

УДК 669: 628.16.06

к.т.н. Чебан В. Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

МЕТОД РАСЧЕТА ШАРОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

Приведен метод расчета гидродинамического очистителя жидкостей от твердых загрязнений с напорным каналом, образованным двумя неподвижными шаровыми поверхностями.

Ключевые слова: шаровой очиститель, фильтроэлемент, продольная скорость, входная скорость, сливная скорость.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Металлургические предприятия в силу своей специфики производства относятся к категории потребителей, имеющих высокую потребность в технической воде. Применение новых технологий и технологического оборудования, возникающие задачи по повышению надежности и эффективности работы существующего оборудования предъявляют все более высокие требования к качеству этой воды. Этого невозможно достичь без применения современных средств ее очистки. Гидродинамические очистители находят все более широкое применение для очистки технической воды на металлургических предприятиях.

Гидродинамическая очистка жидкостей характеризуется не только технологическими особенностями, но и наличием широких возможностей ее реализации в средствах различного типа, которые, в свою очередь, различаются друг от друга наличием набора поверхностей, образующих напорные каналы для осуществления процесса очистки жидкости вообще, как, например, в мембранных аппаратах, или от твердых загрязнений в частности. Такими поверхностями являются плоские [1], конические [2], шаровые [3], цилиндрические (причем последние могут быть как круговыми [4], так и грушеобразными в сечении [5]), а также их комбинации [6]. В начале 21-го века на металлургических предприятиях Украины и России наиболее полно зарекомендовали себя гидродинамические очистители жидкости с круговыми цилиндрическими поверхностями

[7], хотя по ряду параметров они уступают шаровым очистителям.

Наличие у шаровых очистителей жидкости ряда убедительных преимуществ перед остальными делает их наиболее перспективными [8]. Особенно это выражено у шарового очистителя жидкости с лукообразной боковой поверхностью фильтроэлемента, обеспечивающей максимальное его приближение к идеальному очистителю жидкости от твердых загрязнений. Но, к сожалению, отсутствие на данный момент достаточной технической информации о них сдерживает их применение.

Постановка задачи. Целью данной работы является расширение теоретической базы по шаровому очистителю и ознакомление заинтересованных потребителей с методом расчета подобных очистителей.

Изложение материала и его результаты. Работа шарового очистителя основана на реализации гидродинамического способа очистки жидкости от механических примесей, часто называемого тангенциальной очисткой. В общем случае это означает, что вектор продольной скорости жидкости вдоль фильтрующей поверхности и вектор скорости ее фильтрации через эту же поверхность перпендикулярны. В конкретном же случае тангенциальная очистка заключается в том, что в очистителе вокруг проникаемой шарообразной поверхности фильтроэлемента 3 (см. рис. 1) формируют движение загрязненной жидкости в направлении от входного патрубка 4 к входу в сливной патрубок 6 таким образом, что продольная скорость v_{np}

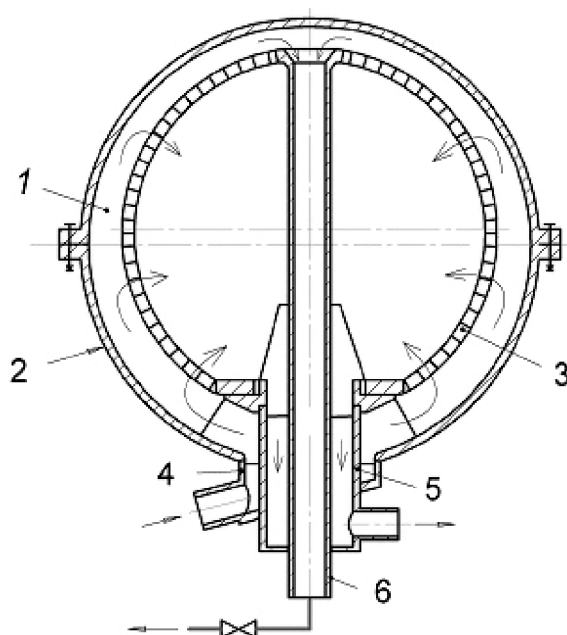


Рисунок 1 Самоочищающийся шаровой очиститель

в напорном канале 1, образованном внутренней непроницаемой поверхностью шарообразного корпуса и наружной проницаемой поверхностью фильтроэлемента 3, всегда больше скорости v_0 фильтрации через проницаемую поверхность. Превышение продольной скорости должно быть таким, чтобы обеспечить безусловное продвижение твердых загрязнений от входа напорного канала 1 шириной h_n до его выхода шириной h_k и не дать загрязнениям возможности проникнуть через перфорации проницаемой поверхности фильтроэлемента, даже если их диаметр будет больше максимально допустимого в фильтрате диаметра частиц загрязнения. Под понятиями входа и выхода напорного канала 1 подразумеваются начало и конец проницаемой части фильтроэлемента 3 в направлении потока жидкости.

Очевидно, что чем большее отношение $i = \frac{v_{np}}{v_0}$, тем выше степень регенерации.

Однако после достижения некоторого значения этого отношения дальнейшее увеличение степени регенерации мало или совсем не наблюдается. При этом происходит рез-

кое увеличение потери давления и расхода жидкости со сливом и снижение эффективности ее очистки. Поэтому, чтобы избежать лишних потерь и не навредить процессу регенерации, для каждого конкретного случая опытным путем на стендах или в производственных условиях устанавливается рациональное значение отношения i . Известно, что абсолютно чистых жидкостей в природе не существует и условно принято, что жидкость считается чистой, если размер имеющихся в ней механических примесей не влияет столь отрицательно на ее основное предназначение. В связи с этим очистка жидкости ведется от заранее известного максимального диаметра d_{max} загрязнения до максимально допустимого в фильтрате диаметра частиц загрязнений, называемого степенью очистки.

Скорости жидкости на входе в напорный канал и на выходе из него, соответственно называемые входной и сливной, являются контролируемыми параметрами и могут быть по величине как одинаковыми, так и разными. В тоже время продольная скорость жидкости в напорном канале изменяется по особому закону, детально изложенному в

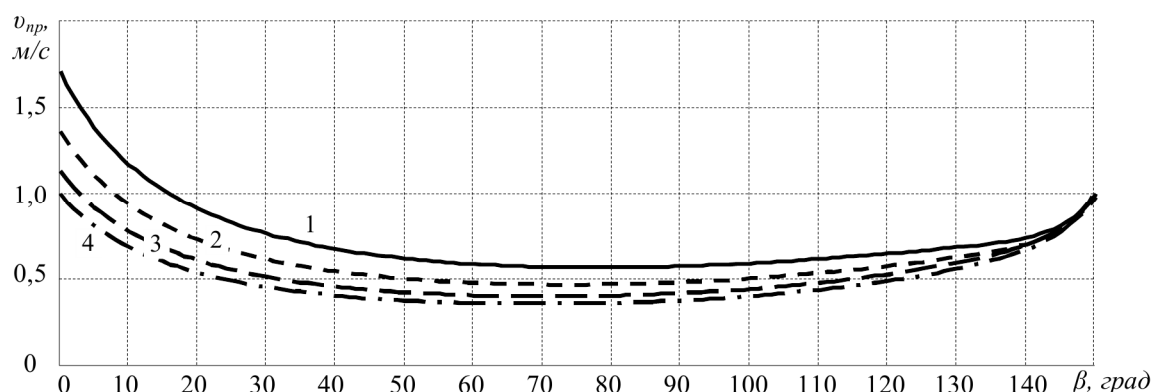


Рисунок 2 Скоростные режимы жидкости в напорном канале шарового очистителя

работе [9], и является неконтролируемым параметром. В связи с этим данный метод расчета изложен с учетом особенностей скоростного режима жидкости в напорном канале шарового очистителя.

Одна из особенностей состоит в том, что на определенной длине напорного канала продольная скорость жидкости становится меньше ее контролируемой сливной скорости. Чем меньше разница между входной и сливной скоростями, тем больше происходит снижение продольной скорости по сравнению со сливной. Наибольшее снижение наблюдается в том случае, когда входная и сливная скорости жидкости имеют одинаковое значение. Более наглядно это видно из рисунка 2. Так как в напорном канале очистителя значения продольной скорости жидкости, кроме входной и сливной, являются неконтролируемыми, то использование минимального их значения возможно лишь в сравнении с контролируемой скоростью, в данном случае с входной или сливной. Из рисунка 2 очевидно, что продольная скорость жидкости на участке от $\beta = 20^\circ$ до $\beta = 130^\circ$ носит более или менее стабильный характер. Это наблюдается в случае, когда входная и сливная скорости имеют практически одинаковые значения. При этом минимальное значение продольной скорости максимум в 3 раза меньше значения входной и сливной. По сути, это наибо-

лее рациональный режим очистки по потерям давления и расходу жидкости. Но отношение $i = \frac{v_{пр}}{v_0}$, характеризующее

надежность работы очистителя, принимается из условия, что предварительно определенная опытным путем продольная скорость $v_{пр}$ имеет минимальное значение, например, при угле $\beta = 70^\circ$. Следовательно, чтобы получить его на длине напорного канала данного очистителя при постоянной скорости фильтрации, нужно, чтобы входная и сливная скорости были значительно большими по значению. При этом важно знать, в каком очистителе проводились опыты по определению минимально допустимого значения продольной скорости жидкости в напорном канале. Если при опытах использовался шаровой очиститель того же типа, что и исследуемый, то упоминаемого увеличения входной и сливной скоростей не следует делать. Если это имело место в очистителе другого типа, не имеющего иного минимального значения продольной скорости, кроме как сливной, то увеличение сливной скорости в данном случае обязательно и после этого она принимается в дальнейшем расчете как известная, то есть минимально допустимая сливная скорость жидкости из напорного канала. Таким образом, функция контроля значения оптимальной продольной скорости возложена на сливную скорость.

Расход загрязненной жидкости, необходимый для непрерывной саморегенерации фильтрующей поверхности, напрямую зависит от значения сливной скорости и площади выходного сечения напорного канала, в котором важную роль играет его ширина h_k . Объясняется это тем, что значение ширины канала ограничивает максимально возможный диаметр d_{max} частички твердого загрязнения в очищаемой жидкости, т. е. на входе в очиститель, и определяет возможность использования данного очистителя. Известно, что в напорном канале ширина выходного сечения определяется из условия $h_k = (1,15 \div 1,5) \cdot d_{max}$ и в дальнейшем считается известной.

Расчет очистителя в основном сводится к последовательному расчету параметров шарообразного фильтроэлемента и шарообразного корпуса. Но к этому приступают только после предварительного расчета других его элементов, а именно, входных, выходных и сливных патрубков, размеры которых оказывают влияние на основные параметры очистителя. Предварительный расчет этих элементов известен и не требует дополнения, поэтому, считая далее

параметры этих элементов известными, можно приступить к основному расчету. Для этого примем схему расчета, представленную на рисунке 3.

Углы α и γ , влияющие на высоту фильтроэлемента и длину его боковой поверхности, определяются по результатам предварительного расчета диаметров входного 4, выходного 5 и сливного 6 патрубков (рис. 1). В основном расчете значения углов α и γ считаются известными величинами.

Установив значения сливной скорости v_k , скорости фильтрации v_0 , ширины выходного сечения напорного канала h_k и углов α и γ , произведем расчет по определению основных конструктивных параметров фильтроэлемента.

Общая проницаемая поверхность фильтроэлемента состоит из проницаемой и непроницаемой ее частей, при этом проницаемая часть представляет собой живое сечение, которое при заданных значениях количества фильтрата Q_0 и скорости фильтрации v_0 составит $S_0 = Q_0 / v_0, \text{ м}^2$.

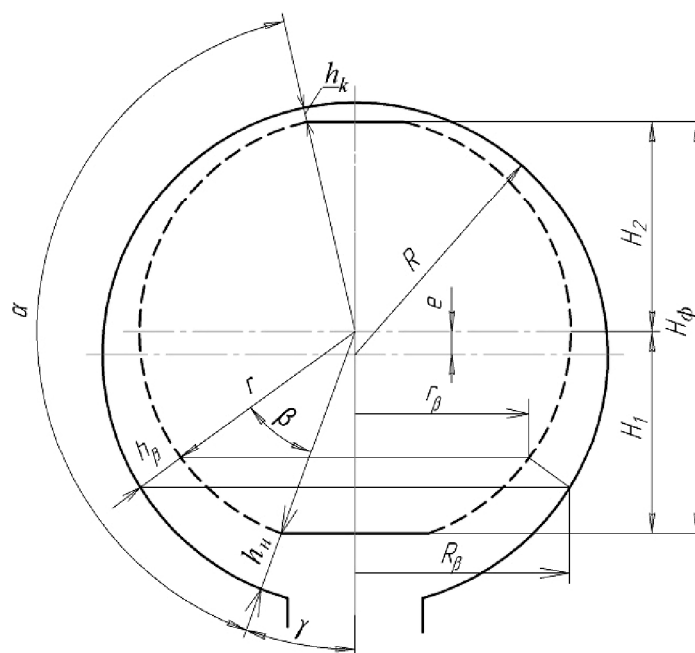


Рисунок 3 Схема расчета шарового очистителя

Анализ рабочих проектов ряда внедренных гидродинамических очистителей показал, что наиболее рациональное значение скорости фильтрации через металлическую сетку находится в пределах $v_0 = 0,05 \div 0,3$ м/с. Если имеется резерв по давлению и количеству сливаемой жидкости, скорость фильтрации можно принять и выше (если размеры входного, выходного и сливного патрубков позволяют это сделать). При этом можно достичь уменьшения размеров очистителя и его стоимости.

Живое сечение, например, сетчатых фильтроэлементов, в свою очередь, определяется живыми сечениями его корпуса K_k и охватывающей его стандартной сетки K_c и равно

$$K_0 = K_k \cdot K_c.$$

В известных очистителях оно находится в пределах $K_0 = 0,25 \div 0,85$.

При известных S_0 и K_0 общая площадь боковой поверхности любого фильтроэлемента будет равна

$$S_\phi = S_0 / K_0, \text{ м}^2.$$

Так как фильтроэлемент имеет вид шарового пояса высотой

$$H_\phi = H_1 + H_2 = r \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)], \text{ м}$$

и боковой поверхностью площадью

$$S_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)], \text{ м}^2,$$

то общую боковую поверхность можно считать известной и равной

$$S_0 = S_\phi \cdot K_0 = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)] \cdot K_0, \text{ м}^2,$$

где r — радиус фильтроэлемента, м.

Отсюда радиус шарообразного фильтроэлемента равен

$$r = \sqrt{\frac{S_0}{K_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot [\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)]}}, \text{ м}.$$

На этом расчет фильтроэлемента заканчивается и начинается расчет остальных параметров очистителя.

Из рисунка 3 очевидно, что сечение напорного канала представляет собой боковую поверхность усеченного конуса с радиусами оснований r_β и R_β и образующей h_β , площадь которой равна

$$F_\beta = \pi \cdot h_\beta \cdot (r_\beta + R_\beta), \text{ м}^2,$$

тогда при $r_\beta = r \cdot \sin(\gamma + \beta)$ и

$R_\beta = (r + h_\beta) \cdot \sin(\gamma + \beta)$ площадь напорного канала в сечении, определяемом углом β , и переменной шириной h_β равна

$$F_\beta = \pi \cdot h_\beta \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot (2r + h_\beta), \text{ м}^2.$$

Следовательно, площадь напорного канала на входе равна

$$F_n = \pi \cdot h_n \cdot \sin(\gamma) \cdot (2r + h_n), \text{ м}^2,$$

а на выходе

$$F_k = \pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k), \text{ м}^2.$$

Так как в этом выражении все величины известны, то при заданной сливной скорости v_k расход жидкости на сливе составит

$$Q_2 = F_k \cdot v_k, \text{ м}^3 / \text{с},$$

а расход жидкости на входе в очиститель

$$Q_1 = F_n \cdot v_n = Q_0 + Q_2 = Q_0 + F_k \cdot v_k, \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Отношение этих расходов

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{F_n \cdot v_n}{F_k \cdot v_k}.$$

При $\frac{Q_1}{Q_2} = n$ и $\frac{v_n}{v_k} = m$

$$n = \frac{Q_1}{Q_2} = m \cdot \frac{F_n}{F_k} =$$

$$= m \cdot \frac{\pi \cdot h_n \cdot \sin \gamma \cdot (2r + h_n)}{\pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)},$$

ширина в начале напорного канала

$$h_n = \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)}{\sin \gamma \cdot (2r + h_n)}, \text{ м}$$

или

$$h_n(2r + h_n) = \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)}{\sin \gamma}.$$

Добавив в левую часть этого уравнения $+r^2$ и $-r^2$, получим

$$h_n = \sqrt{r^2 + \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - r, \text{ м.}$$

Известно [9], что наименее затратным является очиститель, в котором входная и сливная скорости жидкости в напорном канале одинаковые, то есть когда $v_n = v_k$, тогда, именно в этом случае, $m = 1,0$, а

$$h_n = \sqrt{r^2 + n \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - r, \text{ м.}$$

Из работы [9] очевидно, что расчетная схема исследуемого в ней очистителя с круговыми поверхностями не отличается от расчетной схемы шарового очистителя. Поэтому для нахождения эксцентриситета e используем достаточно обоснованное в ней выражение для определения изменения ширины напорного канала вдоль него в зависимости от угла β :

$$h_\beta = R - r + e \cdot \cos(\gamma + \beta), \text{ м,}$$

откуда ширина напорного канала, соответственно, в его начале и конце составит

$$h_n = R - r + e \cdot \cos \gamma,$$

$$h_k = R - r + e \cdot \cos(\gamma + \alpha).$$

Мы получили два уравнения с двумя неизвестными. Из первого уравнения, выразив радиус корпуса R как

$$R = r + h_n - e \cdot \cos \gamma, \text{ м,}$$

подставим его во второе уравнение. Получим выражение для определения величины эксцентриситета:

$$e = \frac{h_n - h_k}{\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)}, \text{ м.}$$

Зная радиус r фильтроэлемента, ширину h_k выхода из напорного канала и эксцентриситет e , из выражения $R = r + h_n - e \cdot \cos \gamma$ находим радиус R внутренней поверхности шарообразного корпуса очистителя при одинаковых значениях входной и сливной скоростей:

$$R = \sqrt{r^2 + n \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - e \cdot \cos \gamma, \text{ м.}$$

В общем случае, когда входная скорость будет больше сливной, радиус корпуса очистителя определяется из следующего выражения:

$$R = \sqrt{r^2 + \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - e \cdot \cos \gamma, \text{ м.}$$

Таким образом, после определения необходимых конструктивных и технологических параметров очистителя можно приступить к разработке его конструкции.

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты данной работы расширяют информацию о шаровых очистителях. Они будут полезны для технического персонала, занятого проектированием, изготовлением и обслуживанием подобных очистителей, а также студентам высших учебных заведений и другим заинтересованным лицам.

Бібліографічний список

1. Пат. 54061 Україна, МПК9 B01D37/00, 61/14. Спосіб розділення рідини на фільтрат і концентрат / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201004969; заявл. 26.04.10; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. — 4 с.
2. Финкельштейн, З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин [Текст] / З. Л. Финкельштейн. — М. : Недра, 1986. — 232 с.
4. Пат. 52418 Україна, МПК9 B01D 27/08, B01D 35/22. Гідродинамічний очисник потоку рідини від твердих забруднень / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201002264; заявл. 01.03.10; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16. — 4 с.
5. Чебан, В. Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 31. — С. 115–126.
6. Пат. 54092 Україна, МПК9 B01D29/00, 35/30. Гідродинамічний фільтр / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201005308; заявл. 30.04.10; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. — 5 с.
7. ООО ПКП «Вектор». Описание и внедрение гидродинамических фильтров «цилиндр в цилиндре» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pkpvector.ru/gidrodinamicheskie-filtr-opisanie/>.
8. Чебан, В. Г. Преимущества, недостатки и перспективы самоочищающихся очистителей жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. Вып. 30. — С. 177–183.
9. Чебан, В. Г. Исследование скоростного режима жидкости в напорном канале шарового очистителя [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 37. — С. 141–150.

© Чебан В. Г.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,
гл. энергетиком КП "АПУВКХ" Ковалинским Г. Н.*

Статья поступила в редакцию 09.01.17.

к.т.н. Чебан В. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КУЛЬОВОГО ОЧИСНИКА

Наведено метод розрахунку гідродинамічного очисника рідин від твердих забруднень з напірним каналом, утвореним двома нерухомими кульовими поверхнями.

Ключові слова: кульовий очисник, фільтроелемент, позовжня швидкість, вхідна швидкість, зливна швидкість.

PhD Cheban V. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

CALCULATION METHOD FOR BALL PURIFIER

Calculation method for the hydrodynamic cleaner of liquids from solid contaminants with flow channel formed by two fixed spherical surfaces has been presented.

Key words: ball purifier, filter-element, longitudinal rate, in-put rate, out-put rate.