрати на впровадження технології.

Капітальні витрати складаються з витрат на обладнання, його доставку, монтаж, на зведення будівлі, інші витрати (20% балансової вартості обладнання) - див. таблицю 5:

$$\begin{aligned} K &= K_{\text{об}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{буд}} + K_{\text{ін}} = \\ &= (2505,4 + 1660,8) + 416,6 + 833,3 + 1384,6 + \\ &+ 43,1 \cdot ((2505,4 + 1660,8) \cdot 0,2) = 7677,1 \text{ тис. грн.} \end{aligned} \quad (10)$$

7 Вищий рівень ціни технології

Вищий рівень ціни визначається за формулою:

$$C_B = \frac{(\Delta I_T + \Delta \Pi + E_{ТПР})K_H + K_P \cdot C_6 \cdot \frac{P_H}{P_6} \cdot \frac{T_H}{T_6} - K}{K_{TP} - K_B}, \text{ тис. грн.}, \quad (11)$$

де ΔI_T - збитки витрат виробництва (без амортизаційних підрахунків на реновацію) у результаті зміни базового обладнання на нове за термін T його експлуатації до фізичного зносу, $\Delta I_T = 7454,54$ тис. грн.;

$\Delta \Pi$ - приріст прибутку за рахунок реалізації отриманої продукції більш високої якості та зменшення витрат на її перевезення, $\Delta \Pi = 77\,627$ тис. грн.;

$E_{ТПР}$ - економія на суміжних технологічних процесах за період T , $E_{ТПР} = 0$;

K_H - коефіцієнт, який враховує податки, які виплачуються підприємством від прибутку, згідно діючому законодавству, $K_H = 0,7$;

K_{TP} - коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат до ціни технології, $K_{TP} = 1,2$;

C_6 - ціна обладнання базової технології, $C_6 = 4166,2$ тис. грн.;

P_H, P_6 - продуктивність, відповідно нової та базової технології, $P_H = 50$ т/год., $P_6 = 50$ т/год.;

T_H, T_6 - термін служби нової і базової технології, $T_6 = T_H = 5$ років;

K - капітальні витрати, які зв'язані зі створенням технології, $K = 7454,5$ тис. грн.;

K_B - коефіцієнт ліквідації вартості технології після закінчення терміну її експлуатації, $K_B = 0,05$.

Вищий рівень ціни установки:

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{(-12353,5 + 77627,0)0,7 + 1,2 \cdot 4166,2 \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{5}{5} - 7454,5}{1,2 - 0,05} = \\ &= \frac{45691,45 + 4999,4 - 7677,1}{1,15} = 43013,75 \text{ тис. грн.} \end{aligned} \quad (12)$$

8 Економічний ефект

Річний економічний ефект від впровадження технології складає:

$$E_p = (C_v - C_n) : T = (43013,75 - 7008,6) : 5 = 7201 \text{ тис. грн.} \quad (13)$$

9 Термін окупності

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p} = \frac{7677,1}{7201} = 1,06 \text{ роки} \quad (14)$$

10 Договірна ціна складає

$$\begin{aligned} C_d &= C_n (1 - \alpha) + C_v \cdot \alpha = 7008,6(1 - 0,1) + 43013,75 \cdot 0,1 = \\ &= 10\,609,1 \text{ тис. грн.} \end{aligned} \quad (15)$$

де α - загальна частина річного ефекту, яка належить розроблювачеві та інвестору, $\alpha = 0,1$.

Від ТОВ «Райт»

Розанов Ю.О.

22.10.2013

Дудніков С.В.

22.10.2013

Куфтова Т.З.

23.10.2013

Від ДВНЗ «ДонНТУ»

Назимко О.І.

22.10.2013

Корчевський О.М.

22.10.2013

Пластовець О.В.

23.10.2013

Від ТОВ «Ресурс-Інжиніринг»

Ісаєв Е.Л.

24.10.2013

Научно-техническое издание

КОРЧЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИ

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ
ВИБРАЦИОННОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ**

Монография

АВТОР МОНОГРАФИИ:

КОРЧЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ



кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Обогащение полезных ископаемых» (ОПИ) ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ДонНТУ), заведующий лабораторией «Углехимическая» НИЧ ГВУЗ «ДонНТУ», научный руководитель лаборатории «Контроль атмосферного воздуха» НИЧ ГВУЗ «ДонНТУ», действительный член (Академик) Международной Академии Безопасности Жизнедеятельности (МАБЖД), уполномоченный на проведение независимой экспертизы по вопросам безопасности жизнедеятельности в сфере промышленной безопасности и горно-промышленного аудита.