

нения. / В. В. Ростов, П. И. Алексеев, П. В. Выходцев // Известия Томского политехнического института. – Т.321. №2. – Томск, 2012, – с. 48-54

**Bibliography (transliterated):** 1. Polenov B. V. *Dozimetricheskie pribory dlja naselenija*. Moscow : Jenergoatomizdat, 1991. Print. 2. Rjabuhin Ju. S., Shaŕ'nov V. *Uskoremnye puchki i ih primenenie*. Moscow : Atomizdat, 1980. Print. 3. Arne Miller. *Dosimetry. Riso Higt Dose Reference Laboratoru*. Technical University of Denmark. DK-4000 Roskilde. CD. 4. Gvaj A. S., Aver'janova L. A., Shaljopa O. Ju. *Sovremennye metody i sredstva dozimetrii ionizirujushih izluchenij v medicene*. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologii, 3/9 (57), 2012. 40-44 Print. 5. Rostov V. V., Alekseenko P. I., Vyhodcev P. V. *Sil'notochnyj impul'sno-pereodicheskiy uskoritel' jelektronov prjamoĝo dejstvija kak sredstvo sterilizacii medicinskih izdelij odnokratnogo primenenija*. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo instituta. Vol.321. №2. Tomsk, 2012. 48-54. Print.

*Надійшла (received) 05.05.2014*

УДК 621.318

**И. А. ШВЕДЧИКОВА**, д-р. техн. наук, проф. ВНУ им. В. Даля,  
Луганск;  
**Ю. А. РОМАНЧЕНКО**, асп. ВНУ им. В. Даля, Луганск

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ**

Проанализированы функциональные и конструктивные особенности существующих разновидностей полиградиентных магнитных сепараторов. На основе анализа информационных источников установлено, что в магнитных сепараторах данного класса нашли преимущественное применение стержневые, пластинчатые, шарообразные и решетчатые полиградиентные (гетерогенные) среды. Построена классификация магнитных сепараторов, учитывающая структурные свойства полиградиентных сред.

**Ключевые слова:** магнитный сепаратор, полиградиентная среда, магнитное поле, классификация.

**Введение.** Важным этапом различных технологических процессов переработки исходного сырья, промежуточных или конечных продуктов является разделение смесей сыпучих материалов, выделение твердой фракции из жидкой или газообразной среды. В настоящее время для этих целей применяются технические устройства – сепараторы, принцип действия которых основан на использовании физических полей разной природы и некоторых физических свойств материалов: плотности, электропроводности, диэлектрической проницаемости, намагниченности, смачиваемости и адсорбции, отражательной способности и т.д. [1]. На практике широкое применение получил метод маг-

© И. А. Шведчикова, Ю. А. Романченко, 2014

нитной сепарации, основанный на использовании различий в магнитной восприимчивости частиц разделяемых сред. Наиболее сложным при этом является процесс извлечения из немагнитных сред слабомагнитных и мелкодисперсных ферромагнитных включений крупностью порядка 0,05 мм и менее. Для удаления таких включений применяются разнообразные по конструкции полиградиентные магнитные сепараторы. В их рабочих объемах созданы условия для обеспечения максимального значения напряженности  $H$  магнитного поля (до 1600 кА/м и выше) и величины  $gradH$  за счет формирования локальных зон с трехмерной неоднородностью магнитного поля путем введения в рабочее пространство различных ферромагнитных тел, например стальных шариков [1, 2]. И хотя полиградиентные магнитные сепараторы имеют широкое распространение, обобщающие структурно-системные исследования этого класса устройств до сих пор не проводились.

**Анализ последних исследований и литературы.** Анализ информационных источников [1, 2] показал, что основными структурными элементами полиградиентных магнитных сепараторов являются: источник магнитного поля (магнитная или электромагнитная система); рабочий орган, выполненный в виде неподвижной кассеты (матрицы) или вращающегося ротора, заполненный полиградиентной (гетерогенной) средой; вспомогательные подсистемы, обеспечивающие бесперебойную работу магнитного сепаратора (например, подсистема подачи сепарируемого материала в рабочую зону, подсистема обеспечения удаления из рабочей зоны магнитной и немагнитной фракций и т. д.).

Электромагнитные системы полиградиентных сепараторов предназначены для создания первичного магнитного поля, могут быть открытого или закрытого типа. В рабочих зонах электромагнитных систем размещаются матрицы или кассеты с полиградиентной средой из ферромагнитных тел (шаров, цилиндров, стержней, стальной ваты, заостренных пластин и т. д.), за счет которых происходит изменение первичного магнитного поля, повышающее градиент его напряженности, и, как следствие, надежность извлечения слабомагнитных и мелкодисперсных ферромагнитных частиц из материала [1]. Если в электромагнитных системах открытого типа полюса располагаются только с одной стороны рабочей зоны, то рабочие зоны электромагнитных систем закрытого типа ограничены полюсами с обеих сторон.

В научно-технической литературе, например, в [3, 4], приведены классификации магнитных сепараторов, учитывающие целый ряд технологических признаков, в том числе: способ подачи материала в рабочую зону; характер поведения магнитных частиц в магнитном поле; направление движения материала, подлежащего сепарации; способ

удаления продуктов разделения из рабочей зоны; конструкцию устройств для удаления магнитных включений и т.д.

В работе [2] представлена классификация полиградиентных магнитных сепараторов, включающая, в частности, следующие характеристики: расположение полюсов в рабочем органе сепаратора (сепараторы с чередующейся полярностью по окружности барабана и сепараторы с постоянной полярностью); направление движения потока пульпы в ферромагнитных средах (сепараторы с противоточным движением пульпы в полиградиентной среде, у которых ферромагнитная среда движется навстречу потоку пульпы, и сепараторы с проточным движением пульпы, у которых ферромагнитная среда движется в направлении движения потока пульпы).

В работе [5] рассмотрена классификация гетерогенных регулярных структур, которые, в частности, используются в фильтрах-матрицах полиградиентных магнитных сепараторов. Под гетерогенной структурой понимается неоднородная система, состоящая из двух или более однородных частей (фаз). В [5] представлены наиболее распространенные типы упорядоченных с четко выраженной периодичностью гетерогенных структур, которые применяются в различных технических устройствах и материалах. В общем случае правильные гетерогенные структуры могут быть многофазными и многокомпонентными, когда в пределах одной из фаз имеется несколько фракций (компонентов) [6]. Гетерогенные структуры можно классифицировать по геометрическим параметрам (форме и размерам элементов дисперсной фазы); концентрации включений; показателям симметрии (упорядоченные – с четко выраженной периодичностью – и неупорядоченные); по физическим свойствам (изотропные и анизотропные, линейные и нелинейные, электрические, магнитные, диэлектрические, гальваномагнитные и др.); по агрегатному состоянию дисперсионной среды (газовые, жидкие или твердые).

**Цель статьи.** Целью настоящей работы является анализ функциональных особенностей и построение классификации магнитных сепараторов с учетом структурных свойств их полиградиентных (гетерогенных) сред.

**Постановка проблемы.** Процессы, происходящие в рабочем органе сепаратора – полиградиентной среде, в теоретическом и практическом отношении являются наиболее важными. В то же время в известных классификациях магнитных сепараторов структурные свойства полиградиентных сред не учитываются.

**Материалы исследований.** В магнитных сепараторах нашли преимущественное применение стержневые, пластинчатые, шарооб-

разные и решетчатые полиградиентные среды [7]. Соответственно, в зависимости от геометрической формы и размеров ферромагнитных тел, образующих полиградиентные среды, могут быть выделены четыре основных типа магнитносепарирующих устройств.

1. В магнитных сепараторах *со стержневыми полиградиентными средами* ферромагнитные тела, размещенные в фильтр-матрицах, представляют собой стержни различного поперечного сечения (круглые, треугольные, квадратные или прямоугольные).

На рис. 1 представлена конструкция магнитного сепаратора, полиградиентная среда которого образована стержнями круглого сечения [8]. Сепаратор включает магнитную систему *1*, расположенную внутри рабочего органа *2* с полиградиентными элементами *3*. Последние закреплены параллельно друг другу на рабочем органе *2* и выполнены в виде стержней *4* с резьбой, в углублениях которой уложена проволока *5* из магнитомягкого материала, закрепленных на рабочем органе параллельно друг другу.

Исходный материал поступает в зону действия магнитного поля, создаваемого магнитной системой *1*, на полиградиентную среду *3*. Немagnetные частицы вместе с основным количеством воды уходят в соответствующий приемник, а магнитные и слабомагнитные частицы закрепляются на витках проволоки *5*, распределяясь равномерно по всей поверхности полиградиентной среды *3*, выносятся рабочим органом *2* из рабочей зоны и смываются водой в приемник магнитной фракции. Резьба стержня обеспечивает постоянный зазор между витками проволоки по всей длине элемента полиградиентной среды.

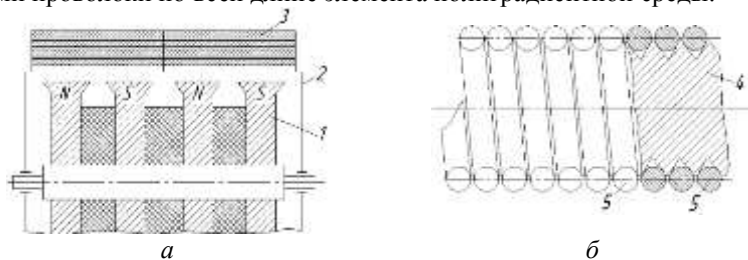


Рис. 1 - Полиградиентный магнитный сепаратор [8]:

*а* – продольный разрез сепаратора; *б* – элементы полиградиентной среды

Полиградиентный магнитный сепаратор, изображенный на рис. 2, содержит матрицу, заполненную ферромагнитными телами треугольного сечения [9]. Устройство включает магнитную систему *1* с полюсами *2*, ротор *3*, установленный с возможностью вращения, рабочую

камеру с ферромагнитными матрицами 4, установленными вертикально вдоль направления движения пульпы и перпендикулярно поверхности полюсов с образованием вертикальных каналов 5 для прохождения пульпы, загрузочный 6 и разгрузочные 7 патрубки. Каждая матрица 4 выполнена двухрядной из ферромагнитных тел 8 треугольного сечения, расположенных параллельно друг другу в плоскости матрицы, а ферромагнитные тела обращены одной из своих поверхностей в сторону канала 5 для прохождения пульпы. Пространство между ферромагнитными телами 8 заполнено немагнитным материалом.

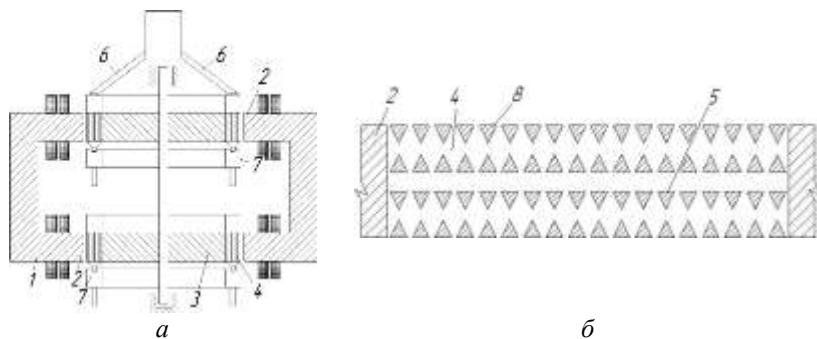


Рис. 2 – Полиградиентный магнитный сепаратор [9]:  
 а – общий вид магнитного сепаратора; б – конструкция матрицы

Магнитный сепаратор работает следующим образом. Исходный продукт в виде пульпы через загрузочный патрубок 6 поступает в часть рабочей камеры, размещенной в межполюсном зазоре магнитной системы. Проходя через каналы 5, под воздействием магнитного поля магнитные частицы, находящиеся в пульпе притягиваются к рабочей поверхности матриц 4, концентрируясь у острых углов ферромагнитных тел, в зоне наибольшего значения градиента напряженности магнитного поля. Под воздействием промывной воды от притянувшихся магнитных частиц отмываются налипшие на них немагнитные частицы, которые вместе с водой разгружаются в приемники для немагнитного продукта через патрубки 7. При выходе матриц 4 из зоны действия магнитного поля в каналы 5 подают смывную воду, которая смывает с рабочей поверхности матриц магнитные частицы в приемник для концентрата через патрубки 7.

2. В магнитных сепараторах с пластинчатыми полиградиентными средами ферромагнитные тела, размещенные в фильтр-матрицах,

представляют собой гладкие или зигзагообразные пластины. Поверхности пластин также могут быть выполнены в виде чередующихся выступов и желобков.

На рис. 3 показан магнитный сепаратор с пластинчатой полиградиентной средой [10]. Сепаратор включает магнитную систему 1 с полюсами, в межполюсном зазоре которой расположен рабочий орган в виде кассеты 2, заполненной пакетами 3, составленными из чередующихся магнитных 4 и немагнитных 5 полос. Полосы своими длинными сторонами ориентированы в направлении от питателя 6 к приемнику 7 немагнитного продукта, т.е. размещены вертикально. Между поверхностями смежных пакетов имеется зазор, образующий канал 8 для прохода пульпы.

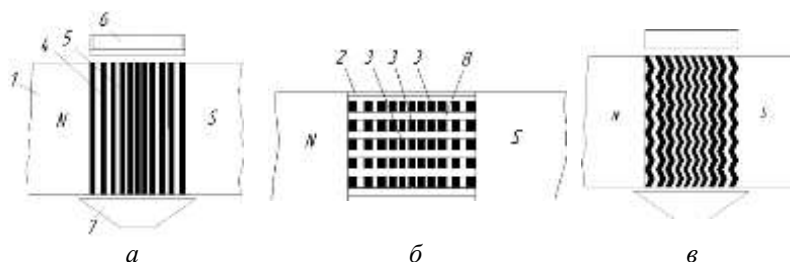


Рис. 3 – Магнитный сепаратор [10]:

*a* – схема сепаратора; *б* – размещение наполнителя с кассетами, в которых полосы обращены в сторону полюсов своими плоскостями; *в* – схема сепаратора с зигзагообразными полосами

Сепаратор работает следующим образом. Пульпа обогащаемого материала из питателя 6 подается на стенки пакетов 3 и, удерживаясь на них под действием сил поверхностного натяжения, движется тонким слоем. При этом середина канала 8 остается пустой, что позволяет иметь любую необходимую для предотвращения забивания ширину канала.

Под действием магнитных сил слабомагнитные зерна притягиваются к поверхности пакетов 3 на краях магнитных полос 4, а немагнитные зерна попадают в приемник 7 немагнитного продукта. После выключения магнитной системы или вывода кассеты 2, собранной из пакетов 3, из зоны между полюсами магнитный продукт смывается с пакетов 3 в соответствующий приемник. Благодаря уменьшению толщины немагнитных полос 5 в пакетах 3 в направлении от полюсов к центру межполюсного зазора условия извлечения магнитных частиц из

потока пульпы становятся одинаковыми по всей площади пакета, и тем самым исключается возможность проскока магнитных частиц в центре межполюсного зазора, что, в свою очередь, приводит к повышению извлечения магнитной фракции. Благодаря зигзагообразной форме полос 4 и 5 практически все частицы попадают в зону действия магнитных сил. Кроме того, зигзагообразная форма полос обеспечивает создание дополнительного градиента магнитного поля, причем чем меньше угол поворота зигзагов, тем выше градиент, а следовательно, и извлекающие магнитные силы.

Полиградиентная среда магнитного сепаратора, представленного на рис. 4, образована пластинами, поверхность которых выполнена в виде чередующихся выступов и желобков [11].

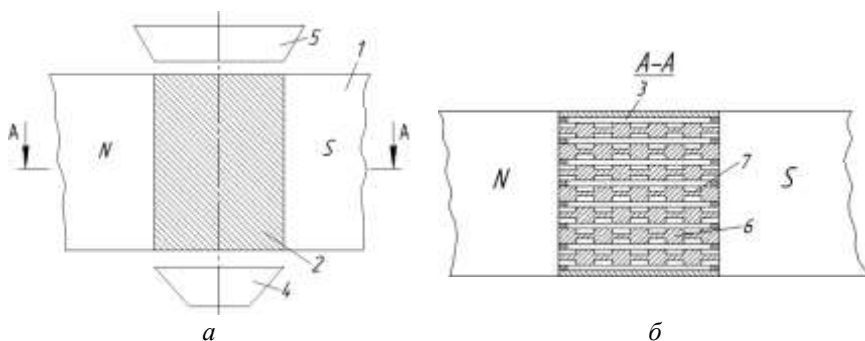


Рис. 4 – Магнитный сепаратор для сепарации слабомагнитных материалов [11]:  
а – схема сепаратора; б – разрез А-А

Магнитный сепаратор (рис. 4) работает следующим образом. Включается магнитная система 1 и намагничиваются пластины 2. При этом высокоградиентное магнитное поле образуется как на острых краях выступов 6, так и на конусообразных выступах, образованных зернами железного порошка на поверхности выступов 6 и желобков 7. Пульпа обогащаемого материала подается на намагниченные пластины 2, движется по ним и частично в канале 3, образованном смежными пластинами 2. Часть пульпы, проходящая по пластинам, движется преимущественно по желобкам 7 наклонно вниз, а также перетекает из желобков 7 через края выступов 6. При движении пульпы по желобку магнитные частицы под действием магнитных сил притягиваются не только к краям выступов 6, но и (большей частью) к центрам микроградиентов, образованным зернами магнитомягкого железного порош-

ка. В результате извлечения слабомагнитных частиц из потока и осаждение их на пластину происходят практически по всей ее поверхности (как на выступах 6, так и на желобках 7), что повышает осадительную способность ферромагнитного наполнителя.

В результате размещения пластин 2 вдоль силовых линий магнитного поля значительно снижается вероятность механического забивания зазоров 3 сильномагнитными и инородными телами, и вся полезная площадь пластины выполняет свою непосредственную функцию - извлечение слабомагнитных материалов, причем градиент напряженности магнитного поля вдоль поверхности пластины обеспечивает эффективный силовой режим разделения.

Расположение выступов 6 и желобков 7 с обеих сторон одной и той же пластины с противоположным углом наклона позволяет получить во всех зазорах 3 потоки пульпы, движущиеся в одном и том же направлении, что обеспечивает создание одинаковых условий извлечения во всех зазорах 3, а также равномерный износ пластин. Кроме того, перекрещивание выступов и желобков с обеих сторон одной и той же пластины увеличивает ее жесткость и снижает опасность механической поломки.

3. В магнитных сепараторах с шарообразными полиградиентными средами ферромагнитные тела, размещенные в фильтр-матрицах, представляют собой шары одинакового или разного диаметра. Пример конструкции магнитного сепаратора с шарообразной полиградиентной средой приведен на рис. 5 [12].

Сепаратор содержит корпус 1 из немагнитного материала, например цилиндрической формы, стенки которого выполнены гофрированными, с входным 2 и выходным 3 отверстиями, перфорированный поддон 4, на котором внутри корпуса 1 расположены ферромагнитные шары 5. С наружной стороны корпуса 1 расположена магнитная система с полюсами 6, магнитопроводом 7 и полюсными наконечниками 8. Радиус закругления впадин гофр больше радиуса ферромагнитных шаров 5, а поверхность полюсных наконечников 8, обращенная к корпусу 1, выполнена эквидистантной поверхности наружных стенок корпуса 1. Кроме этого, полюсные наконечники 8 могут быть выполнены в виде немагнитных емкостей 9, заполненных ферромагнитными частицами 10. Одна из стенок емкости 9, без зазора прилегающая к наружной стенке корпуса 1, выполнена из эластичного материала, а магнитопровод замыкает оба полюса 6. Немагнитная емкость 9 может прилегать к корпусу 1 открытой стороной, снижая магнитное сопротивление контакта наконечника и емкости.



Поток очищаемой среды подается во входное отверстие 2 корпуса 1 и омывает ферромагнитные шары 5. Металлические включения, содержащиеся в очищаемой среде, притягиваются к ферромагнитным шарам 5. В средней части корпуса 1 очищаемая среда движется между шарами зигзагообразно, омывая шары 5 со всех сторон, что способствует увеличению пути, проходимого очищаемой средой, и тем самым увеличению эффективности сепарации. Так же зигзагообразно движется очищаемая среда и вдоль стенок корпуса 1, так как располагающиеся во впадинах гофр шары 5 препятствуют прямолинейному движению очищаемой среды.

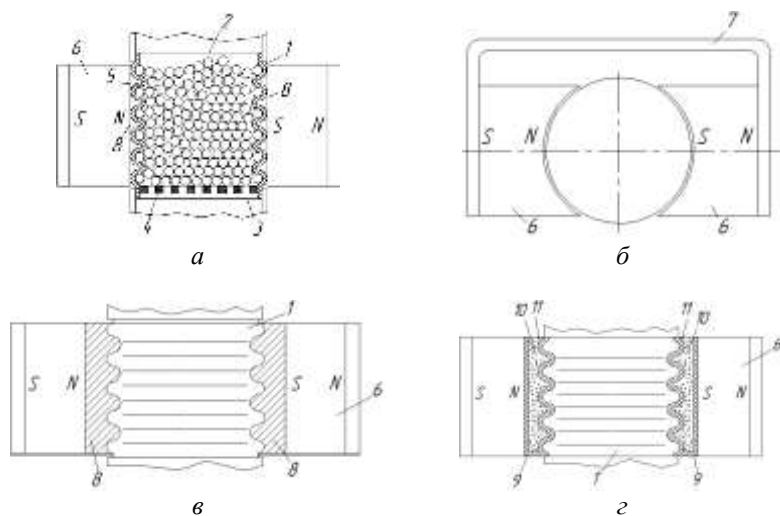


Рис. 5 – Магнитный сепаратор [12]:

*а* – поперечный разрез сепаратора; *б* – вид сверху сепаратора; *в, з* – примеры выполнения магнитного сепаратора

4. В магнитных сепараторах с *решетчатыми полиградиентными средами* применяются прямоугольные и сотовые решетки.

На рис. 6 приведена конструкция сепаратора с полиградиентной средой в виде прямоугольной решетки [13]. Полиградиентный сепаратор имеет электромагнитную систему 2, питатель 3, брызгала 4, приемники продуктов разделения 5 и рабочий орган 1 с расположенной в нем полиградиентной средой, выполненной в виде размещенных одна над другой решеток 6, образующих квадратные ячейки. Решетки уста-

новлены со смещением одна относительно другой с расположением вершины ячейки выше лежащей решетки над центром ячейки ниже лежащей решетки, а в вершинах ячеек установлены жестко закрепленные на них шары 7.

Устройство работает следующим образом. Исходный материал поступает в рабочий орган в зоне действия магнитного поля. Магнитные частицы притягиваются к шарам и выносятся при вращении рабочего органа из зоны действия магнитного поля, а немагнитные частицы под действием силы тяжести проходят через решетки в приемники для немагнитной фракции. Из брызгал на решетки при выходе их из зоны действия магнитного поля подается вода, которая смывает с шаров магнитные частицы. Благодаря постоянным зазорам между шарами происходит отмывка шаров, что повышает эффективность процесса сепарации.

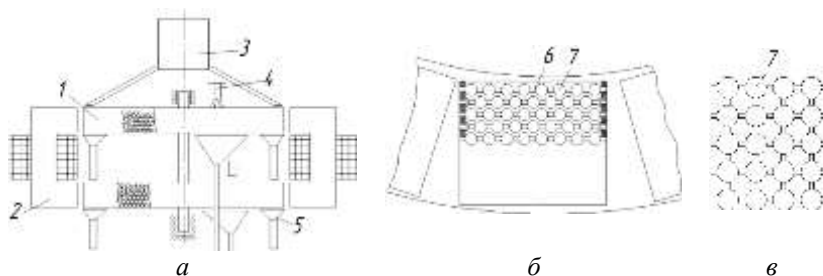


Рис. 6. Полиградиентный электромагнитный сепаратор [13]:  
*а* – общий вид; *б* – установка решеток в рабочем органе; *в* – вид решетки

Для очистки технологических газов в черной и цветной металлургии, машиностроительной и химической промышленности нашли применение магнитные фильтр-сепараторы с полиградиентной средой в виде сотовой решетки (рис. 7) [14]. Такой фильтр содержит входной патрубок 1, корпус 2, сотообразную решетку 3 из немагнитного материала (например, фторопласта или алюминия), сферические тела 4 (шарики из ферромагнитного материала), распределительную и крепежную решетку 5, систему брызгал (форсунок) 6 для смыва и регенерации фильтра, шламоотводной элемент 7, каплеотбойник 8, магнитную систему 9 (соленоид) и выходной патрубков 10.

Магнитный фильтр-сепаратор работает следующим образом. Запыленный газ подводится по входному патрубку 1 в корпус 2, равномерно распределяясь по каналам сотообразной решетки 3 и приводя во взвешенное состояние шарики 4, чему способствует пондеромоторная

магнитная сила введенной в действие магнитной системы 9. Ферромагнитные шарики 4 приобретают возвратно-поступательное движение, двигаясь вдоль силовых линий магнитного поля; при этом с максимальной эффективностью реализуется инерционно-ударный «эффект мишени» и кулоновское взаимодействие масс (ферромагнитная пылинка в полюс магнита).

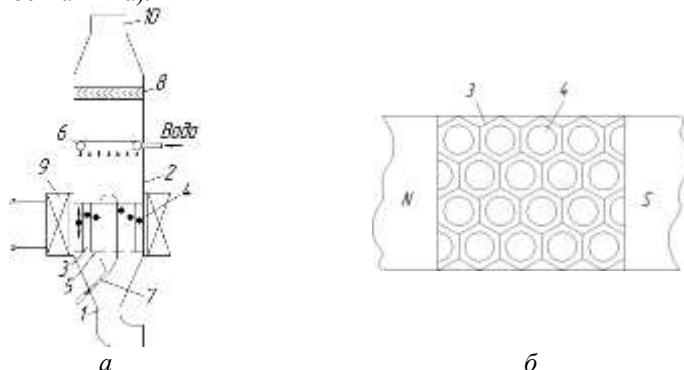


Рис. 7 – Магнитный фильтр [14]  
а – общий вид; б – вид решетки

Водой из брызгал (форсунок) 6 осажденные пылинки смываются и в виде шлама выводятся из аппарата через шламоотводный элемент 7. Механический вынос влаги устраниется каплеотбойником 8. Очищенный газ выбрасывается в атмосферу или направляется в последующую ступень очистки через выходной патрубок 10.

**Результаты исследований.** Анализ патентно-информационных источников показал, что полиградиентные магнитные сепараторы нашли широкое применение на практике для извлечения из немагнитных сред слабомагнитных или мелкодисперсных ферромагнитных включений крупностью порядка 0,05 мм и менее. В результате проведенных исследований установлено, что в рабочих органах магнитных сепараторов (фильтр-матрицах, кассетах) нашли преимущественное применение стержневые, пластинчатые, шарообразные и решетчатые полиградиентные (гетерогенные) среды. Это позволило построить классификацию магнитных сепараторов с учетом структурных свойств таких сред.

**Выводы.** Таким образом, в работе выполнен анализ функциональных особенностей и построена классификация магнитных сепараторов с учетом структурных свойств их полиградиентных (гетероген-

ных) сред. Полученные результаты могут быть использованы для проведения дальнейших структурно-системных исследований магнитных сепараторов данного класса.

**Список литературы:** 1. Загирняк М. В. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования : моногр. / М.В. Загирняк, Ю.А. Бранспиз, И.А. Шведчикова ; под ред. М.В. Загирняка. – К. : Техніка, 2011. – 224 с. 2. Полиградиентные магнитные сепараторы : моногр. / под ред. Н.Ф. Мясникова. – М. : Недра, 1973. – 160 с. 3. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения / В.С. Деркач. – М. : Недра, 1966. – С. 338. 4. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – М. : Недра, 1988. – 304с. 5. Толмачев С.Т. Классификация гетерогенных структур и условие их дwoякопериодичности / С.Т. Толмачев, С.Л. Бондаревский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5 / 5 (65). – С. 24-28. 6. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред [Текст] / Г.М. Островский. – СПб. : Наука, 2000. – 359 с. 7. Шведчикова И.А. Анализ структурного разнообразия полиградиентных магнитных сепараторов / И.А. Шведчикова, Ю.А. Романченко // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : XII міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів, 10-11 квітня 2014 р. : тези доповідей. – Кременчук, 2014. – С. 245-246. 8. А.с. 1373443 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 02. Полиградиентный магнитный сепаратор / В.В. Кармазин, И.М. Рожков (СССР). – № 4107820/22-03 ; заявл. 16.05.1986 ; опубл. 15.02.1988, Бюл. № 6. 9. А.с. 1502109 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 30. Магнитный сепаратор / Б.А. Кравец, Л.А. Ломовцев, Н.А. Стрелкин (СССР). – № 4129502 / 23-03 ; заявл. 03.10.1986 ; опубл. 23.08.1989, Бюл. № 31. 10. А.с. 1338895 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 30. Магнитный сепаратор / В.В. Кармазин, И.М. Рожков (СССР). – № 4056550 / 22-03 ; заявл. 14.04.1986 ; опубл. 23.09.1987, Бюл. № 35. 11. А.с. 1351678 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 30. Магнитный сепаратор для обогащения слабомагнитных руд / В.В. Кармазин, И.М. Рожков (СССР). – № 4079662 / 22-03 ; заявл. 23.06.1986 ; опубл. 15.11.1987, Бюл. № 41. 12. А.с. 1532080 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 08. Магнитный сепаратор / Е.Г. Васильев, Н.А. Жуков, А.А. Искандеров и др. (СССР). – № 4393268 / 22-03 ; заявл. 16.03.1988 ; опубл. 30.12.1989, Бюл. № 48. 13. А.с. 580905 СССР, МКІ<sup>3</sup> В 03 С 1 / 08. Полиградиентный электромагнитный сепаратор / Б.А. Кравец (СССР). – № 1918961 / 22-03 ; заявл. 11.05.1973 ; опубл. 25.11.1977, Бюл. № 43. 14. А.с. 345970 СССР, М<sup>1</sup>. Кл. В 03 С 1 / 30. Магнитный фильтр / Ю.А. Измодёнов, Л.С. Лагунова, Н.Я. Топычканов (СССР). – № 1452150 / 23-26 ; заявл. 15.06.1970 ; опубл. 28.07.1972, Бюл. № 23.

**Bibliography (transliterated):** 1. Zagirnjak M. V., Ju. A. Branspiz and I. A. Shvedchikova. *Magnitnye separatory. Problemy proektirovaniya: monogr.* Ed. M. V. Zagirnjak. Kiev: Tehnika, 2011. Print. 2. N. F. Mjasnikov, ed. *Poligradiyentnye magnitnye separatory: monogr.* Moscow: Nedra, 1973. Print. 3. Derkach V. G. and V. S. Derkach. *Special'nye metody obogashheniya.* Moscow: Nedra, 1966. Print. 4. Karmazin V. V. and V. I. Karmazin. *Magnitnye i jelektriicheskie metody obogashheniya.* Moscow: Nedra, 1988. Print. 5. Tolmachev S. T. and S. L. Bondarevskij. "Klassifikacija geterogennyh struktur i uslovie ih dvojakoperiodichnosti." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij.* No. 5. 2013. 24–28. Print. 6. Ostrovskij G. M. *Prikladnaja mehanika neodnorodnyh sred.* St. Petersburg: Nauka, 2000. Print. 7. Shvedchikova I. A. and Ju. A. Romanchenko "Analiz strukturnogo raznoobrazija poligradiyentnyh magnitnyh separatorov." *Elektromehanični ta energetični sistemi, metody modeljuvannja ta optyimizacii': XII mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija molodyh uchenyh i special'istiv, 10-11 kvitnja 2014 r.: tezy dopovidej.* Kremenčug: KrNU, 2014. 245–246. Print. 8. A.s. 1373443 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 02. Karmazin V. V. and I. M. Rozhkov. *Poligradiyentnyj magnitnyj separator.* No 4107820/22-03 ; zjavl. 16.05.1986 ; opubl. 15.02.1988, Bjul. No 6. Print. 9. A.s. 1502109 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 30. Kravec B. A., L. A. Lomovcev and N. A.

Strelkin. *Magnitnyj separator*. No 4129502 / 23-03 ; zajavl. 03.10.1986 ; opubl. 23.08.1989, Bjul. No 31. Print. **10**. A.s. 1338895 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 30. Karmazin V. V. and I. M. Rozhkov. *Magnitnyj separator*. No 4056550 / 22-03 ; zajavl. 14.04.1986 ; opubl. 23.09.1987, Bjul. No 35. Print. **11**. A.s. 1351678 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 30. Karmazin V. V. and I. M. Rozhkov. *Magnitnyj separator dlja obogashhenija slabomagnitnyh rud*. No 4079662 / 22-03 ; zajavl. 23.06.1986 ; opubl. 15.11.1987, Bjul. No 41. Print. **12**. A.s. 1532080 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 08. Vasil'ev E. G. et al. *Magnitnyj separator*. No 4393268 / 22-03 ; zajavl. 16.03.1988 ; opubl. 30.12.1989, Bjul. No 48. Print. **13**. A.s. 580905 SSSR, MKI3 V 03 S 1 / 08. Kravec B. A. *Poligradientnyj jelektromagnitnyj separator*. No 1918961 / 22-03 ; zajavl. 11.05.1973 ; opubl. 25.11.1977, Bjul. No 43. Print. **14**. A.s. 345970 SSSR, M1. Kl. V 03 S 1 / 30. Izmodjonov Ju. A., L. S. Lagunova and N. Ja. Topychkanov. *Magnitnyj fil'tr*. No 1452150 / 23-26 ; zajavl. 15.06.1970 ; opubl. 28.07.1972, Bjul. No 23. Print.

Поступила (received) 05.04.2014

УДК 616 – 073.65

**Н. А. ЛЮБИМОВА**, канд. техн. наук, доцент ХНАУ  
им. В. В. Докучаева, Харьков

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ МНОГОМЕРНОМ КОНТРОЛЕ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕ- НИЯ**

Представлены результаты сравнительного анализа дисперсии ошибок прогнозирования (экстраполяции второго порядка) для двух вариантов обработки первичной информации при контроле многомерных (многокомпонентных) процессов промышленного загрязнения окружающей среды. Особенность исследуемой модели прогнозирования – коррекция условного математического ожидания случайного вектора входных сигналов на величину параметра нестационарности, учитывающего асимметрию закона распределения контролируемого процесса. Предложенная модель контроля может быть использована в экологическом мониторинге энергоемких предприятий.

**Ключевые слова:** модель, прогнозирование, многокомпонентное, загрязнение, экология.

**Введение.** Технологический процесс является основой любого производства. Он обеспечивает целенаправленное последовательное изменение свойств сырья, полупродуктов, вспомогательных материалов для получения нового продукта с заранее заданными свойствами. Технологический регламент является основным техническим документом, определяющим рецептуру, режим и порядок проведения операций технологического процесса. В специальном разделе регламента перечисляются все отходы производства (твердые, жидкие, газообразные), используемые и неиспользуемые, указываются их количества и технические характеристики. В регламенте дан перечень сточных вод и вы-

© Н. А. Любимова, 2014