

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов / А. А. Борисов. - М.: Недра, 1980. – 320 с.
2. Баклашов И.В. Механика горных пород / И. В. Баклашов Б.А. Картозия. - М.: Недра, 1975. – 272 с.
3. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород / И. Л. Черняк, С. А. Ярунин. - М.: Недра, 1995. - 395 с.
4. Мэркс И. Горная механика / И. Мэркс, Г. Юнгниц. Углетехиздат, 1957. – 756 с.
5. Земисев В. Н. Расчеты деформаций горного массива / В. Н. Земисев - М.: Недра, 1973. - 144 с.
6. Ануфриев В. Е. Влияние трещиноватости и напряженного состояния горного массива на безопасность и ТЭП работы очистных забоев / В. Е. Ануфриев, С. А. Батугин, А.А. Боев, Л.А. Орлов // Перспективы прогнозирования горногеологических условий разработки угольных пластов Донбасса. - М.: 1975. - С.112-114.
7. Ивачев Л.М. Борьба с поглощениями промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин. / Л. М. Ивачев - М.: Недра, 1982. - 156 с.
8. Иофис М.А.. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А.И. Шмелев - М.: Недра, 1985. - 248 с.
9. Питаленко Е. И. Геомеханические процессы отработки крутых пластов: новые исследования и решения / Е. И. Питаленко, С. Б. Кулибаба, Ю. Н. Гавриленко, М. Г. Тиркель, Ю. А. Пивень – Донецк, 2007. – 382 с.

УДК 622.794.002.2:622.742:621.928.028

Д-р техн. наук Е.Л. Звягильский,  
канд. техн. наук П.Е. Филимонов  
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)  
канд. техн. наук В.Л. Морус  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ СИТ**

Розроблено техніку й технологію зневоднювання мінералів на основі сит динамічно активних стрічкових СДАС. Наведено приклади застосування розроблених техніки і технології.

### **TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF DEHYDRATION OF MINERALS ON BASIS OF SIEVES DYNAMICALLY ACTIVE BAND**

A technique and technology of dehydration of minerals on the basis of sieves dynamically active band is developed. The examples of application developed technique and technologies are resulted.

Во всех технологических схемах мокрого обогащения углей применяются операции обезвоживания, целью которых является удаление основной массы воды, содержащейся в перерабатываемых угольных концентратах и породе, а также отделение суспензий, отмывка утяжелителей, обесшламливание конечных и промежуточных продуктов обогащения и т.д. Такие показатели назначения, в сочетании со строго лимитируемыми уровнями содержания влаги в товарных угольных концентратах и в настоящее время чётко наметившимися тенденциями по сокращению и полной ликвидации крайне энергозатратных сушильных переделов, совершенно обоснованно приравнивают эту операцию к числу основных и важнейших технологических процессов современного углеобогащения. Анализ технологических схем действующих предприятий показывает, что обезвоживание всегда выполняется многостадийно и способом, которым оно преимущественно осуществляется на начальных этапах, является грохочение на стационарном или вибрационном оборудовании. Поэтому, всегда являясь крайне важными, задачи специфического совершенствования техники и

технологии грохочения для повышения эффективности отделения влаги из угольных концентратов мелких и тонких классов, в этих условиях приобретают новую остроту и актуальность.

В ИГТМ НАН Украины в течение уже многих лет совместно с фирмой «Размах» ведутся исследовательские работы по созданию, освоению производства и широкому внедрению технологически высокоэффективных и долговечных просеивающих поверхностей грохотов из износостойких резин, а также новых способов и средств их применения, обеспечивающих существенное повышение технологических показателей - удельной производительности и эффективности грохочения [1]. Одним из направлений таких работ является создание просеивающих поверхностей тонкого грохочения и специального оборудования на их основе, предназначенных для применения в операциях обезвоживания и обесшламливания углей. Исследования, выполненные в этой области, позволили выделить и найти эффективные решения следующих задач:

- создание типоразмерного ряда специальных конструкций сит динамически активных ленточных (СДАЛ) для тонкого грохочения по крупности от 0,2 до 2,0 мм;

- разработка специальных рабочих поверхностей типа СДАЛ для вибрационных грохотов стандартных конструкций, применяемых в операциях обезвоживания;

- разработка высокоэффективных стационарных грохотов с рабочими поверхностями на основе СДАЛ для операций обезвоживания, сбросов основной массы пульпоносителей в узлах загрузки высокопроизводительного технологического оборудования, обесшламливания и др.;

- создание систем крепления и натяжения тонких тканых сеток в рабочих органах вибрационных грохотов, обеспечивающих максимальную технологическую и эксплуатационную эффективность их применения.

Специальные конструкции СДАЛ для обезвоживания - это сита, формируемые из резиновых многоопорных просеивающих элементов с кольцевым несущим органом. Главной задачей, решаемой при создании таких сит, являлась реализация принципа динамической активности рабочей просеивающей поверхности в сочетании с достижением их максимально высокой ресурсной долговечности и не ограничиваемой несущей способности.

Динамически активная просеивающая поверхность в простейшем варианте - это перфорированное листовое полотно из эластомера, способное наряду с дискретными колебаниями, задаваемыми жёстким каркасом короба грохота, совершать относительные упругие распределённые колебания, ортогональные к плоскости рабочей поверхности. При соответствующей частотно-фазовой настройке такой системы возрастают абсолютные вертикальные амплитуды точек просеивающей поверхности по отношению к соответствующим амплитудам короба. Причём, в наибольшей степени указанные эффекты достигаются и реализуются в области минимальных относительных растяжений эластичного просеивающего полотна. Однако, при малых натяжениях резиновых просеивающих полотен традиционных конструкций крайне обостряются проблемы несущей и вибротранспортирующей способности сит, а также, как следствие, - меха-

нической прочности и надёжности их систем крепления. Указанные, казалось бы, несовместимые противоречия, эффективно разрешены оригинальной [2] конструкцией просеивающего элемента с кольцевым несущим органом. Его главной отличительной особенностью является возможность снижения до минимума (от 0 до 5%) относительного натяжения перфорированного полотна, т. е. отсутствие по рабочей поверхности, непосредственно взаимодействующей с грохотимым абразивным материалом, растягивающих напряжений при сохранении высокой, по существу не ограничиваемой несущей способности к технологической нагрузке. Для достижения этой цели несущие рёбра 1 (рис. 1) в начальном нерастянутом состоянии, то есть в состоянии после формования и вулканизации, выполняют в виде кольцевого сектора.

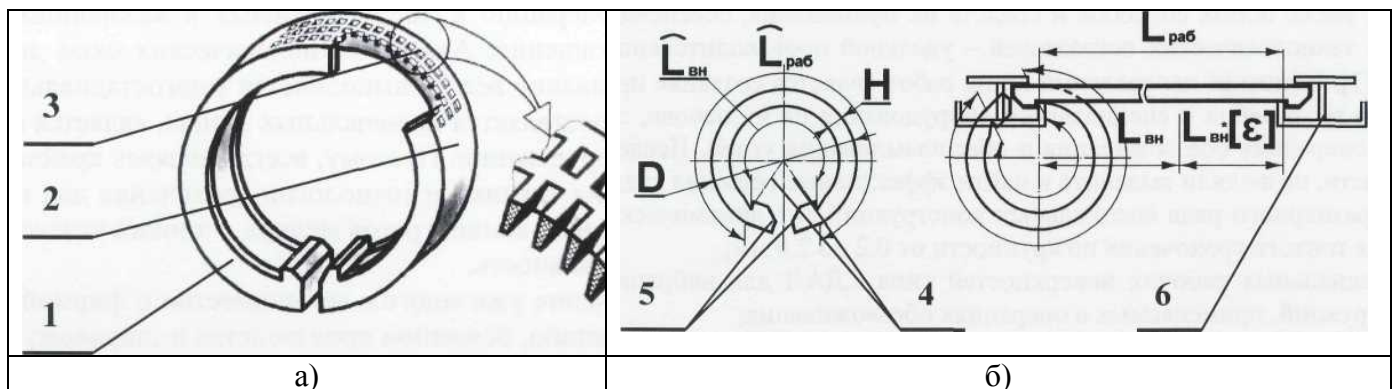


Рис. 1 - Общий вид (а) и принципиальная схема (б) конструкции просеивающего элемента с кольцевым несущим органом.

В просеивающих элементах для сит тонкого грохочения, например, по крупности от 0,2 до 5,0 мм, рёбра 1 по внешним граням кольцевого сектора соединены со значительно более тонким просеивающим полотном 2, перфорированным расширяющимися от рабочей поверхности отверстиями 3. Со стороны ограничивающих кольцевой сектор ребра 1 полупрямых 4 расположены крепёжные утолщения 5. Они служат для установки просеивающих элементов 1 в специальные опоры («лентодержатели») 6 системы крепления СДАЛ при формировании плоских сит, например, вибрационных грохотов традиционных типов.

Условие отсутствия деформаций растяжения по рабочей поверхности 2 для задаваемых по требованиям обеспечения несущей способности величины относительной деформации  $[\epsilon]$  нижних слоев и толщины несущих рёбер  $H$  выполняется при следующих значениях наружного диаметра  $D$  кольцевого сектора.

$$D = \frac{2H \times (1 + [\epsilon])}{[\epsilon]}$$

Выполненный по таким условиям кольцевой просеивающий элемент, устанавливается в опорах системы крепления с распрямлением несущих рёбер 1. Причём, при простом распрямлении рёбер 1 по наружной рабочей поверхности просеивающего полотна 2 возникают сжимающие напряжения, а со стороны

внутренней нерабочей поверхности - растягивающие. В этой ситуации может наблюдаться происходящее вследствие потери устойчивости «прохлопывание» рабочей поверхности 2. Такое «прохлопывание» аналогично деформациям, возникающим у мембран в поле сжимающих по их плоскости напряжений. Растягивая после выравнивания несущие рёбра 1 на величину относительных деформаций  $[\varepsilon]$  (около 10%) и закрепляя в опорах, кольцевые просеивающие элементы СДАЛ при формировании плоских рабочих поверхностей грохотов вводят в состояние, характеризующееся неоднородным полем напряжений по их поперечным сечениям. При этом с верхней стороны рабочей поверхности, взаимодействующей с технологической нагрузкой, растягивающие деформации и напряжения в рёбрах 1 и полотнах 2 задают равными или близкими к нулевому уровню, а с нижней нерабочей стороны, защищенной верхними слоями, - по условиям обеспечения необходимой несущей способности.

Несколько типов созданных на описанных выше принципах просеивающих элементов для грохочения по крупностям 0,5; 0,8; 1,0; и 2,0 мм, а также обезвоживания показаны на рис. 2.



- а) различные типы просеивающих элементов для тонкого грохочения и обезвоживания;
- б) варианты исполнения и крепления упорных утолщений;
- в) рабочая поверхность грохота из просеивающих элементов СДАЛ

Рис. 2 - Просеивающие элементы СДАЛ с кольцевым несущим органом для формирования рабочих поверхностей стационарных и вибрационных грохотов.

Важными, разработанными на основании большого числа исследований и промышленных испытаний деталями, которыми для обеспечения более широкого и специфического применения могут дополняться конструкции просеивающих элементов СДАЛ, также являются:

- промежуточные опорные фиксаторы, располагаемые со стороны нижней нерабочей поверхности просеивающих элементов;
- упорные утолщения для двухвариантного крепления в «лентодержателях» стандартного и уменьшенного профилей;
- лабиринтные стыковочные и перекрывающие бурты со стороны рабочей поверхности;
- протекторы с рифлями технологического назначения, отражателями и сегрегаторами;
- специальные «дефлекторные» профили ячеек.

Промежуточные опорные фиксаторы (рис. 2а) могут выполняться как в виде рёбер, взаимодействующих с деталями системы крепления через отдельные резиновые Н-образные опоры, так и в виде совмещённых с этими рёбрами П-образных захватов. Фиксаторы обеих конструкций обеспечивают надёжное и вместе с тем податливое соединение просеивающих элементов с жесткими металлическими промежуточными опорами системы крепления, а также эффективную защиту последних от взаимодействия с грохотимым материалом и износа. В сочетании с обоснованным для различных типов СДАЛ количеством промежуточных опор, этим достигается необходимая надёжность и плотность стыков между просеивающими элементами, а также не ограничиваемая реальными технологическими условиями и задачами применения грохотов несущая способность.

В зависимости от типоразмеров и особенностей эксплуатации грохотов, упорные утолщения двухвариантного крепления позволяют использовать два типа профилей «лентодержателей» - из швеллера №10 или из угловой стали №25 с в два раза меньшим по ширине и в плане размером (рис. 2б). Благодаря этому появляются дополнительные возможности в применении одного и того же изделия для различных типоразмеров грохотов. Так например, с варьированием конструкций лентодержателей каждый из описываемых и приведенных на рис. 2 просеивающих элементов может применяться для формирования СДАЛ в стандартных вибрационных грохотах всех восьми типоразмеров. Важной особенностью этой разработки является также то, что малогабаритный вариант упорного утолщения благодаря наличию специального козырька осуществляет защиту (футерование) «лентодержателей» от износа крепёжными узлами самих просеивающих элементов.

Узлы стыковки смежных просеивающих элементов с лабиринтными замками и перекрывающими буртами (рис. 3) исключают прохождение крупных частиц под решето, а при их преодолении виброперемещаемым надрешётным материалом способствуют разрушению мелкодисперсных агрегатов и отделению влаги.

Основываясь на длительном опыте исследований и промышленной эксплуатации СДАЛ различных типоразмеров и назначения, дальнейшее развитие и совершенствование конструкций их резиновых просеивающих элементов мы неразрывно связываем с созданием специальных типов протекторов, размещаемых на рабочей поверхности сит (рис.4).

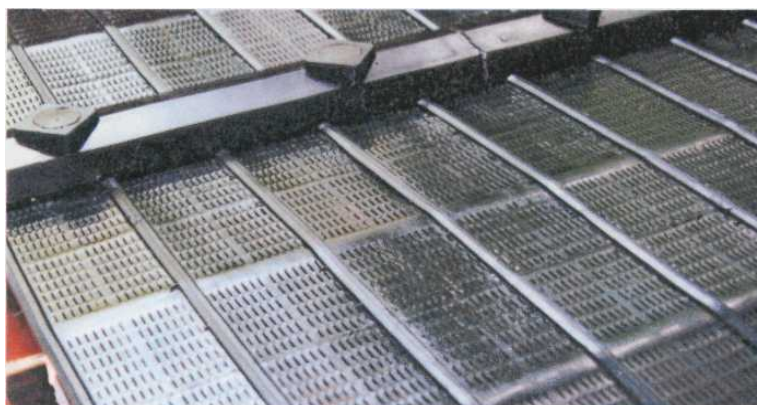


Рис. 3 - СДАЛ с перекрывающимися буртами для обезвоживания и вибрационного грохочения по крупности 1,0 мм.



б) сегрегаторы и отражатели на рабочей поверхности СДАЛ тонкого грохочения  
Рис. 4 - Протекторы на рабочей поверхности СДАЛ: а) игольчатый протектор типа «СДАЛ-ипликатор».

Детали таких протекторов, защищая в первую очередь просеивающие полотна от ударных воздействий и абразивного износа, могут также обеспечивать эффективное разрыхление, изменение направления движения и принудительную сегрегацию частиц в слое перемещаемого по грохоту материала. Многократно проверено, что организация указанных эффектов и их поддержание всегда гарантируют соответствующее существенное повышение эксплуатационных и технологических показателей СДАЛ в условиях любых видов как сухого, так и мокрого грохочения.

Перечисленные разработки реализованы в типоразмерном ряде специализированных конструкций СДАЛ для обезвоживания грохочением по крупностям 0,25; 0,5; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; и 2,0 мм. Все просеивающие элементы этого ряда предусматривают возможность их применения, как в стандартных вибрационных грохотах всех типов, включая высокочастотные, так и в специальных стационарных аппаратах индивидуального проектирования с привязкой к технологическим схемам и строительным сооружениям действующих предприятий.

Опыт промышленного применения СДАЛ в операциях обезвоживания углей на вибрационных грохотах традиционных типов берёт своё начало с августа 1994 г. В этот период СДАЛ со щелевыми ячейками 0,8х6,0 мм были установ-

лены на нижнем ярусе вибрационного грохота ГИСЛ-42, эксплуатируемого при обезвоживании грохочением по крупности 0,5 мм концентратов крупной отсадки технологической линии ЦОФ «Добропольская». Уникальные эксплуатационные показатели этого сита представляют значительный интерес в части демонстрации возможностей СДАЛ в операциях обезвоживания. Для первого внедрения на ЦОФ «Добропольская» просеивающие элементы СДАЛ были изготовлены из специальных износостойких резин конверсионных производств Российских предприятий «Уральский завод РТИ» (г. Екатеринбург) и «Красный треугольник» (г. Санкт-Петербург). На период принятия решения о расширении объёмов внедрения с переоснащением всех грохотов предприятия, сита эксплуатировались пять лет, обеспечивая обезвоживание перерабатываемых продуктов до уровня, не превышающего, а в целом всегда несколько более низкого, чем на шпальтовых ситах. Сита зарекомендовали себя исключительно надёжными в эксплуатации, не требующими каких-либо затрат на обслуживание и ремонт. Показатели грохочения во всём промежутке времени всегда оставались стабильными без «закрупнения» подрешётных фракций. С 1999 г. начались выполняться работы по установке СДАЛ на остальных вибрационных грохотах этого участка фабрики. Для стабилизации показателей обезвоживания при «перегрузках» грохотов по питанию, со стороны разгрузки они начали снабжаться двумя лотками элементов поперечно-лотковых сит (ПЛС) - участками СДАЛ длиной около 800 мм с обратным до 10 - 12° по отношению к направлению перемещения углом наклона (рис. 5) [3].

С этого же периода времени СДАЛ с конструкцией просеивающих элементов, показанных на рис. 3, были установлены и введены в эксплуатацию на двух грохотах ГИСЛ-62 в операциях обезвоживания породы. Их применение также обеспечило результаты обезвоживания со средними показателями влажности стабильно более низкими, чем у шпальтовых сит.



Рис. 5 - Лотки поперечно-лотковых сит (ПЛС), сформированные из СДАЛ тонкого грохочения по классу 0,5 мм на нижних ярусах вибрационных грохотов ГИСЛ-42

На первом ГИСЛ-42 за период с 1994 г. по 2002 г. замена просеивающих элементов СДАЛ по причине износа не проводилась ни одного раза. Исключение составили два просеивающих элемента ( $\sim 0,15 \text{ м}^2$ ), вышедшие из строя по

причине повреждения от сварочных работ. В последующие годы во время ремонтов грохота была произведена замена лишь части просеивающих элементов - не более 10% от первоначально установленных. В настоящее время, в 2007 году, первый образец СДАЛ тонкого грохочения с ячейками 0,8x6,0 мм со сроком службы около 13 лет продолжает эксплуатироваться в действующей технологической линии фабрики при вибрационном обезвоживании концентратов крупной отсадки и более 5 лет - при обезвоживании породы.

Специфические требования к конструкциям резиновых просеивающих поверхностей предъявляются условиями обезвоживания на, так называемых, высокочастотных вибрационных грохотах. С рабочими частотами 1200 - 3000 7мин и амплитудами колебаний 1,0 - 2,0 мм такие грохоты находят постоянное всё возрастающее применение в операциях обезвоживания при обогащении тонких классов угля и угольных шламов. Анализ технологических и эксплуатационных показателей применения высокочастотных грохотов показывает, что преимущественным и фактически единственным, предлагаемым отечественными производителями типом их просеивающих поверхностей являются шпальтовые сита из нержавеющей стали. Срок службы этих сит, например, по результатам двухлетней эксплуатации грохотов ГВЧ-1500 на ЦОФ «Добро-польская» при обезвоживании тонких шламов по крупности 0,25 мм, в среднем не превышает 6 - 7 месяцев. Такой срок службы, в сочетании с непростой и трудоёмкой в заменах системой крепления, а также достаточно высокой стоимостью шпальтовых сит, обостряют проблемы создания и внедрения для этого вида техники альтернативной продукции с более высокими технико-экономическими показателями. Вместе с тем, известные попытки применения в качестве рабочих поверхностей высокочастотных грохотов резиновых сит других производителей, например, таких как ЗАО «АНА-ТЕМС» оказались преимущественно безуспешными. Причины состоят в том, что рабочие поверхности грохотов этого типа в условиях высокопроизводительных технологических схем обогатительных фабрик при малых амплитудах возмущающих колебаний оказываются под высокими слоями технологической нагрузки (до 100 - 150 мм). Резиновые сита с малой толщиной и жёсткостью просеивающих полотен должны в этом случае обеспечивать необходимую высокую несущую способность, т. е. не провисать под воздействием значительной технологической нагрузки и не амортизировать передаваемые со стороны короба грохота, возмущающие колебания, необходимые для устойчивого вибротранспортирования надрешётного материала. Отмеченные попытки явились свидетельством того, что конструктивные параметры известных и выше упомянутых сит не удовлетворяют перечисленным требованиям, обуславливая их фактическую неработоспособность в высокочастотной технике.

На основании специальных исследований амплитудно-частотных характеристик резиновых просеивающих поверхностей тонких сечений в поле высокочастотных колебаний с различной по величине технологической нагрузкой, в ИГТМ НАНУ совместно с ООО фирма «Размах» обоснованы конструктивные параметры многоопорных просеивающих элементов СДАЛ. Эти результаты позволили создать новые конструкции СДАЛ, адаптированные, в том числе, к



применению на высокочастотном транспортно-технологическом оборудовании, а опытом первого промышленного применения таких СДАЛ является замена шпальтовых сит на упомянутом выше грохоте ГВЧ-1500 конструкции института «ГИПРОМАШУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ» в технологической линии ЦОФ «Добропольская» (рис. 6).



Рис. 6 - СДАЛ из многоопорных просеивающих элементов для обезвоживания грохочением по крупности 0,25 мм в высокочастотных грохотах

Примером эффективного применения таких модификаций СДАЛ является их эксплуатация на грохоте ГВЧ 61 с повышенным вибродинамическим режимом при обезвоживании промпродуктов обогащения золотосодержащих руд месторождения «Пионер» Покровского рудника (Амурская обл., Россия) компании «Peter Hambro Mining» (Великобритания). Применение грохота с просеивающими поверхностями типа СДАЛ для обезвоживания грохочением по крупности 0,25 мм решило проблему перемещения конвейерным транспортом глинодержащих песков гидроциклонов и спиральных классификаторов 2КСН-24 от обогатительной фабрики к площадкам с установками кучного выщелачивания золота. Острота проблемы заключалась в том, что промпродукты обогащения, выдаваемые фабрикой в виде песков гидроциклонов и спиральных классификаторов, из-за сметанообразной консистенции, обусловливаемой содержанием влаги 28 - 32 %, не могли перемещаться ленточными конвейерами. Вибрационное воздействие, обеспечиваемое специальными конструкциями грохота и рабочих поверхностей типа СДАЛ, позволило понизить уровень содержания влаги до 13 - 18 % и решить проблему (рис. 7).



Рис. 7 - Обезвоживание грохочением по крупности 0,25 мм глинодержащих песков гидроциклонов и спиральных классификаторов 2КСН-24 на грохоте ГВЧ 6 I с повышенным вибродинамическим режимом и просеивающими поверхностями типа СДАЛ из многоопорных просеивающих элементов

Создание конструкций стационарных аппаратов индивидуального проектирования включает два основных направления:

- разработка оборудования для обесшламливания и «сброса» основной массы пульпоносителей в узлах загрузки отсадочных машин, т. е. перед процессами отсадки;
- разработка средств предварительного обезвоживания концентратов отсадки передпроцессами окончательного обезвоживания методами центрифугирования в фильтрующих центрифугах.

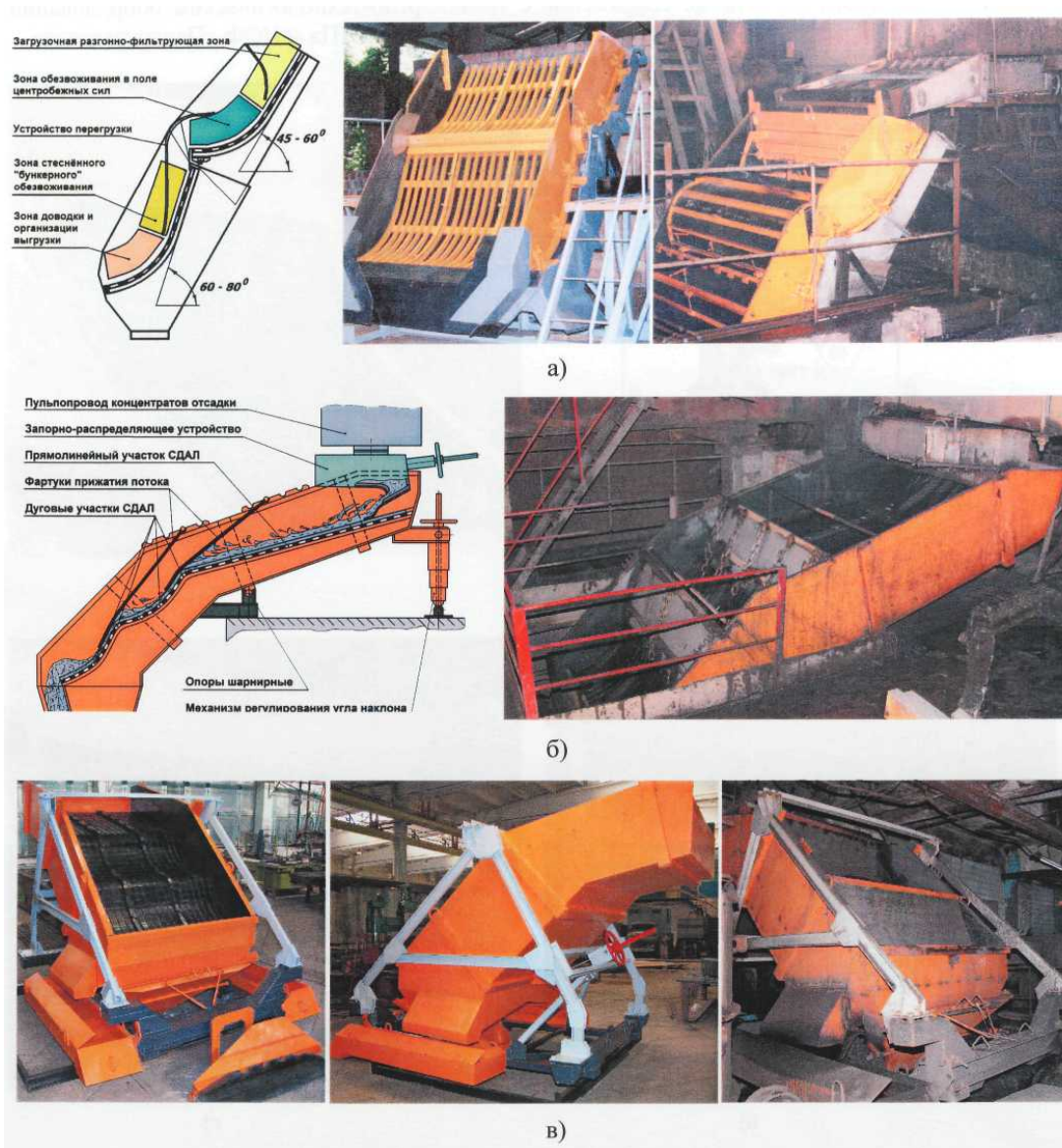
Решение задач обоих направлений базируется на использовании эффектов работы дуговых грохотов, в которых отделение мелких фракций и влаги происходит в поле центробежных сил. Примерами оборудования первого назначения (рис. 8) могут служить грохоты дуговые типа ГДР, конструкции которых предусматривают привязку к узлам загрузки отсадочных машин ОМ-12; ОМ-18 и

ОМ-24, а также сопряжение с транспортно-технологическим оборудованием таких предприятий как ЦОФ «Кондратьевская», «Моспинское УПП» и ЦОФ «Павлоградская»



а) схема конструкции и привязки грохота дугового «ГДР-К» для ЦОФ «Кондратьевская»; б) рабочий орган грохота дугового «ГДР-К» для ЦОФ «Кондратьевская»; в) грохота дугового «ГДР-М» для «Моспинское УПП»; г) грохота дугового «ГДР-П» для ЦОФ «Павлоградская»  
Рис. 8 - Дуговые грохоты на основе СДАЛ для операций обезвоживания и обесшламливания перед отсадкой.

Для обезвоживания и обесшламливания концентратов процессов отсадки, т.е. для операций, выполняемых после отсадочных машин, мы рекомендуем наши многокаскадные системы ПЕРЕКАТ (рис. 9), реализующие эффекты интенсивного стесненно-центробежного обезвоживания. Главной особенностью грохота ПЕРЕКАТ 1 является наличие в его конструкции устройств плавного регулирования наклона верхнего и нижнего сит относительно общей опорной оси (рис. 9а). Для верхнего яруса эта опорная ось располагается в крайней нижней его части, а для нижнего - в крайней верхней. Это позволяет изменением положения верхнего и нижнего сит настраивать работу грохота под конкретные технологические задачи производств.



а) схема, рабочий орган и вид в эксплуатации стационарного двухкаскадного грохота интенсивного стеснённо-центробежного обезвоживания ПЕРЕКАТ 1; б) схема и вид в эксплуатации грохота ПЕРЕКАТ 2 с системой неподвижных, плавно сопряжённых плоских и дуговых сит типа СДАЛ; в) ПЕРЕКАТ 2 в раме подвижной платформы на рельсовом ходу для ЦОФ «Октябрьская»

Рис. 9 - Обезвоживающие многокаскадные грохоты ПЕРЕКАТ с рабочими поверхностями из сопрягаемых дуговых и плоских участков сит типа СДАЛ.

ПЕРЕКАТ 1, установленный в технологической линии ЦОФ «Добропольская» 1 августа 2003 г. взамен конического грохота ГК, снабжён резиновыми просеивающими поверхностями типа СДАЛ для грохочения по крупности 0,5 мм с рабочей площадью 3,9 м. Результаты технологических испытаний, проведенных в течение месяца как сравнительные с работой конического грохота ГК6, рабочая площадь сит которого составляет 6 м, позволили установить, что применением грохота ПЕРЕКАТ 1 достигаются стабильно более высокие технологические показатели обезвоживания и при этом обеспечиваются:

а) снижение содержания влаги в питании центрифуг (надрешётном продукте) с 66,8 до 33,9%;

б) снижение содержания влаги в концентрате (осадке центрифуг) с 12,3 до 9,5%;

в) снижение плотности «фугата» грохота (подрешётного продукта) с 259 до 234 г/л;

г) повышение производительности по надрешётному с 29,0 до 35,5 т/ч, что при расчёте удельных нагрузок соответствует с 4,8 до 9,1 т/ч-м, или в 1,9 раза.

Такие результаты опытно-промышленной эксплуатации первого образца грохота послужили основанием для решения о расширении внедрения грохотов ПЕРЕКАТ в технологической линии ЦОФ «Добропольская».

Вместе с тем, на основании промышленных исследовательских испытаний этого первого грохота, позволивших уточнить его рациональные конструктивные и эксплуатационные параметры, для последующих внедрений разработана усовершенствованная модификация ПЕРЕКАТ 2. Рабочая поверхность грохота ПЕРЕКАТ 2 (рис. 9б) выполнена в виде системы определённым образом плавно сопряжённых участков сит - прямолинейного и четырёх дуговых. Дуговые сита расположены с попеременным чередованием ориентации выпуклых и вогнутых частей и с разными углами наклона. Короб грохота устанавливается на перекрытии посредством шарнирных опор и снабжён механизмом регулирования его наклона. В целом, все перечисленные особенности имеют целью упрощение конструкции, а также обеспечение максимального облегчения работ по обслуживанию и ремонту грохота при аналогичных с пилотным образцом показателями обезвоживания и обесшламливания.

Для участков технологических схем, конструктивные особенности которых предполагают установку обезвоживающих агрегатов с возможностью перемещений для проведения ремонтных работ на оборудовании, располагаемом на более низких отметках в стеснённых условиях непосредственно под этими агрегатами, созданы модификации грохотов ПЕРЕКАТ 2 на подвижных платформах. Примером такой специальной конструкции является грохот ПЕРЕКАТ 2 в раме подвижной платформы на рельсовом ходу для ЦОФ «Октябрьская» (рис. 9в).

В качестве оборудования предварительного обезвоживания созданы дуговые вибрационные модули, позволяющие в зависимости от технологических задач производства формировать необходимые по производительности «батареи» дуговых сит, как с параллельной, так и с последовательной «каскадной» загрузкой. Концепция конструкции такой системы основывается на применении агрегатов небольшой массы с высокочастотными мотор вибраторами относительно небольшой мощности. Вибрационное воздействие на перемещаемый по дуговому сити пульпообразный материал осуществляется в этом случае с частотами колебаний от 1000 до 1500 мин<sup>-1</sup> и амплитудами от 0,25 до 1,0 мм. Такое вибрационное воздействие имеет целью не только повышение технологических показателей грохочения и увеличение производительности по отделению под решето жидкой фазы пульп, но и обеспечение максимально равномерной выгрузки надрешётных фракций. Последнее имеет большое значение практически

для всех узлов перегрузки и загрузки оборудования транспортно-технологических трактов обогатительных предприятий, но особенно важно для узлов загрузки отсадочных машин и обезвоживающих центрифуг. Примером оборудования этого типа является представленные на рис. 10 общие виды системы из сдвоенных дуговых вибрационных грохотов ГДВР-2, эксплуатирующихся предприятием «Экоэнергоресурс» в технологической схеме участка по переработке техногенных месторождений на территории шламохранилищ ЦОФ «Павлоградская».



а) вид грохота со стороны рабочей поверхности; б) вид со стороны привода; в) ГДВР-2 в технологической линии шламоперерабатывающего комплекса ООО «Экоэнергоресурс»  
Рис. 10 - Дуговой вибрационный высокочастотный грохот ГДВР-2 сдвоенный.

**Техническая характеристика:**

Производительность по питанию, т/ч ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) - 20-40 (40-80);

Количество секций грохота, шт. - 2;

Площадь просеивающей поверхности,  $\text{м}^2$  -  $1,9 \times 2 = 3,8$ ;

Радиус кривизны, мм - 1780;

Мощность электродвигателя вибратора, кВт -  $0,3 \times 2$ ;

Частота колебаний,  $\text{мин}^{-1}$  - 1500;

Амплитуда колебаний, мм - 0,25-1,0;

Габариты установки, (длина x ширина x высота), мм - 1620x2430x2140;

Масса грохота, т - 0,62;

Масса установки, т - 1,85.

В качестве рабочих поверхностей могут применяться как шпальтовые сита, так и резиновые сита типа СДАЛ, в том числе специальных конструкций.

Более чем четырёхлетний опыт промышленной эксплуатации стационарных обезвоживающих агрегатов с рабочими поверхностями типа СДАЛ, позволил уточнить и обоснованно разработать для них новые конструкции специальных просеивающих элементов. На рис.10 показано сечение одного из типов таких просеивающих элементов с продольным по отношению к потоку ориентированием щелей и сегрегирующим протектором, одновременно повышающим эксплуатационную надёжность и долговечность сит.

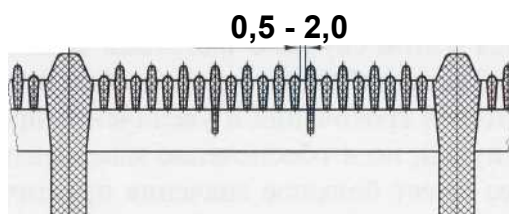


Рис. 11 - Вариант сечения СДАЛ для стационарных обезвоживающих аппаратов.

В ряде случаев, задачи совершенствования технологических схем обогащения угольных пульпообразных шламов требуют применения операций обесшламливания и обезвоживания тонким грохочением в диапазоне разделения по крупностям от 0,2 до 0,1 мм и менее с самыми высокими технологическими показателями грохочения и максимальным отделением жидких фаз. Например, создание новых технологических схем, исключая использование специальных шламовых центрифуг, требует от обезвоживания грохочением получение на выходе уровня содержания влаги в надрешётном продукте - не более 18 - 20 %. Решение таких задач на сегодняшний день практически не осуществимо без вибрационной, в том числе специальной высокочастотной техники, рабочие поверхности которой формируются посредством установки различных типов сеток - металлических проволочных плетёных или тканых, капроновых и др. Такие сетки, в сравнении с резиновыми ситами, всегда обладают значительно большим «живым сечением», что гарантирует достижение более высоких технологических результатов.

Общеизвестно, что одним из факторов, снижающих экономическую эффективность применения тонких сеток в вибрационных грохотах, является несовершенство конструкций их систем крепления и натяжения. Системы крепления на промежуточных резинометаллических опорах без натяжения всегда сопровождаются продольными и поперечными провисаниями сетчатых полотен, что приводит к неравномерно распределённым по площади амплитудам колебаний и неустойчивым режимам виброперемещения перерабатываемого материала, является причиной ускоренного износа в возникающих «застойных» зонах и преждевременных порывов в местах взаимодействия с опорами. Натяжение сеток в таких системах крепления также не обеспечивает максимальную эффективность их эксплуатации. Обусловливается это, главным образом, вытягиванием сетчатых полотен от воздействия технологической нагрузки и вибраций, возникающим даже при применении в натяжных устройствах специальных компенсирующих и подтягивающих пружинных механизмов. Как показывает уже достаточно многолетняя практика, решение перечисленных проблем обеспечивают предлагаемые нами системы натяжения «СДАЛ-ипликатор». Все модификации систем натяжения «СДАЛ-ипликатор» основываются на традиционной конструкции крепления просеивающих элементов СДАЛ (рис. 11).

Их главным отличием является наличие на бортах или «фальшбортах» внутри короба грохота специальных жёстко закреплённых шпилек и выполненных на всю длину грохота упоров. Применяемые в такой системе просеивающие элементы СДАЛ, снабжаются специальными игольчатыми или рифлёными

протекторами, выполняющими функцию многоопорного основания для устанавливаемых с натяжением тонких сеток и фильтротканей. Легко деформируемые игольчатые или рифлёные резиновые протекторы (рис. 12) создают по всей рабочей поверхности грохота амортизирующую подложку с малой площадью контакта «точечной» или «линейной» формы для укладки и последующего натяжения сеток.

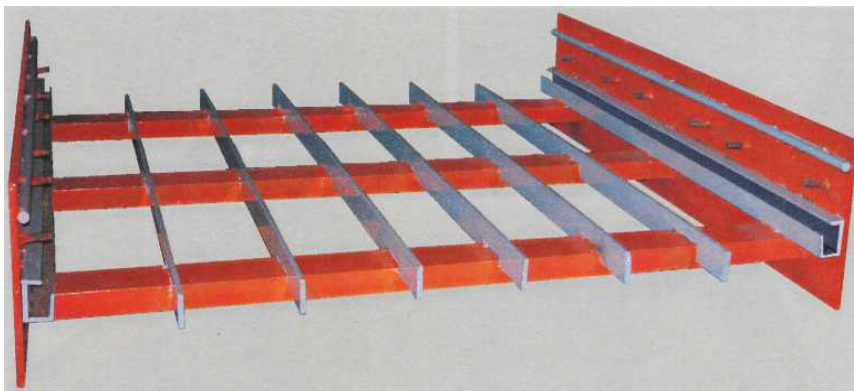
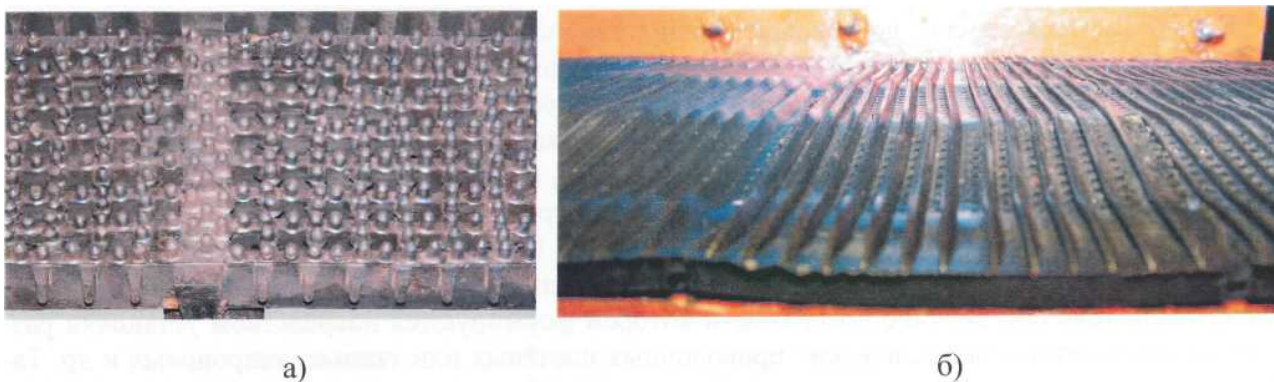


Рис. 12 - Конструкция крепления просеивающих элементов СДАЛ системы натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор».

Перед установкой с натяжением сетки из рулонов раскраиваются на полотна определённой трапецевидности, с размерами, привязанными к ширине коробов грохота, и снабжаются специальными захватными планками. Натягиваемые гайками шпилек через взаимодействующие с упорами резинометаллические футеровки и захватные планки, такие специально подготовленные полотна идеально, без провисаний ложатся и прилегают к протекторам эластичного амортизирующего основания из сит типа СДАЛ с незначительным по выпуклости арочным профилем поперечного сечения (рис. 13).

Причём в такой системе сетки полотен, даже в перегибах от натяжных элементов, оказываются в состоянии контакта и взаимодействия с податливыми резиновыми деталями, что обеспечивает их максимальную сохранность в ходе эксплуатации.



а) игольчатый; б) рифлёный или рессорный.

Рис. 13 - Протекторы многоопорных оснований систем натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор».



Опыт эксплуатации вибрационных грохотов с системами натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор» берёт начало с ноября 2003 г., от даты ввода в эксплуатацию грохота ГИСЛ-42 в узле обезвоживания концентратов мелкой отсадки ЦОФ «Добропольская». В начальном варианте заявка предприятия предусматривала обезвоживание угольного концентрата класса крупности -13,0 мм вибрационным грохочением по крупности 0,5 мм на тканых капроновых сетках с нагрузкой по питанию до 50 - 60 т/ч. Выбор капроновых сеток на этом этапе главным образом обуславливался их невысокой стоимостью. В качестве амортизирующего основания применялись просеивающие элементы СДАЛ с игольчатым протектором. Однако, промышленные испытания показали, что срок службы капроновых полотен в таких условиях крайне незначителен и не превышает 1,5-2 суток. Это послужило основой для поиска альтернативных решений, в качестве одного из которых разработчиками были предложены, изготовленные по собственной инициативе как резервные, полотна из нержавеющей плетёной сетки типа «Нефтянка» производства завода им. Лепсе (Россия). Сетка «Нефтянка» при продольном натяжении обеспечивала поперечное расположение в грохоте прямоугольных ячеек размером 0,7 x 2,2 мм и проволоки её утка и основы имели толщину 0,5 и 0,7 мм. В системе натяжения «СДАЛ-ипликатор» срок службы этого типа сетки оказался несоизмеримо более высоким и составил 2 - 2,5 месяца. Такие результаты послужили основой для введения в постоянную эксплуатацию грохота ГИСЛ-42 с рабочей поверхностью из тканых нержавеющей сеток для тонкого грохочения по крупности 0,5 мм. На базе этих разработок также созданы и внедрены модификации системы натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор» для трёх грохотов ВП-2 участка обогащения тонких шламов ЦОФ «Узловская», двух грохотов ГИСЛ-42 ЦОФ «Павлоградская», грохота ГИЛ-31 ЦОФ «Постниковская» (рис. 14).



Рис. 14 - Система натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор» на амортизирующих основаниях с игольчатым протектором для грохота ГИСЛ-42.

Отдельной и специфической задачей в области проблем эффективного применения сеток тонкого грохочения является их применение в, так называемых, высокочастотных грохотах. Обезвоживание и обесшламливание вибрационным грохочением в поле высокочастотных колебаний от 1200 до 3000 1/мин требуют создания специальных амортизирующих оснований, обеспечивающих достаточную отстройку собственных частот элементов их конструкций от параметров вынуждающих колебаний. Такие модификации амортизирующих оснований не должны создавать интенсивных возмущающих воздействий от резонансных эффектов, способных преждевременно разрушать сетки. На базе специальных лабораторных исследований нами обоснованы и предложены к применению специальные типы просеивающих элементов СДАЛ и методы их крепления для этого вида техники. Их отличает повышенная жёсткость несущих деталей, сочетающаяся с мягкими, легкодеформируемыми рифлями рессорных протекторов. Благодаря таким особенностям появляются новые возможности при решении задач формирования сеющих рабочих поверхностей больших площадей на основе самых тонких сеток с размерами ячеек до 0,05 мм и менее. От опыта реконструкции высокочастотного грохота HEIN LENMANN UG 1,2 4,0/WSED для углеобогатительной фабрики «Моспинское УПП», на котором уже в промышленных условиях опробовались различные типы просеивающих элементов СДАЛ и протекторов амортизирующих оснований, получили развитие специальные модификации систем натяжения «СДАЛ-ипликатор». Такие системы нашли применение при эксплуатации грохотов ГВЧ-30; ГВЧ-41 и ГВЧ-61 конструкции института ГИПРОМАШУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ, а также ГЛКВ-1500 и ГЛКВ-3000 разработки предприятия КП «Коммунэкоресурсы» (рис. 15).



Рис. 15 - Система натяжения тонких сеток «СДАЛ-ипликатор» в вибрационных грохотах ГИСЛ-42; ВП-2 и ГИЛ-31.

В последних исполнениях они, независимо от типоразмера грохота, предусматривают наличие сред них опор, конструкция которых позволяет применять также специально созданные резиновые дотяжители. При необходимости, в ходе эксплуатации, установкой этих дотяжителей под средними прижимными планками могут устраняться «брызжи», появляющиеся вследствие вытягивания сеток.

Более чем пятилетняя практика промышленного применения высокочастотных грохотов с системами натяжения сеток «СДАЛ-ипликатор» (рис. 16) показала их высокую технологическую и эксплуатационную эффективность.

В операциях обезвоживания с выделением тонких классов менее 0,2 мм у грохоты спешно применяются на ЦОФ «Моспинское УПП» (ГВЧ-30 - 1 шт.; ГВЧ-41-1 шт.), ЦОФ «Добропольская» (ГВЧ-30 - 2 шт.), Ясиновский КХЗ (ГВЧ-61 - 2 шт.), ООО «Экоэнергоресурс» (ГВЧ-41 - 2 шт.), вводятся в эксплуатацию - на ЦОФ «Октябрьская» (ГВЧ-41-1 шт.) ГП «Свердловантрацит» (ГВЧ-30 - 2 шт.). Во всех случаях их работу отличают устойчивые параметры виброперемещения по всей поверхности сита, а также возможность настраивать процесс обезвоживания с гарантированно стабильным уровнем влажности надрешётных фракций 22-25 % (рис. 17).



Рис. 16 - Высокочастотные грохоты HEIN LEHMANN UG 1,2 4,0/WSED; ГВЧ-30; ГЛКВ-3000; ГВЧ-61 и ГВЧ-41 с системами натяжения «СДАЛ-ипликатор» и дотяжителями, устанавливаемыми под промежуточными средними опорами.



Рис. 17 - Обезвоживание шламов угольных концентратов грохочением по крупности 0,2 мм на грохоте ГВЧ-30 в технологической линии ЦОФ «Моспинское УПП».

Вместе с тем, значительный опыт промышленных исследовательских испытаний и практика внедрения средств обезвоживания типа СДАЛ на вибрационных грохотах, свидетельствуют о важности и постоянно остающейся актуальности задач повышения удельной производительности этих процессов. Одним из направлений в решении таких проблем являются разработки новых специальных конфигураций СДАЛ, вписываемых в рабочие органы существующих серийных виброгрохотов. «Виброперекат» - рабочая поверхность обезвоживающих виброгрохотов с прямолинейными колебаниями короба, созданная совместно ИГТИ НАНУ и институтом ГИПРОМАШУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ. В первоначальном, представленном на рис. 18 виде, эта разработка предполагает применение резиновых просеивающих элементов СДАЛ с ячейками от 0,3 до 1,0 мм. По мнению авторов, в ней впервые реализован принцип противонаправленного перемещения твёрдой и жидкой фаз пульпообразных смесей по рабочей поверхности. Обеспечивается такой эффект волнообразной в продольном сечении грохота конфигурацией СДАЛ с двумя уровнями кривизны. Накопленный к настоящему времени более чем двухлетний опыт технологических исследований свидетельствует, что в равных технологических условиях система «Виброперекат» обеспечивает повышение удельной производительности процесса не менее чем на 30 - 40%, а при обезвоживании предварительно сгущённых пульп до 40 - 60%. В настоящее время мы продолжаем исследования по обоснованию рациональных режимных и конструктивных параметров разработки, а также поиску эффективных решений в части применения в таких системах накладных плетёных сеток для обезвоживания с грохочением по крупности менее 0,2 мм.



Рис. 18 - Общий вид и схема экспериментальной рабочей поверхности «Виброперекат» высокочастотного грохота ГВЧ-3,0.

Примером разработок этого направления может служить конфигурация «СДАЛ-ипликатор», включающая расположенный в загрузочной части вибрационного грохота дуговой участок сита, плавно сопряжённый с основным прямолинейным (рис. 19). Прямолинейный участок сита целесообразно в этом случае устанавливать с обратным по направлению транспортирования углом наклона, формируя таким образом некую «обезвоживающую ванну» глубиной около 200 мм. При этом загрузочной торцевой стенкой такой ванны служит небольшое дуговое сито. Достижение наибольшей технологической эффективности работы такой системы мы связываем с последующей разработкой специальных загрузочных устройств. Такие загрузочные устройства, являясь составной частью конструкции рабочего органа грохота, должны на самом начальном участке сита обеспечивать подачу равномерно распределённого по ширине, вибрирующего и прижатого к сити материала. В этом случае грохочение и обезвоживание на начальном этапе могут осуществляться в поле центробежных сил, что дополнительно обеспечивает повышение эффективности и удельной производительности процесса.

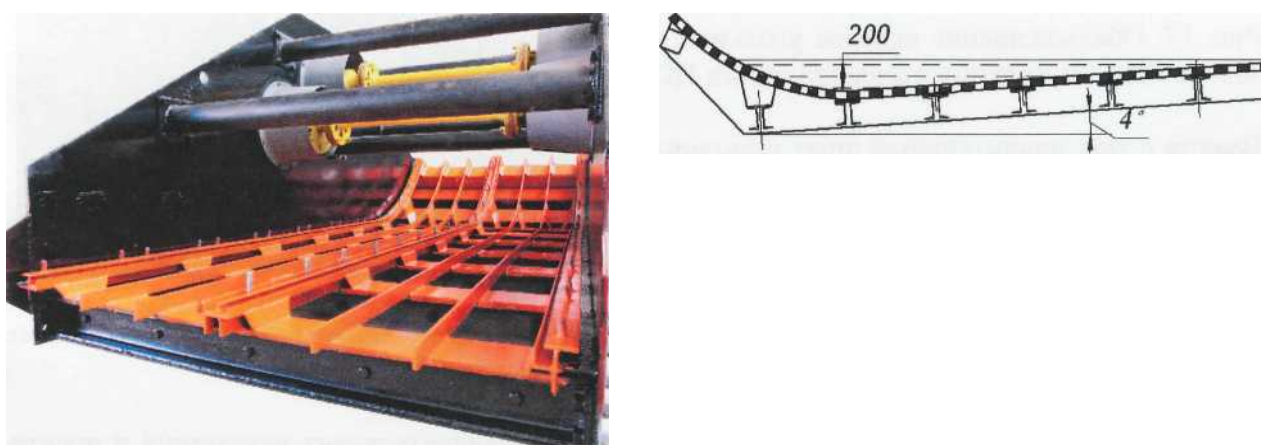


Рис. 19 - Грохот ГВЧ-41 с системой крепления «СДАЛ-ипликатор» в виде расположенного со стороны загрузки дугового участка и сопряжённого с ним основного прямолинейного.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Червоненко А.Г. Износостойкие динамически активные просеивающие поверхности из эластомеров для разделения сыпучих материалов и пульп / Червоненко А.Г., Морус В.Л. // Труды II Международного симпозиума по механике эластомеров, июнь, 1997, г. Днепропетровск. - 1997. - Т 1. - С. 296-309.

2. Эластичное просеивающее устройство для плоских сит. Пат. РФ № 1662710; Оpubл. в Б.И., 1991, № 26.  
3. Способ гидрогрохочения и устройство для его осуществления. Пат. РФ 1839111; Оpubл. в Б.И., 1993, № 48.

**УДК 622.276.6:537.528**

Канд. техн. наук А.П. Смирнов,  
канд. техн. наук В.Г. Жекул,  
канд. техн. наук С.Г. Поклонов  
(ИИПТ НАН Украины)

### **ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СПОСОБА ДЕКОЛЬМАТАЦИИ СКВАЖИН**

Методами математичного і фізичного моделювання проведено дослідження впливу параметрів електророзрядного способу декольмататії на його ефективність. Надані рекомендації щодо вибору параметрів технологічних режимів декольмататії свердловин електророзрядним способом.

### **THE CHOICE OF EFFICIENT MODES FOR THE ELECTRODISCHARGE METHOD OF DECOLMATATION OF WELLS**

Due to methods of mathematical and physical modeling, the effect of electrodischarge decolmatation parameters on its efficiency is explored. Recommendations are stated out to aid the choice of parameters of technological modes of decolmatation of wells by the electrodischarge method.

В процессе эксплуатации скважин их производительность снижается. Основная причина уменьшения дебита - ухудшение проницаемости призабойной зоны (ПЗ) вследствие ее кольматации различного рода отложениями: хрупкими и вязкими. Для решения этой проблемы используются различные методы декольматации. Одним из них является электроразрядный способ декольматации [1], в основе которого лежит электрический разряд в жидкости. Он характеризуется высокой мощностью воздействия, регулируемостью основных электро-технологических параметров, многократностью повторения импульсов, гибким выбором дозировки и избирательностью обработки, безопасностью, относительной дешевизной и экологической чистотой. Все это ставит его в ряд наиболее перспективных и эффективных методов интенсификации добычи скважинных полезных ископаемых и все работы, направленные на его улучшение, имеют важное практическое и научное значение.

Исследованию электроразрядного способа декольматации посвящено довольно большое количество работ как экспериментального, так и теоретического плана. Примером таких работ могут служить [2, 3, 4, 5]. Однако в теоретических работах исследовались гидродинамические процессы в скважине и канале разряда, поведение матрицы пористой, насыщенной жидкостью, среды при импульсном нагружении, но не рассматривалось поведение вязких отложений при электроразрядном воздействии в перфорационных отверстиях. В экспериментальных работах проводилось исследование различных элементов электроразрядного устройства, выполнялось изучение электрического разряда в скважинных жидкостях и процессов фильтрации, однако отсутствовали эксперименты по влиянию режимов воздействия на эффективность обработки и, как в частном