



## 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 привело 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 инерции 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 инерции (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 технической производительности.

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

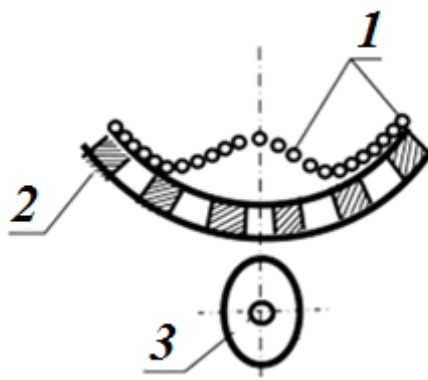
Представляет определенный интерес работы [4,5], в которых предложена фильтрующая центрифуга, для очистки тонкодисперсных суспензий применяемая в различных отраслях промышленности. Средство регенерации выполнено в виде валика 3 (рис.1) имеющего форму овала или многогранника установленного в зазоре между 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 противодействия в зазоре периодически охватывает некоторые точки фильтровального материала 1. При этом эластичные нити фильтровального материала 1 растягиваются и размер пор увеличивается.

---

Уловленные мелкие частицы противодействием 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].



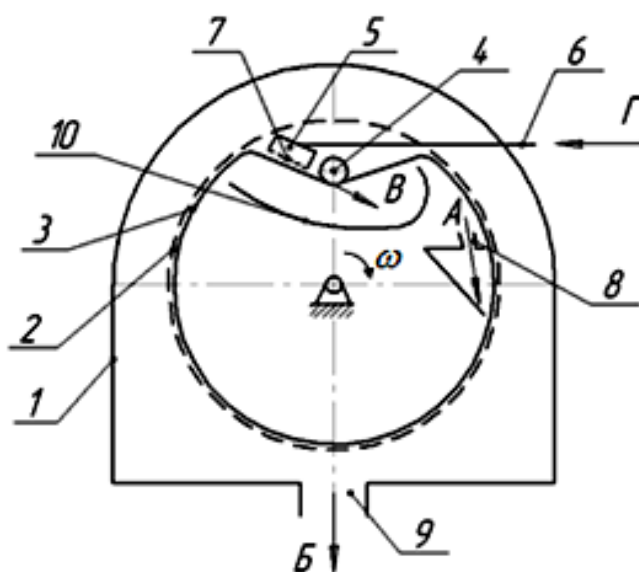
1 – фильтровальный материал; 2 – ротор; 3 – валик

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 очистке жидкостей 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  $\omega$ , когда показатель кинематического режима больше единицы ( $K > 1$ ),

$$K = \omega^2 \cdot R / g > 1, \quad (1) \text{ где:}$$

$R$  – 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 ( $K < 1$ ), 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 ( $K \gg 1$ ), 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

---

инерции изменяют направление на противоположное, и частицы застрявшие в порах под действием этих сил выталкиваются во 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  $R_1$ , является основной окружностью цилиндра. Основную окружность цилиндра и прямолинейный участок  $BC$  соединяет криволинейный участок  $AB$ , радиус которой  $R_2$ . Участок  $CD$  имеющий радиус  $r$ , является криволинейным, и он имеет обратную по отношению к основной окружности цилиндра и участка  $AB$  кривизну.

На основном участке фильтрующей поверхности радиусом  $R_1$ , происходит выделение свободной жидкости содержащейся в исходной суспензии через поры фильтрующей поверхности под действием силы инерции

$$\Phi_1 = \frac{mV^2}{R_1}, \quad (2)$$

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

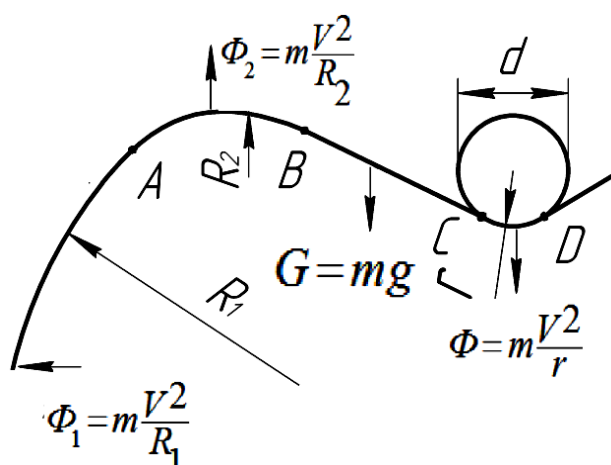


Рис. 3- Расчетная схема.

На участке  $AB$  из осадка выделяется остатки жидкости. Их выделение происходит под действием силы инерции

$$\Phi_2 = \frac{mV^2}{R_2}. \quad (3)$$

Прямолинейный участок  $BC$ , служит для отделения осадка от фильтрующей поверхности под действием силы гравитации

$$G=mg. \quad (4)$$

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

$$\Phi = \frac{mV^2}{r}, \quad (5)$$

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  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  способствуют забиванию пор мелкими частицами, а сила  $\Phi$  выталкиванию этих частиц из пор. Для полной регенерации фильтрующей поверхности необходимо, чтобы выталкивающая сила  $\Phi$  была больше сил забивания  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  частиц в поры. Следовательно, радиусы кривизны участков фильтрующей поверхности должны быть:

$$R_1 > R_2 > r \quad (6)$$

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

$$R_2 \approx (0.2 \dots 0.3) R_1; r \approx 0.1 R_1 \quad (7)$$

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  $AB$ , когда  $R_2 < R_1$ , а сила выталкивания частиц из пор  $\Phi$  будет всегда больше силы  $\Phi_2$  при условии, что радиус  $r$  участка  $CD$  с обратной кривизной будет меньше



радиуса  $R_2$ . Условия, при котором возможна регенерация пор фильтрующей поверхности в инерционном сепараторе

$$r < R_2 \quad (8)$$

Достоверность выполнения условия (8) показывают экспериментальные испытания эластичного сепаратора, с разделяющей поверхностью имеющей:  $R_1 = 600$  мм,  $R_2 = 150$  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 жидкостей имеют общий недостаток, состоящий в низкой регенерационной способности к восстановлению фильтрующей поверхности.

2. Решение вопроса регенерации фильтрующей поверхности в инерционном сепараторе найдено с использованием фильтровальной поверхности имеющей участки различной кривизны, в том числе и с обратной.

3. Для инерционного фильтрующего сепаратора получены условия (8), выполнение которых позволит достичь, полной регенерации пор

фильтровальной поверхности, а также повысить эффективность 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., RocfarowE. 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. Technol., 1976, 14, N 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(РУ)». №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/](http://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/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/261/).

4. Patent № 2116139 RF, МПК: 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 «Vologradskij gosudarstvennyj tehničeskij 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 tehničeskogo 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. Technol., 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'skhozjajstvennyj 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 tehničeskij universitet»(RU).№ 2014127942/05, zajavl.08.07.2014; opubl. 20.11.2014. 4 p.
11. Kuz'min, M.V. Sbornik Kompleksnaja mehanizacija sel'skhozjajstvennogo proizvodstva. Trudy VSHIZO, vyp.127. M. VSHIZO, 1976. pp.68-72.
12. Churjumov, V.Ju. Obosnovanie osnovnyh parametrov i rezhimov raboty jelastičnogo cilindričeskogo 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.