

ПНЕВМОВИБРАЦИОННЫЙ СПОСОБ ОБОГАЩЕНИЯ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В УКРАИНЕ



Вячеслав Федорович ЧУМАК,
главный конструктор
ООО «Луганский
электромашиностроительный
завод» (г. Луганск, Украина)

ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЕЙ ВПЕРВЫЕ ПОЯВИЛОСЬ В 70-Х ГОДАХ XIX-ГО СТОЛЕТИЯ. ВНАЧАЛЕ ОНО ОСУЩЕСТВЛЯЛОСЬ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОТСАДОЧНЫХ МАШИНАХ (МАШИНЫ КРОМА — 1874 Г. И ПАДДОКА — 1888 Г.), А ПОЗДНЕЕ, НАЧИНАЯ С 1919 Г., — НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРАХ, ИЗОБРЕТЕННЫХ В 1905 Г. Г.М. СЭТТОНОМ, В.Л. СТИЛЛОМ И Е.Г. СТИЛЛОМ И ПРИМЕНЯВШИХСЯ ДО 1919 Г. ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

В литературе четкой классификации пневматических машин на эти две группы не существует. Различные авторы относят одни и те же машины к разным группам. Например, проф. П.Г. Ляшенко считал, что отличительными признаками пневматических сепараторов (столов) являются наличие качательного движения рабочей поверхности и непрерывная подача воздуха. Соответственно характерными признаками пневматических отсадочных машин (по аналогии с гидравлическими отсадочными машинами) являются пульсирующая подача воздуха и неподвижность рабочей поверхности. Однако совершенствование как сепараторов, так и пневматических отсадочных машин привело к тому, что на первых начала применять пульсирующую подачу воздуха

И.А. Проценко считал отличительным признаком сепараторов наличие при их работе разнонаправленного движения фракций разных удельных весов и их разгрузку в различных пунктах деки.

Несмотря на создание целого ряда усовершенствованных пневматических отсадочных машин, появившиеся несколько позже сепараторы получили более широкое промышленное распространение. Первым промышленным сепаратором была разработанная в США машина типа Сj (1919 г.). В качестве рабочей поверхности применялись металлические сетки. Сепаратор

имел эксцентриковый привод. Дека была установлена на наклонных опорах, обеспечивающих продвижение материала по рабочей поверхности с подбрасыванием. Воздух подавался непрерывным потоком. В 1921 г. там же была построена первая установка системы «Пил-Девис», оборудованная сепараторами того же названия. Они изготавливались двух типоразмеров: модель А площадью рабочей поверхности деки 50 м² и модель В площадью 22,3 м². Отличительной особенностью этой конструкции сепаратора была удлиненная дека, имевшая две мульдобразно расположенные полудеки. Рабочей поверхностью служила металлическая сетка с размерами отверстий от 3 мм (в начале деки) до 0,75 мм (в конце). Воздух под деку подавался непрерывным потоком из общего канала, дека была разделена поперечными перегородками на 8 отсеков, по которым происходило распределение воздушного потока, осуществляемое с помощью специальных клапанов, регулируемых из нижнего воздухоподвода. Движение деке придавалось приводом Маркуса.

В начале 20-х годов в США была разработана конструкция сепаратора Sj, являющаяся усовершенствованием сепаратора Сj. Изменению была подвергнута форма деки. Распределение непрерывного воздушного потока по рабочей поверхности осуществлялось с помощью регулируемых снаружи жалюзей. Модификацией сепара-

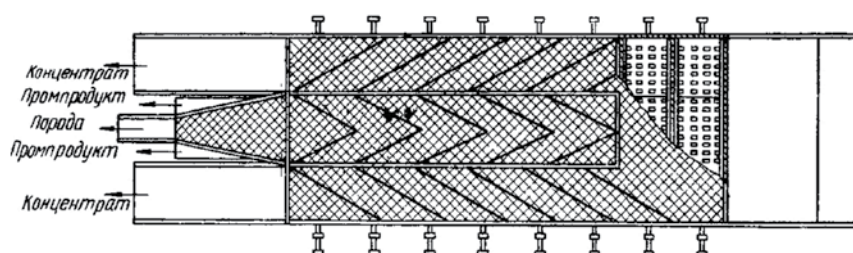


Рисунок 1. Схема деки пневматического сепаратора системы «Гумбольдт»

ратора Sj являлся сепаратор Армса (1923 г.).

В 1925 г. был создан сепаратор У. Рабочей поверхностью в этой машине служили перфорированные листы. Сепаратор работал на непрерывном воздушном потоке, дека опиралась на наклонные опоры, обеспечивающие подбрасывание материала; ее движение осуществлялось с помощью эксцентрикового привода.

В Англии в 1928 г. фирмой «Бертлей» был изготовлен сепаратор системы V (Ви), а в 1930 г. модернизированная модель «Супер-Ви». В качестве рабочей поверхности на этих сепараторах использовались рашпильные сита. Воздушный поток был непрерывным, распределение его по поверхности деки регулировалось жалюзьями. Дека устанавливалась на наклонных опорах и приводилась в движение от эксцентрикового привода.

В отличие от американских и английских конструкций немецкие сепараторы имели только прямоугольные деки, разделенные как в продольном, так и в поперечном направлениях на ряд полей с индивидуальным подводом и регулировкой подачи воздуха. Сепаратор фирмы «Бамаг-Меугин» имел двухскатную деку, каждая полудека которой в продольном направлении разделена на три поля. Отдельные поля деки снабжались устройствами для индивидуальной регулировки углов наклона и воздушного режима. Подача воздуха под сепаратор осуществлялась от двух вентиляторов: от одного — под первые поля полудек, от второго — под вторые и третьи. Рабочей поверхностью служили рашпильные сита. В отличие от других сепараторов наклон деки незначительный. Дека опиралась на катки. Ассиметричные качания деки осуществлялись механизмом Маркуса. Движение материала по рабочей поверхности происходило без подбрасывания.

В пневматических сепараторах фирмы «Шютерман-Кремер-Баум» каждая полудека двухскатной деки в продольном направлении была разделена на 4 поля и в поперечном каждое поле — на два полуполя с индивидуально регулируемым воздушным режимом. Рабочей поверхностью служила металлическая сетка. Дека опиралась на наклонные опоры и приводилась в движение от эксцентрикового механизма. Позднее этот сепаратор был

разделен на два с односкатными деками, причем их монтаж производился попарно под одним общим кожухом.

В пневматических сепараторах системы «Гумбольдт» воздух под каждое из четырех полей подавался от индивидуального вентилятора с регулируемым числом оборотов. Каждое поле в продольном направлении было разделено на две, а в поперечном — на три зоны с самостоятельной регулировкой воздушного режима.

Дека, покрытая металлической сеткой, опиралась на наклонные опоры. Ее движения осуществлялись с помощью эксцентрикового механизма. Продукты обогащения разгружались с деки в ее торцевой части. Специальная система нарифления в соответствии с рисунком 1 обеспечивала концентрацию легких фракций в двух крайних отсеках и тяжелых — в среднем. В торцевой части имелась породоперемывочная площадка, шарнирно соединенная с декой сепаратора. Снижение потерь угля в отходах достигалось регулировкой продольного угла наклона породоперемывочной площадки. Промпродукт с породоперемывочной площадки выдавался по бокам в специальный желоб.

Из конструкций пневматических сепараторов, появившихся в зарубежной практике в середине прошлого XX века, следует отметить сепараторы системы «Саксон» (Англия, 1947 г.) и «Мак-Нелли-Брюссе» (Канада, 1950 г.). В сепараторе системы «Саксон» предусматривалось выделение с деки двух конечных продуктов: концентрата — в

нижнем конце и хвостов — в верхнем (рисунок 2). Дека сепаратора, покрытая рашпильными ситами, опиралась на наклонные опоры. Движение осуществлялось от эксцентрикового механизма. Воздушный поток, подаваемый под сепаратор, — непрерывный.

В Советском Союзе пневматическое обогащение начало развиваться с 1931 г., когда была пущена первая пневматическая установка при шахте «Горловка-1-3» (Донбасс). В 1932 г. была построена Горловская пневматическая углеобогащительная фабрика с четырьмя сепараторами типа V фирмы «Бертлей», в 1933 г. — «Ново-Узловская» ЦОФ с двенадцатью сепараторами фирмы «Бамаг-Меугин». В 30-х годах в Донбассе и Кузбассе был построен целый ряд углеобогащительных установок с пневматическими отсадочными машинами и сепараторами. Широкое распространение пневматическое обогащение находило в Кузбассе, в Печорском бассейне (Воркутинское месторождение) и на Северном Урале. Частично пневматический метод обогащения использовался в Челябинском, Карагандинском, Подмосковном и Иркутском бассейнах.

Отечественное сепараторостроение начало развиваться в начале 30-х годов. Первыми машинами являлись сепаратор VIII и реконструированный сепаратор Армса. Эти машины, как и все последующие, имели прямоугольные деки, разделенные в продольном направлении на поля с самостоятельной регулировкой воздушного режима.

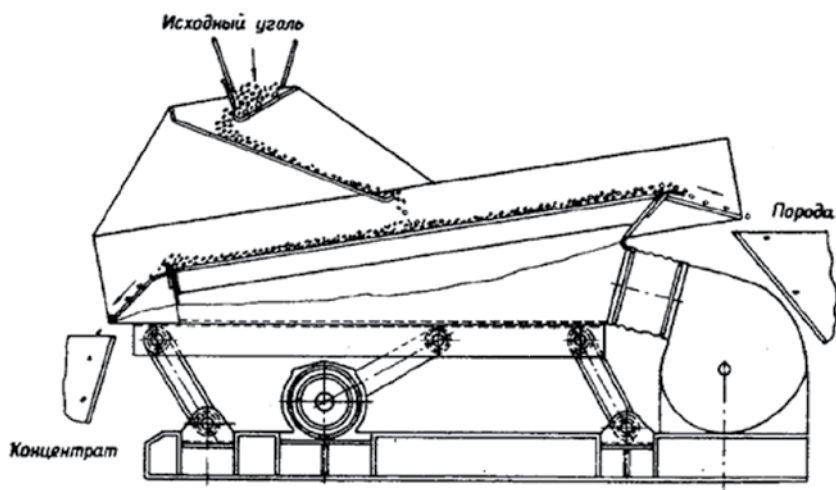


Рисунок 2. Схема пневматического сепаратора системы «Саксон»

ДО НАЧАЛА 70-Х ГОДОВ ПРОШЛОГО ВЕКА В ЗАРУБЕЖНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРАХ ИСПОЛЬЗОВАЛСЯ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ В ОСНОВНОМ НЕПРЕРЫВНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ПОТОК, А В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ, В ОСНОВНОМ — ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ВОЗДУШНЫЕ ПОТОКИ

В качестве рабочей поверхности использовались рашпильные сита. Деки опирались на наклонные опоры и приводились в движение от шатунно-эксцентрикового механизма, что обеспечивало подбрасывание материала на рабочей поверхности. В сепараторах использовалась пульсирующая подача воздуха. Дека сепаратора VIII имела две крышеобразнорасположенные полудеки. Реконструированный сепаратор Армса имел односкатную деку. Позднее был создан сепаратор ДУ-1, дека которого имела две трехпольные полудеки. На сепараторе использовался пульсирующий воздушный поток. Сепаратор ДУ-1 был испытан в 1935 г. на обогатительной установке при шахте «Капитальная-1» (Кузбасс). В 1936 г. был спроектирован сепаратор УШ, использовавший также пульсирующую подачу воздуха. Первая партия этих машин была изготовлена в 1939 г. В модернизированных сепараторах УШ-2 и УШ-3 была улучшена конструкция вариатора и введен ряд конструктивных изменений. На этих машинах применялся непрерывный воздушный поток. Сепараторы УШ получили широкое распространение на обогатительных фабриках как для обогащения крупного угля (крупностью до 50-60 мм), так и угольной мелочи (класса 0-13 мм). В 1958 г. на базе УШ-3 был создан сепаратор СПК-40. Основными отличительными особенностями машины являлось: использование

пульсирующего воздушного потока, наличие породоперемывочных площадок в торцах полудек и возможность регулирования подачи воздуха (путем дросселирования) в каждом межрифельном отсеке полей полудек. В 1961 г. был изготовлен и смонтирован на углеобогатительной установке шахты №1 «Капитальная» комбината «Воркутауголь» однодечный пневматический сепаратор ОСП-100 с односкатной декой и уравновешенным приводом.

На пневматических сепараторах в большинстве случаев обогащался уголь крупностью меньше 50 (60) мм, иногда до 75 мм, хотя в практике известны случаи обогащения угля крупностью до 125 мм (на сепараторах «Пил-Девис»). Шкала классификации обычно изменялась от 2:1 до 4:1. В отдельных случаях имело место обогащение углей в неклассифицированном виде крупностью 0-75 мм и даже 0-125 мм. В Советском Союзе в большинстве случаев на сепараторах обогащался уголь крупностью 13-50 (75) мм с различным содержанием в нем класса меньше 13 мм, в ряде случаев также уголь классов меньше 13 мм.

Развитие сепараторостроения началось с появления машин с одной односкатной декой (сепараторы Сj, Sj, Армса). Позднее с целью увеличения их производительности были созданы

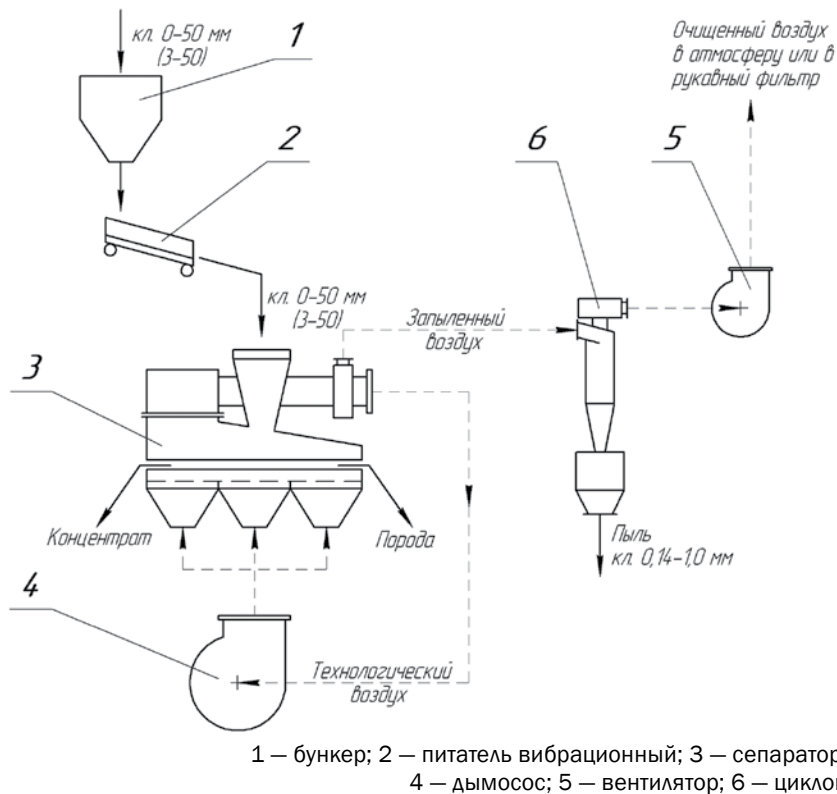
конструкции с двумя симметричными относительно продольной оси полудеками, расположенными как крышеобразно, так и мульдообразно. Однако достижение идентичных оптимальных условий обогащения на обеих связанных между собой плоскостях (полудека, дека) оказалось практически невозможно.

В связи с этим были созданы однодечные сепараторы с односкатными деками (машины фирм «Шюхтерман-Кремер-Баум», «Ведаг» и сепаратор ОСП-100). Рабочие плоскости большинства сепараторов имели наклон в продольном и поперечном направлениях, что обеспечивало разгрузку продуктов с боковой и торцевой сторон.

Резюмируя вышеизложенное: до начала 70-х годов прошлого века в зарубежных пневматических сепараторах использовался при обогащении в основном непрерывный воздушный поток, а в отечественных в основном — пульсирующие воздушные потоки. К этому времени накопленный опыт показал, что пневматические сепараторы должны быть только однодечной конструкции с односкатными деками и в их конструкции должно быть предусмотрено регулирование угла наклона рабочей поверхности деки по ходу движения материала, а также возможность изменения частоты колебаний деки.

Наименование оборудования	Кол-во	Масса, кг	
		Единицы оборуд.	Общая
1. Дымосос типа ДН-17Б (без двигателя)	1	3350	3350
2. Электродвигатель типа АИР 355 S6Y2 (для дымососа ДН-17Б) 160 кВт; 380 В; 1000 об/мин; исп. 1М1001	1	1130	1130
3. Циклон типа ЦН-15-800-1УП	2	800	1600
4. Вентилятор типа В-Ц6-28-8-03 Нуст.=18,5 кВт; n=1467 мин-1; Q=6,7 • 103 м³/ч.; Н=2,78 кПа	2	452	904
5. Питатель вибрационный или качающийся производительностью до 50 т/ч.	1	1200	1200
6. Рукавный или карманный фильтр с площадью фильтрации не менее 90 м² и производительностью (9,0-20,0) • 103 м³/ч.	2		

Таблица 1. Сопутствующее оборудование к пневматическому сепаратору ПВС1,35



1 — бункер; 2 — питатель вибрационный; 3 — сепаратор;
4 — дымосос; 5 — вентилятор; 6 — циклон

Рисунок 3 — Принципиальная схема установки сухого обогащения на базе сепаратора ПВС

К концу 80-х годов прошлого столетия на обогатительных фабриках и установках Минуглепрома бывшего Советского Союза использовались 83 сепаратора, в том числе сепараторы типа СП (СП 106, СП 112), разработанные институтом «Гипромашуглеобогащение», серийное производство которых было освоено на Карагандинском машзаводе №2. Эти поперечно-поточные сепараторы с продольным и поперечным наклонами рабочих поверхностей к горизонту предназначены для обогащения высокозольных бурых и каменных углей крупностью 0-75 мм с выделением концентрата, породы и промпродукта.

Сепараторы типа СП конструктивно весьма сложны из-за: эксцентрикового привода с двумя приводными шатунами, расположенного вне корпуса и представляющего шестеренчатый кривошипно-шатунный механизм, регулирование амплитуды качаний деки которым проблематично; неудобной системы регулирования продольного и поперечного углов наклона деки опорными звеньями с резиновыми блок-шарнирами и винтовыми механизмами; опорной рамы, не позволяющей снизить динамические нагрузки, передаваемые колеблющимся корпусом сепаратора на опорные конструкции. Все вышеперечисленные типы сепараторов недостаточно устойчиво работают при колебании нагрузки и имеют недостаточную эффективность обогащения,

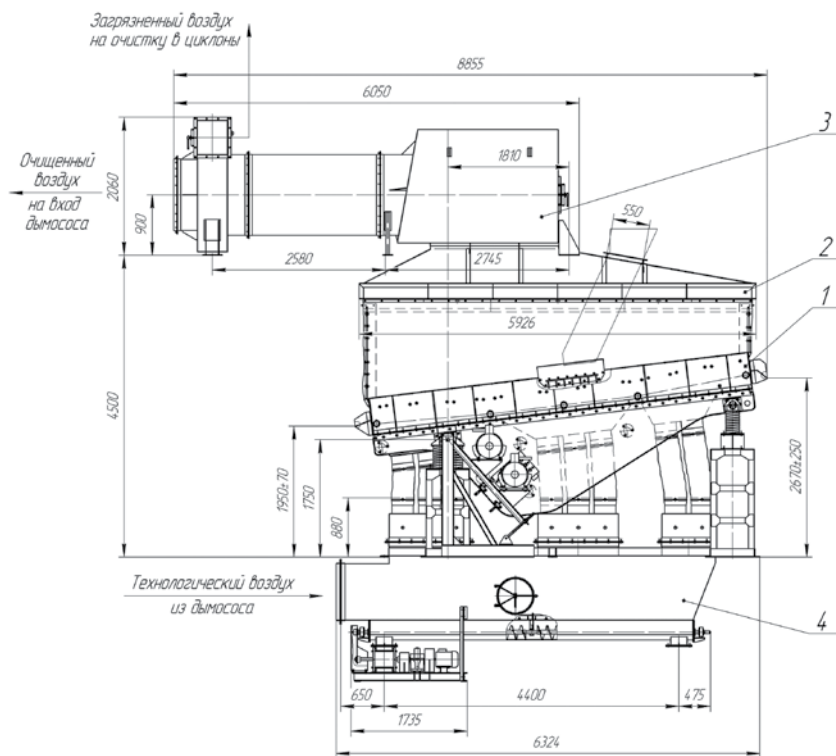
не обеспечивая выделение чистых отходов.

В 1988-1990 гг. комплексным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом обогащения твердых горючих ископаемых (ИОТТ), г. Люберцы, Московской обл., при участии специалистов института «Гипромашуглеобогащение», г. Луганск, на основании лабораторных исследований был создан полупромышленный образец противоточного пневмовибрационного сепаратора ППВС-1, испытания которого на углях Шубаркольского месторождения подтвердили работоспособность и перспективность противоточной схемы обогащения. Кроме того, была подтверждена высокая нагрузочная устойчивость работы противоточного сепаратора, что позволяло получать стабильные показатели при значительных колебаниях нагрузки по исходному материалу. Сущность работы противоточного сепаратора состоит в подаче исходного материала в центральную часть деки сепаратора, установленной только под продольным углом к горизонту. Под действием направленных встряхиваний и восходящего потока воздуха материал на рабочей поверхности разрыхляется и расслаивается по плотности. Наиболее легкие частицы концентрируются в верхних слоях и постепенно скатываются по продольно наклоненной деке вниз в сторону разгрузки концентрата. Тяжелые куски породы оседают в нижних слоях и под

воздействием направленных встряхиваний транспортируются к противоположному верхнему торцу деки, где разгружаются.

В 1998 году в институте «Гипромашуглеобогащение» по инициативе главного конструктора проектов были возобновлены работы по созданию высокоэффективного пневматического сепаратора типа ПВС, работающего по описанной выше схеме разделения легких и тяжелых фракций. В результате был создан сепаратор, являющийся достаточно простым по конструктивному устройству пневмовибрационной машиной, обеспечивающей противоточное перемещение легкой и тяжелой фракций вдоль продольной оси сепаратора с разгрузкой их с противоположных концов деки. Для обеспечения требуемых виброперемещений коробка применен двухвальный самосинхронизирующийся вибровозбудитель, размещенный непосредственно в коробе и сообщающий ему коле-

**СУЩНОСТЬ РАБОТЫ
ПРОТИВОТОЧНОГО
СЕПАРАТОРА СОСТОИТ
В ПОДАЧЕ ИСХОДНОГО
МАТЕРИАЛА
В ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ
ДЕКИ СЕПАРАТОРА,
УСТАНОВЛЕННОЙ
ТОЛЬКО
ПОД ПРОДЛЬНОМ
УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ.
ПОД ДЕЙСТВИЕМ
НАПРАВЛЕННЫХ
ВСТРЯХИВАНИЙ
И ВОСХОДЯЩЕГО
ПОТОКА ВОЗДУХА
МАТЕРИАЛ НА РАБОЧЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ
РАЗРЫХЛЯЕТСЯ
И РАССЛАИВАЕТСЯ
ПО ПЛОТНОСТИ**



1 — короб; 2 — пылезащитный зонт; 3 — спиральный пылеотделитель; 4 — воздухоподвод

Рисунок 4. Сепаратор пневматический СисП1,35×1-МПт (ПВС1,35)

бания, регулируемые по величине, направлению и частоте. Расположение вибровозбудителей в расчетном месте относительно центра масс колеблющейся части и специальная форма рабочей поверхности деки позволяют получить требуемое поле амплитуд виброперемещений вдоль деки, которое в сочетании с регулируемым воздушным полем обеспечивает противоточное перемещение легких и тяжелых фракций и разделение исходного материала по плотности на два конечных продукта. Регулирование и установление продольного угла наклона деки достигается применением надежных в эксплуатации упругих (пружинных) опор за счет разницы высотности их установки. При этом наряду со значительным снижением динамических нагрузок, передаваемых на перекрытие, в отличие от сепараторов типа СП, обеспечивается равномерное распределение нагрузок по опорам.

Сепаратор производительностью по исходному питанию до 50 т/ч имеет площадь разделения 7,25 м², он предназначен для обогащения углей и других сыпучих материалов насыпной плотностью до 2,8 т/м³, крупностью до 50 мм и с поверхностной влажностью до 10%. Габаритные размеры сепаратора не превышают

10000×4000×10000 мм, масса — 12000 кг. Принципиальная схема установки сухого обогащения с использованием нового сепаратора приведена на рисунке 3, необходимое сопутствующее оборудование приведено в таблице 1. Схема в обязательном порядке предусматривает оборудование для непрерывной равномерной загрузки в сепаратор исходного материала (например, бункер и питатель), компрессорную установку для обеспечения циркуляции технологического воздуха (дымосос типа ДН) и систему очистки запыленного воздуха, состоящую, как минимум, из двух циклонов типа ЦН с вентиляторами. Для более глубокой очистки выбрасываемого воздуха эта система может комплектоваться рукавными (карманными) фильтрами.

Первый сепаратор типа ПВС изготовлен и введен в эксплуатацию в составе обогатительной установки в сентябре 2002 года. При переработке сепаратором за один час около 50 т рядовых углей марки Ж крупностью 0-50 мм с поверхностной влажностью около 6% и зольностью 43-50% получены тяжелая (породная) фракция с зольностью 70-86% и легкая (концентрат) — с зольностью 21-34%. Содержание в исходном классе 0-6 мм составляло около 35%. Работа сепаратора в со-

ставе обогатительной установки на участке №1 шахты «Щегловская-Глубокая» (г. Макеевка, Донецкой обл.) на угле марки Ж, а затем на площадке породного отвала №3 шахты им. Космонавтов ГП «Ровенькиантрацит» при обогащении антрацитов подтвердила достаточную надежность созданной конструкции сепаратора, простоту ее технического обслуживания и удовлетворительные технологические показатели разделения исходных материалов на легкую и тяжелую фракции. В сравнении с поперечно-поточными сепараторами типа СП он имеет: более широкие возможности оперативного регулирования режимов работы; простую (без рифлей) рабочую поверхность; надежную виброизоляцию колеблющейся массы; меньшую металлоемкость и трудоемкость изготовления; значительно меньшие затраты на техническое обслуживание и ремонт (они не превышают затрат на техническое обслуживание и ремонт самобалансных грохотов типа ГИСЛ). В настоящий момент изготовлено восемь противоточных сепараторов типа ПВС, которые успешно эксплуатируются в составе обогатительных установок в Донбассе.

С 2009 года группа специалистов-разработчиков сепараторов типа ПВС была приглашена на работу в научно-производственную компанию «ЛЭМЗ — Оборудование горнометаллургического комплекса», где продолжает свои разработки по созданию пневмовибрационных сепараторов. Проведенный анализ более чем восьмилетнего опыта эксплуатации сепараторов с противоточной схемой разделения показал достаточно высокую эффективность их работы при механической надежности конструкции. Так, срок службы рабочих поверхностей превышает 2 года и за все время эксплуатации не было выхода из строя подшипниковых узлов виброприводов.

Конструктивное устройство сепараторов типа ПВС, выпускаемых НПК «ЛЭМЗ-ОГМК», представлено на рисунке 4.

Применение пневмовибрационного способа обогащения по противоточной схеме разделения позволяет получить с минимальными производственными затратами как товарный концентрат для энергетических целей, так и исходный материал для последующего обогащения.