

УДК 669: 628.16.06

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАРОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

Рассмотрен вопрос повышения эффективности работы шарового очистителя жидкостей от твердых загрязнений за счет оптимизации формы его фильтроэлемента.

Ключевые слова: очиститель, фильтроэлемент, шаровая поверхность, лукообразная поверхность, продольная скорость.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Повышение эффективности очистки технической воды от механических примесей является актуальной проблемой практически на всех предприятиях металлургического комплекса. Развитие новых технологий, применение нового высокотехнологического оборудования предъявляют все более высокие требования к качеству технической воды, которые невозможно обеспечить без использования современных средств очистки воды. С начала 21-го века все более широкое применение

для очистки технической воды на металлургических предприятиях находят гидродинамические очистители.

Многоликость форм поверхностей, используемых для реализации гидродинамической очистки жидкостей от твердых загрязнений, породила многообразие средств ее реализации [1]. Одной из таких форм поверхностей является шаровая.

Исследованию подлежит гидродинамический шаровой очиститель жидкости от твердых загрязнений, общий вид которого представлен на рисунке 1.

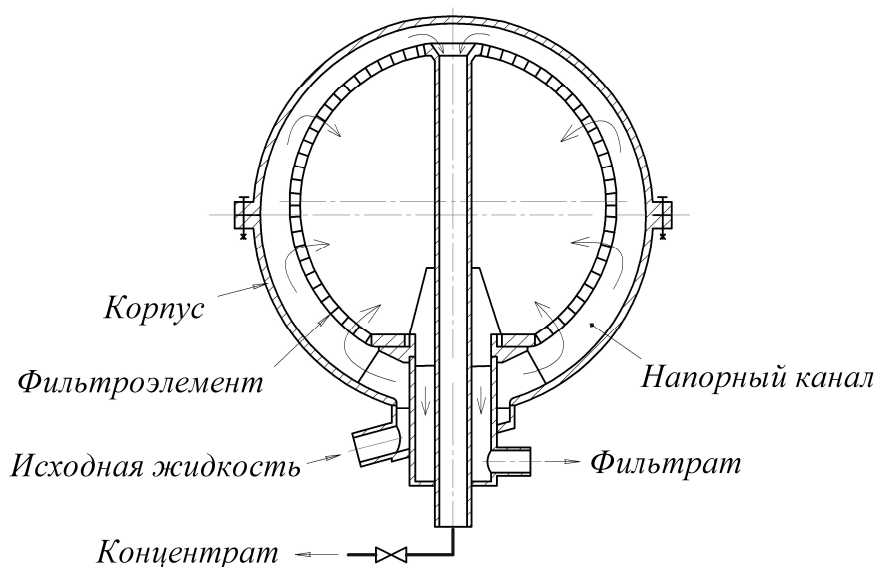


Рисунок 1 Самоочищающийся шаровой очиститель

Принцип работы такого очистителя детально изложен в работах [2–5], в которых отмечается довольно убедительный ряд

его преимуществ. Очиститель характеризуется наличием напорного канала, образованного шаровыми поверхностями его

фильтроэлемента и корпуса, внутренняя из которых является проницаемой.

Несмотря на то, что продольный разрез шарового очистителя не отличается от поперечного разреза очистителя «цилиндр в цилиндре», для непрерывной работы при одинаковых условиях очистки жидкости в них ее продольная скорость в начале и конце напорного канала шарового очистителя должна быть значительно большей [1, 6, 7]. Исследования [6] скоростного режима жидкости в напорном канале шарового очистителя показали, что причиной этому является шаровая поверхность фильтроэлемента или корпуса очистителя, образующих напорный канал, в котором при одинаковом значении входной и сливной скорости жидкости ее продольная скорость от входа к выходу сначала резко снижается, а затем снова возрастает, при этом имеет место примерно трехкратное снижение продольной скорости в середине напорного канала. Это свидетельствует о том, что при свойственном этому очистителю примерно таком же снижении потерь жидкости со сливом имеют место повышенные потери давления жидкости. Следовательно, если в шаровом очистителе достичь минимальных потерь давления жидкости, то его конкурентоспособность в сравнении с очистителями типа «цилиндр в цилиндре» и «цилиндр в конусе» резко возрастет [1]. Понятно, что этого можно достичь за счет снижения входной и сливной скорости жидкости до уровня минимально допустимого значения ее продольной скорости.

Известно, что в гидродинамических очистителях [8–9] наиболее эффективным является скоростной режим жидкости в напорном канале с постоянным значением ее продольной скорости, который достигается за счет того, что одну из образующих напорный канал поверхностей выполняют специальной формы. Из рисунка 1 очевидно, что шаровой корпус исследуемого очистителя можно изготовить из двух стандартных сферических днищ или крышек.

Учитывая, что производство таких элементов уже успешно налажено, то целесообразной является оптимизация шаровой поверхности фильтроэлемента.

Выше отмечалось подобие продольных разрезов напорных каналов шарового и «цилиндр в цилиндре» очистителей, в последнем из которых оптимальной признана цилиндрическая поверхность фильтроэлемента, имеющего грушеобразный профиль [9], обеспечивающий линейное изменение ширины напорного канала в направлении движения в нем жидкости, которая совместно с постоянством высоты поперечного сечения напорного канала и фильтрующей поверхности фильтроэлемента в том же направлении обеспечивает постоянство скорости жидкости вдоль напорного канала. Другими словами, площадь поперечного сечения напорного канала по ходу движения жидкости в нем изменяется линейно. При этом в таком очистителе потери давления жидкости для данного типа очистителей минимально возможные. Но беда его и всех очистителей этого типа заключается в высоких потерях жидкости со сливом [1].

Постановка задачи. Целью данной работы является определение оптимальной формы фильтроэлемента, способной существенно повысить эффективность работы шарового очистителя, а следовательно, и его конкурентоспособность.

Изложение материала и его результаты. Применительно к исследуемому очистителю фильтрующая поверхность фильтроэлемента тоже будет иметь не только профиль, но и шарообразную форму, которую для отличия назовем лукообразной. Для определения параметров такой формы фильтроэлемента составим расчетную схему, представленную на рисунке 2.

При расчете гидродинамических очистителей всегда являются известными следующие параметры:

Q_o — производительность по фильтрату, m^3/c ;

d_{max} — максимальный размер частички твердого загрязнения, м;

$h_k = (1,15 \div 1,5) \times d_{max}$ — ширина выхода напорного канала, м;

v_o — скорость фильтрации, м/с;

v_{np} — минимально допустимая продольная скорость жидкости в канале, м/с;

k_o — коэффициент живого сечения фильтроэлемента.

Кроме того, расчетно-графическим методом предварительно определяют [10]:

α — угол, определяющий параметры проницаемой поверхности (длину напорного канала), град;

γ — угол, определяющий начало напорного канала шириной h_n , град.

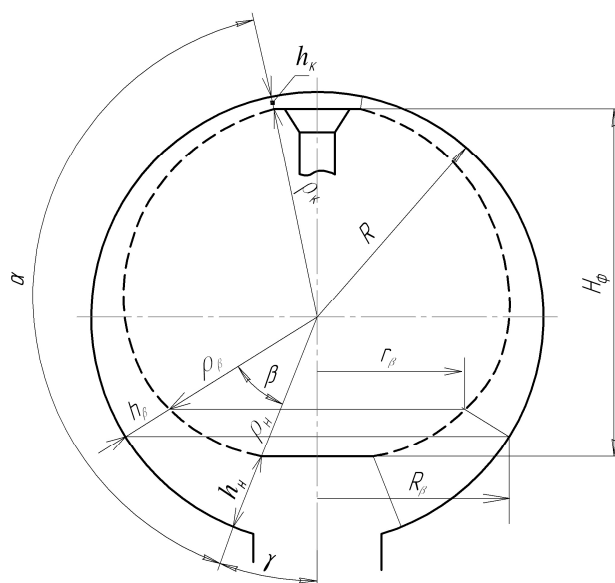


Рисунок 2 Схема расчета формы фильтроэлемента

Из рисунка 2 очевидно, что формирующим лукообразную форму фильтроэлемента является поточный радиус ρ_β , положение которого в разрезе зависит от угла β , изменяющегося от 0 до значения угла α . Тогда

$$\rho_\beta = R - h_\beta, \quad (1)$$

где R — радиус сферического корпуса, м;

h_β — текущее значение ширины напорного канала, м.

При этом в начале напорного канала его значение равно ρ_n , а в конце — ρ_k .

В выражении (1) неизвестными являются как радиус R сферического корпуса очистителя, так и ширина h_β напорного канала, определение которых без знания параметров лукообразного фильтроэле-

мента не возможно. К тому же не существует простых математических формул для определения параметров этой формы фильтроэлемента. При этом очевидно, что после определения радиуса R внутренней сферической поверхности корпуса очистителя вычисление значения ширины h_β не будет представлять затруднений.

Поэтому для определения радиуса R применим известный прием, используемый в работе [9], суть которого заключается в замене лукообразной поверхности фильтроэлемента равноценной шаровой поверхностью с радиусом r_ϕ , равным среднему поточному радиусу:

$$r_\phi = \rho_{cp} = \frac{\rho_n + \rho_k}{2}.$$

При этом боковую поверхность фильтроэлемента вычислим по известной формуле для шарового слоя:

$$S_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\phi} \cdot H_{\phi},$$

где H_{ϕ} — высота фильтроэлемента.

Расчет радиуса R полученного при этом шарового корпуса выполним по методу, изложенному в работе [10].

Согласно данному методу радиус шарообразного фильтроэлемента будет равен

$$r_{\phi} = \rho_{cp} = \sqrt{\frac{S_0}{k_o \cdot 2\pi \cdot [\cos \gamma - \cos(\gamma + \beta)]}},$$

где $S_0 = \frac{Q_o}{v_o}$ — площадь живого сечения проницаемой поверхности фильтроэлемента при заданных Q_o и v_o , m^2 .

Радиус R сферического корпуса, тождественного корпусу очистителя с лукообразным фильтроэлементом, определим из выражения

$$R = \rho_{cp} + \left(1 - \frac{\cos \gamma}{\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)} \right) \times \left(\sqrt{\rho_{cp}^2 + n \cdot h_k \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2\rho_{cp} + h_k)}{\sin \gamma}} - \rho_{cp} \right),$$

где $n = \frac{Q_1}{Q_2}$ — отношение расходов жидкости в начале (Q_1) и конце (Q_2) напорного канала.

Следовательно, радиус R исследуемого очистителя с лукообразным фильтроэлементом можно считать известным.

Определение значения текущей ширины h_{β} продолжим по расчетной схеме, представленной на рисунке 2, используя для этого выражение (1).

Зная радиус R корпуса исследуемого очистителя и ширину h_k выхода напорного канала, найдем значение радиуса фильтроэлемента в этом месте:

$$\rho_k = R - h_k.$$

При известных h_k и ρ_k и принятых значениях углов α и γ найдем площадь напорного канала на выходе, которая представляет собой площадь боковой поверхности усеченного конуса с образующей h_k и радиусами оснований r_k и R_k (на рисунке 2 не обозначены):

$$F_k = \pi \cdot h_k \cdot (r_k + R_k),$$

а с учетом того, что $r_k = \rho_k \cdot \sin(\gamma + \alpha)$ и $R_k = (\rho_k + h_k) \cdot \sin(\gamma + \alpha)$, выражение для определения этой площади примет вид:

$$F_k = \pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2\rho_k + h_k).$$

При заданной постоянной скорости жидкости вдоль напорного канала, когда ее значение на входе и выходе одинаково, т. е. $v_n = v_k = v_{np}$, расход на выходе из напорного канала вычислим из выражения

$$Q_2 = \pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2\rho_k + h_k) \cdot v_k.$$

Расход жидкости на входе в напорный канал определим с учетом производительности по фильтрату:

$$Q_1 = Q_o + Q_1.$$

Поддержание постоянной скорости v_{np} жидкости по длине напорного канала будет возможным только при соответствующем линейном изменении площади его поперечного сечения по закону

$$F_{np} = F_n - \frac{F_n - F_k}{\alpha} \beta = \frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha}.$$

Выразив F_{np} как площадь боковой поверхности усеченного конуса с образующей h_{β} и радиусами оснований r_{β} и R_{β} (см. рис. 2), получим

$$\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} = \pi \cdot h_{\beta} \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot (2R - h_{\beta}).$$

$$\text{Приняв } A = \left(\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sin(\gamma + \beta)},$$

получим квадратное уравнение вида

$$h_{\beta}^2 - 2R \cdot h_{\beta} + A = 0.$$

Решая это квадратное уравнение и учитывая, что h_{β} не может быть больше R , находим

$$h_{\beta} = R - \sqrt{R^2 - A} = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sin(\gamma + \alpha)}}. \quad (2)$$

С учетом (2) выражение (1) для определения поточного радиуса, определяющего форму фильтроэлемента, примет вид

$$\rho_{\beta} = \sqrt{R^2 - \left(\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sin(\gamma + \alpha)}}.$$

Правильность выполненных расчетов можно признать лишь в том случае, когда продольная скорость жидкости в любом сечении напорного канала будет иметь постоянное значение и равное по величине значению скорости жидкости на входе и выходе канала. При этом график зависимости продольной скорости жидкости в напорном канале от угла β должен представлять собой горизонтальную прямую линию.

Значение продольной скорости жидкости в любом сечении напорного канала может быть определено из выражения

$$v_{np} = \frac{Q_{np}}{F_{np}},$$

где Q_{np} — текущее значение расхода жидкости в напорном канале, которое при условно постоянной скорости фильтрации изменяется по закону

$$Q_{np} = Q_1 - (Q_1 - Q_2) \cdot \frac{\beta}{\alpha} = Q_1 - Q_o \cdot \frac{\beta}{\alpha};$$

F_{np} — текущее значение площади поперечного сечения напорного канала, изменяющееся по закону

$$F_{np} = \pi \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot h_{\beta} \cdot (2R - h_{\beta}).$$

С учетом (2) выражение для определения текущего значения продольной скорости жидкости в любом сечении напорного канала примет вид

$$v_{np} = \frac{Q_1 - Q_o \cdot \frac{\beta}{\alpha}}{\pi \cdot \sin(\gamma + \beta)} \times \frac{1}{R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sin(\gamma + \beta)}}} \times \frac{1}{R + \sqrt{R^2 - \left(\frac{Q_1}{v_n} - \frac{Q_o \cdot \beta}{v_k \cdot \alpha} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sin(\gamma + \beta)}}}.$$

На рисунке 3 представлен график изменения продольной скорости жидкости в напорном канале очистителя с лукообразной формой фильтроэлемента. Этот график свидетельствует о том, что приведенный выше расчет выполнен правильно, а полученные результаты дадут возможность создать гидродинамический очиститель как с низкими потерями жидкости, так и с минимально возможными потерями ее давления. В данном расчете потери жидкости составляют 3,8 %. Для получения более низких потерь жидкости, следует более тщательно определять значение угла в конце напорного канала, в данном случае равное $[180 - (\gamma + \alpha)]$.

Очиститель конкретного типа с минимально возможными потерями жидкости и давления обычно называют идеальным.

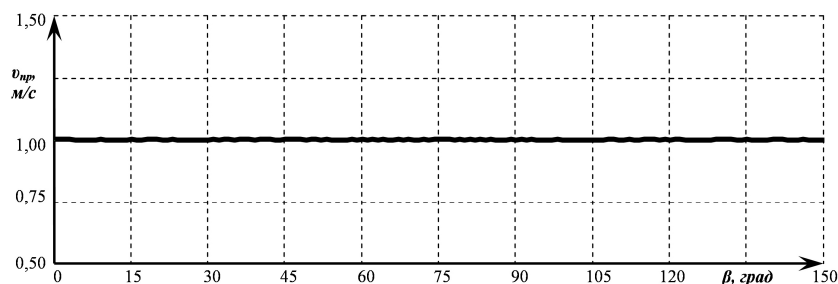


Рисунок 3 График изменения продольной скорости в напорном канале очистителя

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.

Библиографический список

1. Чебан, В. Г. Анализ гидродинамических параметров напорных каналов высокопроизводительных фильтров [Текст] / В. Г. Чебан // Прикладные задачи математики и механики : материалы XVIII международной научно-технической конференции. — Севастополь : СевНТУ, 2010. — С. 152–156.
2. 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. 25.08.10, Бюл. № 16. — 4 с.
3. Пат. 75525 Україна, МПК B01D 37/00. Спосіб очищення рідини від механічних домішок / В. П. Бондаренко; заявник і патентовласник Бондаренко В. П. — №и20040907238; заявл. 03.09.04; опубл. 17.04.06, Бюл. № 4. — 3 с.
4. Пат. 76243 Україна, МПК B01D 29/11. Очисник потоку рідини / В. П. Бондаренко; заявник і патентовласник Бондаренко В. П. — №и2004604381; заявл. 15.12.04; опубл. 17.07.06, Бюл. № 7. — 5 с.
5. 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.
6. 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.
7. Чебан, В. Г. Стенд для определения способности жидкости к очистке гидродинамическим способом [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 38. — С. 179–189.
8. Чебан, В. Г. Повышение эффективности очистки жидкостей в гидродинамическом очистителе с плоским каналом [Текст] / В. Г. Чебан, А. А. Бревнов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків : НТУ «ХПІ», 2012. — № 9. — С. 127–134.
9. 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.

10. Чебан, В. Г. Метод расчета шарового очистителя [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. — Вып. 5(48). — С. 146–152.

© 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 11.10.17.

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КУЛЬОВОГО ОЧИСНИКА

Розглянуто питання підвищення ефективності роботи кульового очисника рідин від твердих забруднень за рахунок оптимізації форми його фільтроелемента.

Ключові слова: очисник, фільтроелемент, кульова поверхня, цибулеподібна поверхня, поздовжня швидкість.

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

IMPROVING THE OPERATION EFFICIENCY OF BALL PURIFIER

There has been examined the problem of improving the operation efficiency of ball purifier for liquids from solid contaminants through optimization the filtering element form.

Key words: purifier, filtering element, spherical surface, onion-shape surface, longitudinal rate.