

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ЖИДКОСТИ В НАПОРНОМ КАНАЛЕ ШАРОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

Досліджено характер зміни повздовжньої швидкості рідини у напірних каналах гідродинамічних очисників рідини від твердих забруднень, утворених кульовими поверхнями.

Ключові слова: швидкісний режим, напірний канал, круговий циліндр, повздовжня швидкість, вхідна швидкість, зливна швидкість, кульовий очисник.

Исследовано характер изменения продольной скорости в напорных каналах гидродинамических очистителей жидкости от твердых загрязнений, образованных шаровыми поверхностями.

Ключевые слова: скоростной режим, напорный канал, круговой цилиндр, продольная скорость, входная скорость, сливная скорость, шаровой очиститель.

Постановка проблемы и анализ последних достижений. Необходимость очистки технической воды на металлургических предприятиях не вызывает сомнений. В последние годы гидродинамическая очистка жидкостей от загрязнений по числу внедрения средств ее реализации занимает лидирующее положение. Реализуется она в мембранных аппаратах [1, 2] и гидродинамических очистителях [3], а конкретнее, в их напорных каналах, образованных двумя неподвижными плоскими, коническими, цилиндрическими или шаровыми поверхностями, как минимум одна из которых проницаемая. Функция напорных каналов заключается в формировании непрерывного потока жидкости вдоль проницаемой поверхности с определенной заранее скоростью, называемой продольной. Если в напорных мембранных аппаратах использование поверхностей, образующих напорные каналы, ограничено плоской и цилиндрической поверхностями, то в гидродинамических очистителях используются все выше упоминаемые поверхности. Но в начале 21-го века в гидродинамических очистителях наиболее полно себя зарекомендовали круговые цилиндрические поверхности [3], благодаря наличию у них неоспоримых преимуществ.

Анализ самоочищающихся очистителей, в том числе и с круговыми цилиндрами, показал, что более перспективными являются очистители с шаровыми поверхностями корпуса и фильтроэлемента. При этом особо следует отметить, что при значительно меньшей длине выхода из напорного канала в сравнении с очистителями с круговыми цилиндрами, в шаровых очистителях при одинаковой ширине канала достигается снижение потерь жидкости на регенерацию до 1-6 % в случае, если шаровая поверхность фильтроэлемента выполнена грушеобразной формы. Поэтому в данном случае представляет интерес очиститель с чисто шаровыми поверхностями корпуса и фильтроэлемента.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование скоростного режима течения жидкости в напорном канале шарового гидродинамического очистителя.

Результаты исследований. На рисунке 1 представлена конструкция исследуемого шарового гидродинамического очистителя.

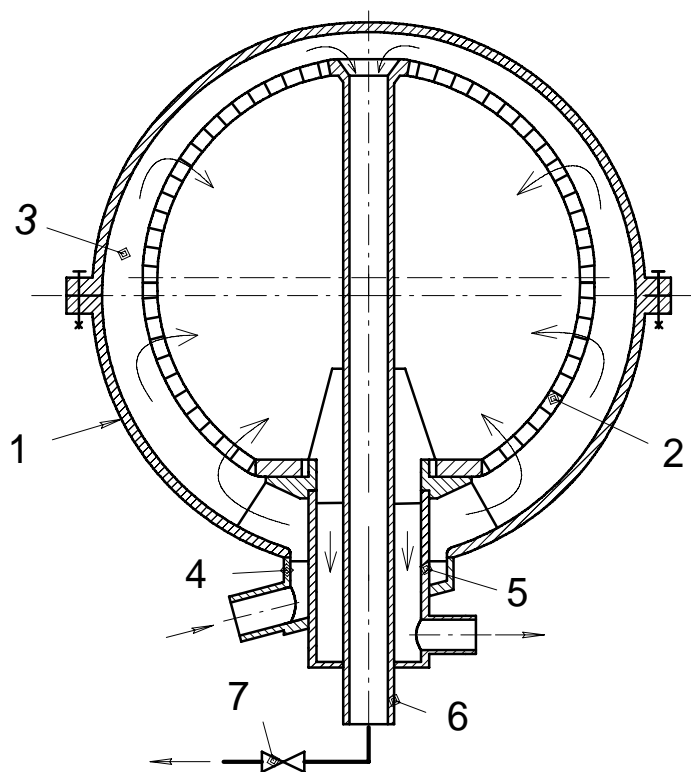


Рисунок 1 – Шаровой гидродинамический очиститель

Он состоит из корпуса 1 с шарообразной внутренней поверхностью, фильтроэлемента 2 с проницаемой шарообразной наружной поверхностью, расположенного в корпусе 1 и образующего с ним напорный канал 3, входного патрубка 4, в котором концентрично и с зазорами

расположены выпускной 5 и сливной 6 патрубки, последний из которых оборудован регулирующим дросселем 7.

Под давлением и непрерывным потоком очищаемую жидкость подают во входной патрубок 4, откуда она поступает в напорный канал 3, и движется в нем вокруг шарообразной поверхности фильтроэлемента 2. При таком движении жидкости, часть ее, в виде фильтрата, проникает во внутрь фильтроэлемента 2, освобождаясь от твердых частиц загрязнений, и через выпускной патрубок 5 удаляется из очистителя. Другая же часть жидкости в канале 3 обогащается загрязнениями и, вместе с ними, поступает во вход сливного патрубка 6, расположенного со стороны выхода канала 3, и по патрубку 6 и через дроссель 7 покидают очиститель. Дроссель 7 отрегулирован таким образом, что, большая часть жидкости становится фильтратом, а оставшая часть играет роль потока, смывающего загрязнения с фильтрующей поверхности и из корпуса очистителя.

Таким описанием данного очистителя и перечнем его преимуществ ограничивается общая информация о нем, поэтому любая дополнительная информация расширит представление о таком очистителе.

Основной неизученной проблемой в шаровом очистителе, как и в других гидродинамических очистителях, является поведение потока жидкости в нем, а именно, характер изменения продольной скорости жидкости или ее скоростной режим в его напорном канале, который по очевидным признакам отличается от напорных каналов других очистителей, в частности очистителя с круговыми цилиндрами [4] и очистителя с параллельными дисками и центральным сливом [5]. Характеризующими напорный канал признаками являются - расстояние между образующими напорный канал поверхностями и характер изменения площади проницаемой поверхности от его входа к выходу.

Так, в очистителе с круговыми цилиндрами расстояние между образующими напорный канал поверхностями от входа к его выходу уменьшается, причем не линейно, а изменение площади проницаемой поверхности в том же направлении – постоянное.

В очистителе с параллельными дисками и центральным сливом расстояние между образующими напорный канал поверхностями от входа к его выходу – постоянное, а изменение площади проницаемой поверхности в том же направлении – линейно уменьшается.

В рассматриваемом же очистителе как расстояние между образующими напорный канал поверхностями, так и изменение площади проницаемой поверхности от входа к его выходу меняются не линейно.

По логике изложенного продольная скорость жидкости в напорном канале рассматриваемого очистителя должна унаследовать некоторые признаки или качества напорного канала как первого, так и второго,

упоминаемых выше, очистителей, но представить какой характер при этом она примет без детального исследования не возможно. Для получения такой возможности нужно иметь выражение для определения продольной скорости жидкости в напорном канале и по нему найти конкретные ее значения при одинаковых исходных данных со сравниваемыми очистителями.

На рисунке 2 показана расчетная схема шарового очистителя, необходимая для получения выражения для определения продольной скорости жидкости в напорном канале, образованного шаровыми поверхностями.

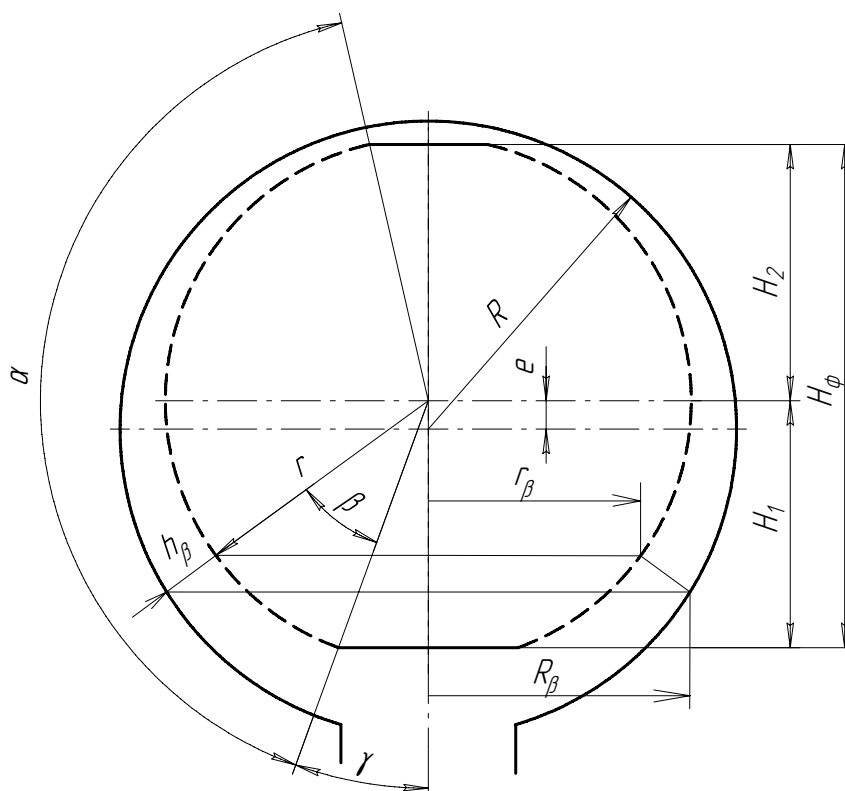


Рисунок 2 – Расчетная схема шарового очистителя

Для получения такого выражения необходимо знать принцип изменения расхода жидкости и площади поперечного сечения напорного канала в направлении движения потока жидкости, то есть от входа в напорный канал к его выходу, конкретные значения которых определяются углом β (см. рис. 2).

Из рисунка 2 очевидно, что фильтроэлемент представляет собой шаровой пояс, боковая поверхность которого равна

$$S_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)], \text{ м}^2 \quad (1)$$

где r – радиус фильтроэлемента, $м$;
 H_ϕ – высота фильтроэлемента, $м$;
 α – угол, определяющий длину напорного канала, $м$;
 γ – угол, определяющий начало напорного канала, $град$.
 При этом

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

Из (1) так же очевидно, что при изменении угла β от 0 до α , боковая поверхность фильтроэлемента будет изменяться по закону

$$S_\beta = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \beta)], м^2$$

а расход жидкости в напорном канале в том же направлении при постоянной скорости фильтрации – по закону

$$Q_\beta = Q_1 - Q_0 \cdot \frac{S_\beta}{S_\phi} = Q_1 - Q_0 \cdot \frac{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \beta)}{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)}, м^3/с.$$

где Q_1 - производительность очистителя по входу, $м^3/с$;
 Q_0 - производительность очистителя по фильтрату, $м^3/с$.

Сечение напорного канала представляет собой боковую поверхность усеченного конуса с радиусами оснований r_β и R_β и образующей h_β , площадь которой равна

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

тогда при $r_\beta = r \cdot \sin(\gamma + \beta)$ и $R_\beta = (r + h_\beta) \cdot \sin(\gamma + \beta)$ площадь сечения напорного канала в сечении, определяемом углом β , равна

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

Зная расход в текущем сечении напорного канала и площадь этого сечения, определяем продольную скорость жидкости в нем

$$v_{np} = \frac{Q_\beta}{F_\beta} = \frac{Q_1 - Q_0 \cdot \frac{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \beta)}{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)}}{\pi \cdot h_\beta \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot (2 \cdot r + h_\beta)}, м/с.$$

Так как продольное сечение шарового очистителя не отличается от поперечного сечения очистителя с круговыми цилиндрами [4], то и схемы расчета у них одинаковые. При определении продольной скорости в очистителе с круговыми цилиндрами, было установлено, что с обоснованными допущениями высота напорного канала изменяется от входа к выходу из него по зависимости

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

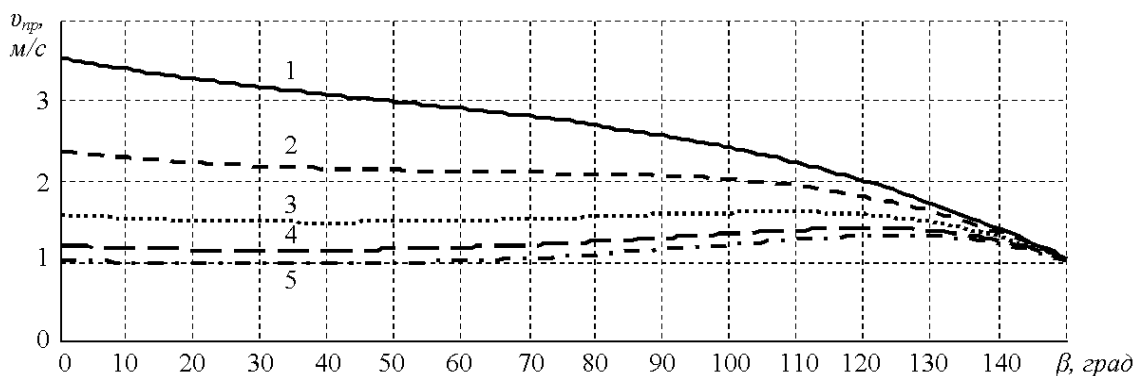
тогда закон изменения продольной скорости в напорном канале шарового очистителя принимает вид

$$v_{np} = \frac{Q_1 - Q_0 \cdot \frac{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \beta)}{\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)}}{\pi \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot [R - r + e \cdot \cos(\gamma + \beta)] \cdot [R + r + e \cdot \cos(\gamma + \beta)]}, \text{ м/с.}$$

Зная закон изменения продольной скорости в напорном канале и задаваясь конкретными значениями входящих в него величин, получим наглядную картину этого изменения в цифровом или графическом выражении. Сравнение результатов найденного изменения продольной скорости в исследуемом напорном канале проводим с результатами изменения продольной скорости в напорном канале очистителя с круговыми цилиндрами, изложенными в работе [4] и для наглядности представленные на рисунке 3.

Поэтому, основные исходные данные для данного расчета приняты такими же, как и для сравниваемого очистителя, а именно: радиус $r = 0,710 \text{ м}$, угол $\gamma = 20^{\circ}$, угол $\alpha = 150^{\circ}$, при этом минимально допустимая скорость на выходе из напорного канала, обычно называемая сливной скоростью, во всех случаях конкретного расчета принята одинаковой и примерно равной $1,0 \text{ м/с}$ при постоянной ширине выхода напорного канала $h_k = 0,020 \text{ м}$, как и в работе [4].

Исходя из этих условий и условия, что выход фильтрата в обоих случаях одинаков, получаем остальные исходные данные: количество сливаемой части жидкости $Q_2 = 57 \text{ м}^3/\text{час} = 0,0157 \text{ м}^3/\text{с}$, производительность по фильтрату – $Q_0 = 1700 \text{ м}^3/\text{час} = 0,4722 \text{ м}^3/\text{с}$ и производительность по входу – $Q_1 = 1756 \text{ м}^3/\text{час} = 0,4879 \text{ м}^3/\text{с}$.



1 – $R = 0,740 \text{ м}$, $e = 0,010 \text{ м}$; 2 – $R = 0,750 \text{ м}$, $e = 0,020 \text{ м}$;
 3 – $R = 0,765 \text{ м}$, $e = 0,035 \text{ м}$; 4 – $R = 0,780 \text{ м}$, $e = 0,050 \text{ м}$;
 5 – $R = 0,790 \text{ м}$, $e = 0,060 \text{ м}$.

Рисунок 3 – Скоростные режимы жидкости в напорном канале очистителя с круговыми цилиндрами

Для установления оптимальной скорости жидкости на входе, называемой обычно входной скоростью, в напорный канал изменялась высота входа в него за счет изменения радиуса R корпуса очистителя и эксцентриситета e . Такое изменение проводилось до тех пор, пока входная скорость становилась примерно равной минимально допустимой сливной скорости напорного канала. Такие расчеты проводились для вариантов, изложенных в таблице 1.

Таблица 1 - Исходных данных для расчета продольной скорости

	Варианты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$e, \text{ м}$	0,010	0,020	0,035	0,050	0,060	0,080	0,100	0,120	0,135
$R, \text{ м}$	0,740	0,750	0,765	0,780	0,790	0,809	0,829	0,848	0,863

Результаты расчета приведены на рисунках 4 и 5.

На рисунке 3 представлены варианты 1-5 очистителя с круговыми цилиндрами, максимальная входная скорость жидкости в напорный канал которого не превышает 4 м/с , а из рисунков 4 и 5 очевидно, что такой скорости отвечают варианты 3÷9 шарового очистителя. Поэтому, из-за столь высокой входной скорости жидкости, шаровой очиститель в вариантах 1 ($e = 0,010 \text{ м}$) и 2 ($e = 0,020 \text{ м}$) является высоко затратным по давлению жидкости и не заслуживает внимания.

Кривые, расположенные сверху вниз, соответствуют возрастающим в арифметической последовательности номерам вариантов таблицы 1 в том же направлении, то есть самая нижняя из них на рисунке 4

соответствует варианту 5 ($e = 0,060 \text{ м}$), а на рисунке 5 – варианту 9 ($e = 0,135 \text{ м}$).

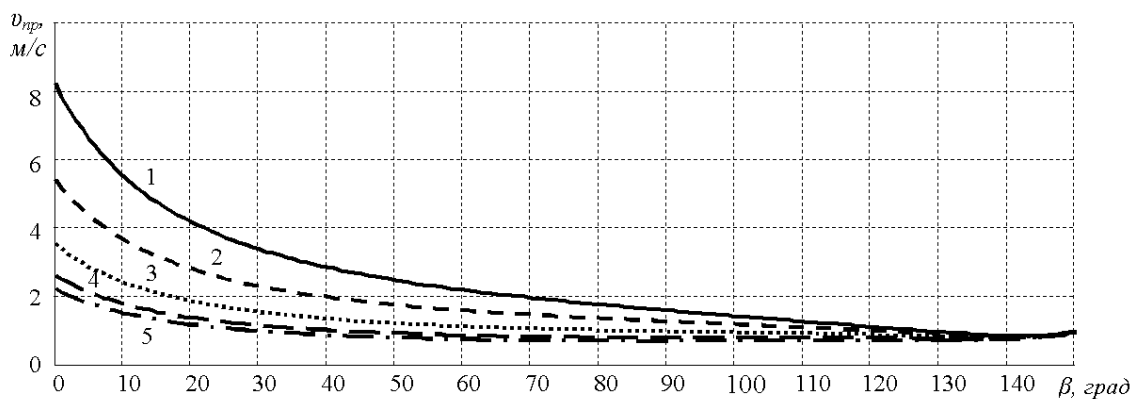


Рисунок 4 – Скоростные режимы жидкости в напорном канале шарового очистителя в вариантах 1÷5.

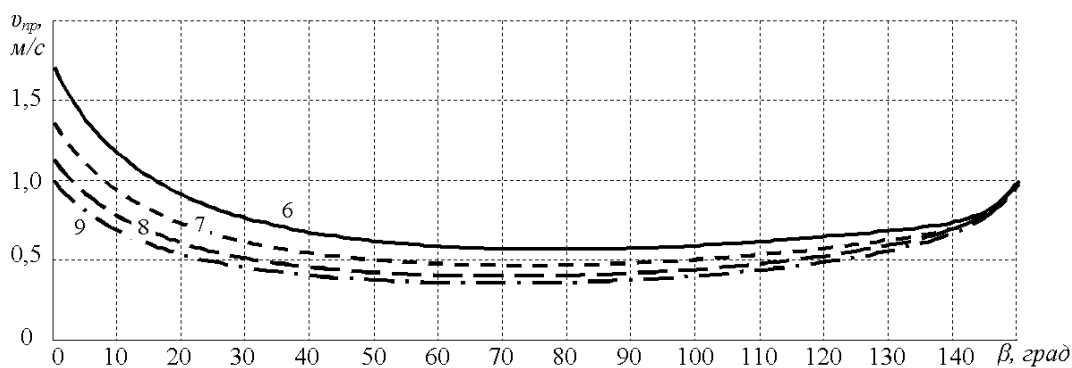


Рисунок 5 – Скоростные режимы жидкости в напорном канале шарового очистителя в вариантах 6÷9.

Из рисунка 5 видно, что характерной особенностью шарового очистителя во всех вариантах является уменьшение продольной скорости жидкости по длине напорного канала ниже значения допустимой сливной скорости максимум в 3 раза, в то время как в очистителе с круговыми цилиндрами такое имеет место максимум в 1,1 раза и то, только в варианте 5 (см. рис. 3), то есть когда входная и сливная скорости жидкости напорного канала одинаковые. Поэтому, если допустимое значение сливной скорости жидкости устанавливалось на стенде с очистителем другого типа, то при разработке очистителей жидкости, особенно шаровых, нужно допустимую сливную и входную скорости жидкости увеличить до значений, при которых полученная на длине напорного

канала минимальная скорость жидкости станет равной значению допустимой, предварительно определенной, скорости жидкости. Безусловно, со сравниваемым очистителем этот факт не в пользу исследуемого. Но он не является единственным в оценке качеств очистителей и если учесть и довольно положительные качества исследуемого очистителя, то потребность в исследуемом очистителе неизбежна. При этом решается вопрос, что важнее для конкретного случая очистки жидкости – возможность потери ее давления или расхода или вообще очистки ее при заданной крупности твердых загрязнений.

Оценивая самые нижние кривые графиков, представленных на рисунках 3 и 5, можно утверждать, что характер изменения скорости жидкости в первой половине напорного канала исследуемого очистителя заимствован у сравниваемого очистителя, а сравнивая же нижнюю кривую графика на рисунке 5 и кривую графика, представленного в работе [5], можно заключить, что характер изменения скорости жидкости во второй половине напорного канала исследуемого очистителя унаследован от очистителя с двумя параллельными дисками и сливом по центру одного из них. То есть, исследуемый очиститель унаследовал отрицательные признаки изменения продольной скорости жидкости в напорном канале от своих конкурентов. Устранить эти недостатки можно за счет выполнения боковой поверхности фильтроэлемента грушеобразной формы. Но при этом, более важным является то, что он унаследовал и положительные качества обоих конкурентов, что делает его более конкурентоспособным.

Таким образом, результаты исследования показывают, что скоростной режим жидкости в напорном канале шарового очистителя имеет характерные особенности, которые следует учитывать при разработке шаровых очистителей жидкости от твердых загрязнений. При этом не следует ориентироваться на допустимое значение сливной скорости жидкости из напорного канала, определяемой заранее опытным путем на стендах с очистителями другой конструкции для условий очистки конкретной жидкости, как это имеет место в очистителях типа «цилиндр в цилиндре». В этом случае следует предварительно расчетным путем определить минимальную продольную скорость на длине напорного канала шарового очистителя при заранее определенной минимально допустимой скорости жидкости, а затем входную и сливную скорости жидкости напорного канала увеличить до значений, обеспечивающих значение допустимой скорости жидкости на длине напорного канала. И в результате получить рабочий скоростной режим жидкости в напорном канале непрерывно работающего шарового очистителя, работоспособность которого контролируется значением сливной скорости.

Результаты данной работы будут полезны для технических работников и проектировщиков предприятий, занимающихся реализацией шаровых очистителей жидкости, студентов учебных заведений и других заинтересованных лиц.

Библиографический список

1. *Промышленное применение мембранных процессов [Электронный ресурс] / Режим доступа : [http:// www.membrane.msk. ru/books/?id_b=13](http://www.membrane.msk.ru/books/?id_b=13).*

2. *Мембранные методы очистки воды [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.sibai.ru/membrannyye-metodyi-ochistki-vodyi.html>.*

3. *ООО ПКП «Вектор». Описание и внедрение гидродинамических фильтров «цилиндр в цилиндре» [Электронный ресурс] / Режим доступа : [http:// www.pkrvector.ru/product/info.php](http://www.pkrvector.ru/product/info.php).*

4. *Чебан В.Г. О скоростном режиме жидкости в напорном полукольцевом канале очистителя с круговыми цилиндрами // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 35 – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – С.138-148.*

5. *Чебан В.Г. Повышение эффективности гидродинамической очистки жидкости в плоском напорном канале / В.Г. Чебан, С.С. Антоненко // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки», № 3. - Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – С.160-167.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.