**Регенерация фильтрующей поверхности в инерционном сепараторе**

*В.Ю.Чурюмов, В.Л.Савич*

*Ухтинский государственный технический университет*

**Аннотация.** Разделение материалов центрифугированием, с использованием центрифуг (инерционных сепараторов) служат основой многих производственных процессов.

Основным недостатком применяемых инерционных сепараторов являются сложности в удалении частиц осадка из пор фильтрующей поверхности, в результате чего возрастает сопротивление фильтрованию и необходимость остановки на восстановление (регенерацию) фильтровальной поверхности и снижению ее технической производительности. Решение вопроса регенерации привел к использованию в сепараторах фильтрующих поверхностей имеющих участки с различной кривизной, в том числе и с обратной. Конструкция такого инерционного фильтрующего сепаратора защищена патентом на полезную модель. Найдены условия работы сепаратора, при которых достигается полная регенерация пор фильтровальной поверхности за счет одновременного действия сил инерций и явления гидравлического клина. Использование инерционного фильтрующего сепаратора при очистке жидкостей и тонко дисперсионных суспензий позволит вести одновременно процессы фильтрования и регенерации, что повысит их эффективность работы.

**Ключевые слова:** регенерация, сепарация, центрифуга, сепаратор, фильтрующая поверхность, разделяющая поверхность, кривизна, обратная кривизна, силы инерции, гравитация, показатель кинематического режима, производительность, радиус кривизны, скорость.

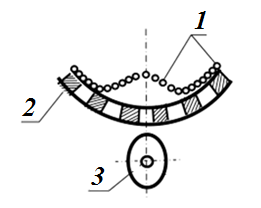
Разделение материалов, получившее на­звание центрифугирование, с использованием поля сил инерций (центробежных) в маши­нах, называемые центрифугами служат основой многих производственных процессов[1]. С помощью центрифуг достигается достаточно четкое разделение самых разнообразных неоднородных жидких систем. К этим системам можно отнести различ­ные производственные продукты, такие как сырая нефть, смазочные масла, очистка шахтных [2] и сточных вод от тепловых электростанций [3], и т.п. продукты. Применяемые в настоящее время центрифуги (инерционные сепараторы) имеют общий недостаток, состоящий в сложности полного удаления частиц из пор фильтрующей поверхности. При механическом срезании осадка ножом или скребком, что характерно для всех промышленных центрифуг, в поры фильтровального материала втираются частицы тонко дисперсионной фазы, уплотненные силами инерции, что приводит к возрастанию сопротивления фильтрования (забиванию пор) и необходимости остановки центрифуг на восстановление (регенерацию) фильтровального материала и снижения при этом ее техническую производительность.

В связи с этим, появляется необходимость в поиске технического решения позволяющего повысить эффективность работы фильтрующих инерционных сепараторовза счет обеспечения очистки пор фильтрующей поверхности от застрявших частиц во время непосредственной работы, исключив при этом время на остановку, связанную с ее регенерацией.

Представляет определенный интерес работы [4,5], в которых предложена фильтрующая центрифуга, для очистки тонкодисперсных суспензий применяемая в различных отраслях промышленности. Средство регенерации выполнено в виде валика 3 (рис.1) имеющего форму овала или многогранника установленного в зазоре между корпусом и боковой поверхностью ротора 2 и имеет отдельный привод.

Особенностью ее работы заключается в следующем: под действием центробежного давления жидкая фаза фильтруется через предельно плотную структуру фильтровального материала 1 (рис. 1) с минимальным размером пор. Тонкие частицы улавливаются порами, а сверху на поверхности фильтровального материала образуется слой осадка, состоящий из средних и крупных частиц. Регенерация пор фильтрующей поверхности, возникает в момент минимального зазора между поверхностями валика 3 и ротора 2. Под действием эффектов гидравлического клина и гидравлического удара при пульсациях противодавления в зазоре периодически охватывает некоторые точки фильтровального материала 1. При этом эластичные нити фильтровального материала 1 растягиваются и размер пор увеличивается. Уловленные мелкие частицы противодавлением выносятся внутрь ротора, а гидравлический удар как бы разрушает образовавшийся осадок.

Следует отметить, что в данном решении наблюдается локальная, но не полная регенерация пор фильтрующей поверхности[6]. Регенерация пор фильтрующей поверхности возможна, на участках ротора и фильтровального материала, когда большая полуось овала валика 3 будет расположена вертикально, и зазор между валиком и ротором 2, будет минимальным. В остальное время вращения валика 3 зазор увеличенный, поэтому на этих участках фильтрующей поверхности процесс регенерации пор исключается. Кроме того, обратное поступление осадка на фильтрующую поверхность и его перемешивание с исходной суспензией увеличивает концентрацию. Высококонцентрированная (вязкая) осадком суспензия и ее жидкая фаза плохо проходит через фильтрующую поверхность [7,8].



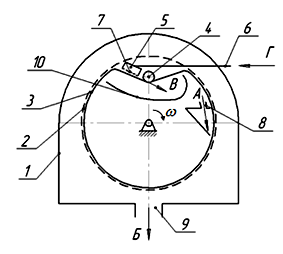
1 – фильтровальный материал; 2 – ротор; 3 – валик

Рис. 1 - Зона локальной регенерации пор фильтровального материала

Одним из возможных путей решения проблемы, может быть найдено использованием по новому назначению известных технических решений, из других областей науки и техники. В частности, известны и исследованы гибкие сепарирующие органы зерноочистительных машин, имеющие участки различной кривизны, в том числе и с обратной [9].

Основным преимуществом таких рабочих органов в отличие от известных, является инерционная очистка отверстий. Применительно к очисткежидкостей и тонко дисперсионных суспензий одно из таких решений предложено[10].

Инерционный фильтрующий сепаратор (рис.2) [10] содержит корпус 1, расположенный в нем перфорированный ротор 2, с возможностью вращения вокруг горизонтальной его оси, внутри ротора вдоль его поверхности вложена бесконечная эластичная лента 3, выполненная из фильтровального материала. В верхней части ротора между его внутренней поверхностью и наружной поверхностью ленты установлен нажимной валик 4 с образованием в ленте прогиба – участка обратной кривизны, трубопровод 5, с питающим шлангом 6 и отверстиями 7 выполненными в трубопроводе 5, который установлен внутри ротора 2, в верхней части участка обратной кривизны.



1–корпус; 2– перфорированный ротор; 3– эластичная лента; 4– нажимной валик; 5 – трубопровод; 6 – питающий шланг; 7 – отверстия; 8 – патрубок подачи; 9 – патрубок слива; 10 – желоб

Рис. 2- Принципиальная схема инерционного фильтрующего сепаратора

Внутри ленты 3 установлен патрубок 8 подачи исходной суспензии, а в корпусе 1 выполнен патрубок 9 для слива фильтрата. Под участком обратной кривизны ленты, вдоль ее боковой поверхности установлен желоб 10. Лента 3 может быть изготовлена из эластичных материалов с минимальным размером пор, например из полиуретановых волокон.

Сепаратор работает следующим образом. При вращении ротора 1, с угловой скоростью *ω*, когда показатель кинематического режима больше единицы (*К>1)*,

*К= ω2·R /g> 1,*  (1) где: *R*– радиус ротора; *g* – ускорение силы тяжести,исходная суспензия по патрубку 8 подается на вращающуюся вместе с ротором поверхность ленты 3, по стрелке А и увлекается ею в кольцевое движение. Силами инерции (центробежными силами), созданными в результате кольцевого движения слоя, слой равномерно распределяется внутри ленты по ее боковой поверхности. При показателе кинематического режима меньше единицы (К < 1), кольцевое движение слоя нарушается, так как при этом режиме, силы тяжести частиц слоя превышают сил инерций и под их действием частицы слоя, будут отрываться от поверхности ленты, поэтому фильтрующий сепаратор работоспособен при (*К>>>1)*, т.е. когда создается кольцевое движение слоя. В зоне фильтрации жидкости под действием давления оказываемого на слой суспензии силами инерций, жидкая фаза проходит через поры фильтровального материала ленты 3 , и отверстия ротора 2, поступает во внутрь корпуса 1, а оттуда через патрубок 9 выводится из сепаратора по стрелке Б.

Частицы не прошедшие через поры (осадок) образуются и скапливаются на внутренней поверхности ленты, а его мелкие частицы вдавливаясь в поры фильтровального материала, забивают их и препятствуют прохождению жидкости. На участке обратной кривизны ленты силы инерцииизменяют направление на противоположное, ичастицы застрявшие в порах под действием этих сил выталкиваютсяво внутрь ленты.

По питающему шлангу 6, вода от водопроводной сети или от насоса (на чертеже насос не показан) ,поступает в трубопровод 5 (по стрелке Г) и из его отверстий 7, она подается на наружную поверхность движущейся ленты 3. Частицы воды, попадая в сужающий зазор движущей ленты 3 и валика 4, создают в фильтрующем материале давление, в результате, поры фильтрующего материала растягиваются и увеличиваются в размерах, а попавшие в них при фильтрации мелкие частицы под действием сил инерции, тяжести и от давления воды легко удаляются из расширенных пор. Так достигается полная регенерация (восстановление) мелких пор фильтрующего материала ленты 3 на его участке с обратной кривизной.

Внутри ленты 3 вдоль ее боковой поверхности установлен желоб 10, в который с ленты 3 по стрелке В, поступают частицы удаленные из пор и частицы осадка. Эти частицы, смачиваются водой поступающей с наружной поверхности ленты через поры фильтрующего материала под действием сил инерции и тяжести частиц воды. Частицы осадка, перемешиваясь с частицами воды, становятся более текучими и по внутренней поверхности желоба 10 выводятся из сепаратора, при этом исключается возможность попадания осадка на поверхность фильтрующего материала ленты 3 после его регенерации. Таким образом, конструкция инерционного фильтрующего сепаратора позволяет вести одновременно процессы фильтрования и регенерации в поле действия сил инерций и сил от давления воды в зоне контакта ленты 3 с валиком 4. В результате поры фильтровального материала очищаются от частиц осадка на участке ленты с обратной кривизной, в зону загрузки фильтровальный материал поступает полностью восстановленный, поры очищены, на поверхности осадка нет, за счет чего повышается пропускная способность жидкости через фильтрующий материал и производительность сепаратора.

Установим, при каких условиях возможна регенерация пор фильтрующей поверхности в предложенном сепараторе. Для этого, рассмотрим геометрию фильтрующей поверхности сепаратора (рис. 3) с учетом [11] и действующими на этом участке силами.

Участок поверхности с радиусом *R1*,является основной окружностью цилиндра. Основную окружность цилиндра и прямолинейный участок *ВС* соединяет криволинейный участок *АВ*, радиус которой*R2*.Участок *CD* имеющий радиус *r*, является криволинейным, и он имеет обратную по отношению к основной окружности цилиндра и участка *АВ* кривизну.

На основном участке фильтрующей поверхности радиусом *R1*, происходит выделение свободной жидкости содержащейся в исходной суспензии через поры фильтрующей поверхности под действием силы инерции

, (2)

где *m* – масса частиц; *V*-окружная скорость фильтрующей поверхности.

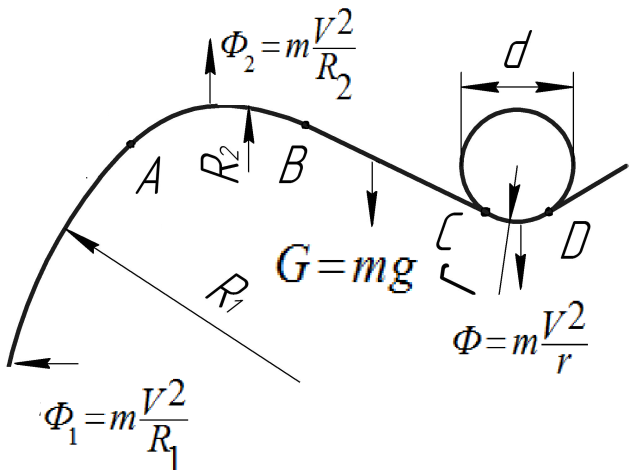


Рис. 3- Расчетная схема.

На участке *АВ* из осадка выделяется остатки жидкости. Их выделение происходит под действием силы инерции

. (3)

Прямолинейный участок *ВС*, служит для отделения осадка от фильтрующей поверхности под действием силы гравитации

*G=mg*. (4)

Криволинейный участок *CD* имеющий обратную кривизну служит для очистки пор от застрявших частиц под действием сил инерций

, (5)

где*r*- радиус участка обратной кривизны, равный половине диаметра *d* нажимного валика.

Модули сил инерций зависят от радиуса кривизны, так как скорости имассы в выражениях(2,3,5) для рассмотренных участков одинаковы. При этом силы инерции *Ф1* и *Ф2* способствуют забиванию пор мелкими частицами, а сила *Ф* выталкиванию этих частиц из пор. Для полной регенерации фильтрующей поверхности необходимо, чтобы выталкивающая сила *Ф* была больше сил забивания *Ф1* и *Ф2* частиц в поры. Следовательно, радиусы кривизны участков фильтрующей поверхности должны быть:

*R1>R2>r* (6)

В эластичном сепараторе с участком обратной кривизны разделяющая поверхность имела следующие соотношения[12]:

*R2 ≈ (0.2…0.3) R1; r ≈ 0.1R1* (7)

Анализ формул (2, 3 и 5) с учетом соотношений (7) показывают, что в инерционном сепараторе максимальная сила вдавливания частиц в поры фильтрующей поверхности будет наблюдаться на участке АВ, когда *R2<R1,* а сила выталкивания частиц из пор Ф будет всегда больше силы Ф2 при условии, что радиус *r* участка *CD* с обратной кривизной будет меньше радиуса *R2*. Условия, при котором возможна регенерация пор фильтрующей поверхности в инерционном сепараторе

*r<R2* (8)

Достоверность выполнения условия (8) показывают экспериментальные испытания эластичного сепаратора, с разделяющей поверхностью имеющей: *R1=*600 мм, *R2* = 150 мм и *r=*60 мм. Отмечено, что эластичный сепаратор обладает высокими регенерационными свойствами, так например,количество отверстий с застрявшими в них частицами неспособных пройти по своим размерам через эти отверстия, в процентах не превысила 3…5 от их общего количества [12].

Следует отметить, что испытания эластичного сепаратора, проводились на зерновой смеси, т.е. на сыпучем материале. При сепарации жидкостей инерционным фильтрующим сепаратором процесс регенерации фильтрующей поверхности, осуществляется в основном силами инерций и может быть ускорен еще явлениям гидравлического клина, возникающим при работе сепаратора[4,5,6,10].

**Выводы:**

1. Конструкции существующих центрифуг и сепараторов при разделении жидкостейимеют общий недостаток, состоящий в низкой регенерационной способности к восстановлению фильтрующей поверхности.

2. Решение вопроса регенерации фильтрующей поверхности в инерционном сепараторенайдено с использованиемфильтровальной поверхности имеющей участки различной кривизны, в том числе и с обратной.

3. Для инерционного фильтрующего сепаратора получены условия (8), выполнение которых позволит достичь,полнойрегенерации пор фильтровальной поверхности,а также повыситьэффективность работы инерционного сепаратора.

**Литература**

1. Соколов, В.И. Современные промышленные центрифуги // М.: Машиностроение, 1967, 523с.

2. Серпокрылов Н.С., Щербаков А.С. Доочистка шахтных вод на фильтрах с песчаной загрузкой. //Инженерный вестник Дона, 2011, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/434/.

3. Лаптев А.Г.,БородайЕ.Н. Математическая модель процесса адсорбции при очистке сточных вод ТЭС от нефтепродуктов. //Инженерный вестник Дона, 2010 №4. URL:ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n2y2010/261/.

4. Патент № 2116139 РФ, МПК: В04В 3/00. Фильтрующая центрифуга/ А.Б. Голованчиков, А.В. Ильин, А.Б. Дулькин, М.Б. Орлинсон, И.А. Скачко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»(RU). №97103045-13; заявл. 28.02.97; опубл. 27.07.1998, Бюл. №21. 5 с.

5.Фетисова, Е.Г., Голованчиков, А.Б., Милова, Д.А. Перспективные конструкции фильтрующих центрифуг для псевдопластических жидкостей [Текст] / Е.Г. Фетисова, А.Б. Голованчиков, Д.А. Милова / Известия Волгоградского государственного технического университета- Волгоград, 2010, вып.№3, том 1, с.86-88.

6. Берестюк Г.И. Регенерация фильтров для разделения суспензий. – М.: Химия , 1978. 96 с.

7.Mattes R., RocfarowЕ. Internal Motion in Some Aromatic Polyesters and Linear Aromatic Chains. // J. Polym. Sci. 1966, A-2, V.4, N3, pp.375-384.

8. Elata C., Takserman U. The viscous flow through cannels and tubes with sinusoidal boundaries as a model for porous media. Isr. J. Thechnol., 1976, 14, H 6, pp.234-240

9.А.с.№447181 (СССР), МПК: В07В 1/22. Решето/ М.В.Кузьмин; Заявитель и патентообладатель «Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования(RU)». №1877608/28-13, заявл.20.11.1972;опубл. 25.10.1974; Бюл.№39. 4 с.

10. Патент №147793 на полезную модель РФ, МПК:В04В 3/08. Инерционный фильтрующий сепаратор/В.Ю.Чурюмов;заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО«Ухтинский государственный технический университет»(RU). № 2014127942/05,заявл. 08.07.2014; опубл. 20.11.2014.

11. Кузьмин, М.В. Особенности процесса разделения смесей на гибких рабочих органах// Сборник. Комплексная механизация сельскохозяйственного производства. Труды ВСХИЗО, вып.127. – М.: ВСХИЗО, 1976. – С.68-72.

12.Чурюмов, В.Ю. Обоснование основных параметров и режимов работы эластичного цилиндрического решета: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Балашиха, 1985. 212 с.

**References**

1. Sokolov, V.I. Sovremennye promyshlennye centrifugi [Modern industrial centrifuges]. M.Mashinostroenie, 1967.523 p.

2. Serpokrylov N.S., Shherbakov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/434/.

3. Laptev A.G., Borodaj E.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2010 №4. URL:ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n2y2010/261/.

4. Patent № 2116139 RF, MPK: V04V 3/00. Fil'trujushhaja centrifuga. A.B. Golovanchikov, A.V. Il'in, A.B. Dul'kin, M.B. Orlinson, I.A. Skachko. Zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Volgogradskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet»(RU). №97103045-13; zajavl. 28.02.97.opubl. 27.07.1998, Bjul.№21.5 p.

5. Fetisova, E.G., Golovanchikov, A.B., Milova, D.A. Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Volgograd, 2010, vyp.№3, tom 1, pp.86-88.

6. Berestjuk G.I. Regeneracija fil'trov dlja razdelenija suspenzij [Regeneration of filters for the separation of suspensions]. M. Himija. 1978. 96 p.

7. Mattes R., Rocfarow E. Internal Motion in Some Aromatic Polyesters and Linear Aromatic Chains. J. Polym. Sci. 1966, A-2, V.4, N3, pp.375-384.

8. Elata C., Takserman U. The viscous flow through cannels and tubes with sinusoidal boundaries as a model for porous media. Isr. J. Thechnol., 1976, 14, H 6, pp.234-240

9. A.s.№447181 (SSSR), MPK: V07V 1/22. Resheto.M.V.Kuz'min; Zajavitel' i patentoobladatel' «Vsesojuznyj sel'skohozjajstvennyj institute zaochnogo obrazovanija (RU)». №1877608/28-13, zajavl.20.11.1972.opubl. 25.10.1974; Bjul.№39.4 p.

10. Patent №147793 napoleznuju model' RF, MPK: V04V 3/08. Inercionnyj fil'trujushhij separator.V.Ju. Churjumov; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Uhtinskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet»(RU).№ 2014127942/05, zajavl.08.07.2014; opubl. 20.11.2014. 4 p.

11. Kuz'min, M.V. Sbornik Kompleksnaja mehanizacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. Trudy VSHIZO, vyp.127. M. VSHIZO, 1976. pp.68-72.

12. Churjumov, V.Ju. Obosnovanie osnovnyh parametrov i rezhimov raboty jelastichnogo cilindricheskogo resheta [The rationale of the main parameters and operation modes of an elastic cylindrical sieve]: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.01. Balashiha, 1985.212 p.