

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

СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПОСОБНОСТИ ЖИДКОСТИ К ОЧИСТКЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Наведені аргументи про необхідність створення пересувного стенду для визначення здатності конкретної рідини до очищення гідродинамічним способом. Приведено приклад його реалізації.

Ключові слова: *поздовжня швидкість, вхідна швидкість, зливна швидкість, стенд, очисник.*

Приведены аргументы о потребности создания передвижного стенда для определения способности конкретной жидкости к очистке гидродинамическим способом. Представлен пример его реализации.

Ключевые слова: *продольная скорость, входная скорость, сливная скорость, стенд, очиститель.*

Постановка проблемы и анализ последних достижений. Проблема очистки технической воды на металлургических предприятиях стоит очень остро. В последние годы гидродинамическая очистка жидкостей от твердых загрязнений по числу внедрения средств ее реализации занимает лидирующее положение. Реализуется она в мембранных аппаратах [1] и гидродинамических очистителях [2], а конкретнее, в их напорных каналах. Однако, если в мембранных аппаратах использование поверхностей, образующих напорные каналы, ограничено плоской или цилиндрической поверхностями, то в неполнопоточных гидродинамических очистителях (ГДО) используются плоские [3], цилиндрические [4], шаровые [5], конические [6] поверхности или их комбинации [7]. Функция напорных каналов состоит в создании в выносных мембранных аппаратах или неполнопоточных гидродинамических очистителях принципа тангенциальной или с поперечными потоками очистки жидкости. В Украине она впервые получила название гидродинамической очистки.

В общих чертах, принцип гидродинамической очистки жидкости от твердых загрязнений в напорном канале представлен на рисунке 1.

Заключается он в формировании потока очищаемой жидкости в напорном канале очистителя таким образом, чтобы каждая частица ее загрязнений, например, частица диаметром d_o , находилась в поле дейст-

вия двух скоростей - продольной v_{np} и поперечной v_o . При этом, положение этой частицы над проницаемой поверхностью напорного канала будет зависеть от значения результирующего вектора этих скоростей, и, чем больше оно будет, тем большая вероятность того, что эта частица будет находиться над проницаемой поверхностью от начала напорного канала высотой h_n до его конца высотой h_k , то есть не попадет в фильтр, который со скоростью v_o проникает при этом через проницаемую поверхность.

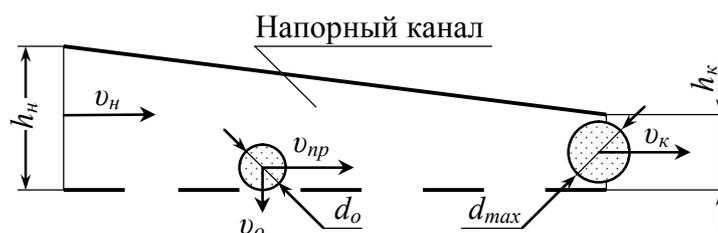


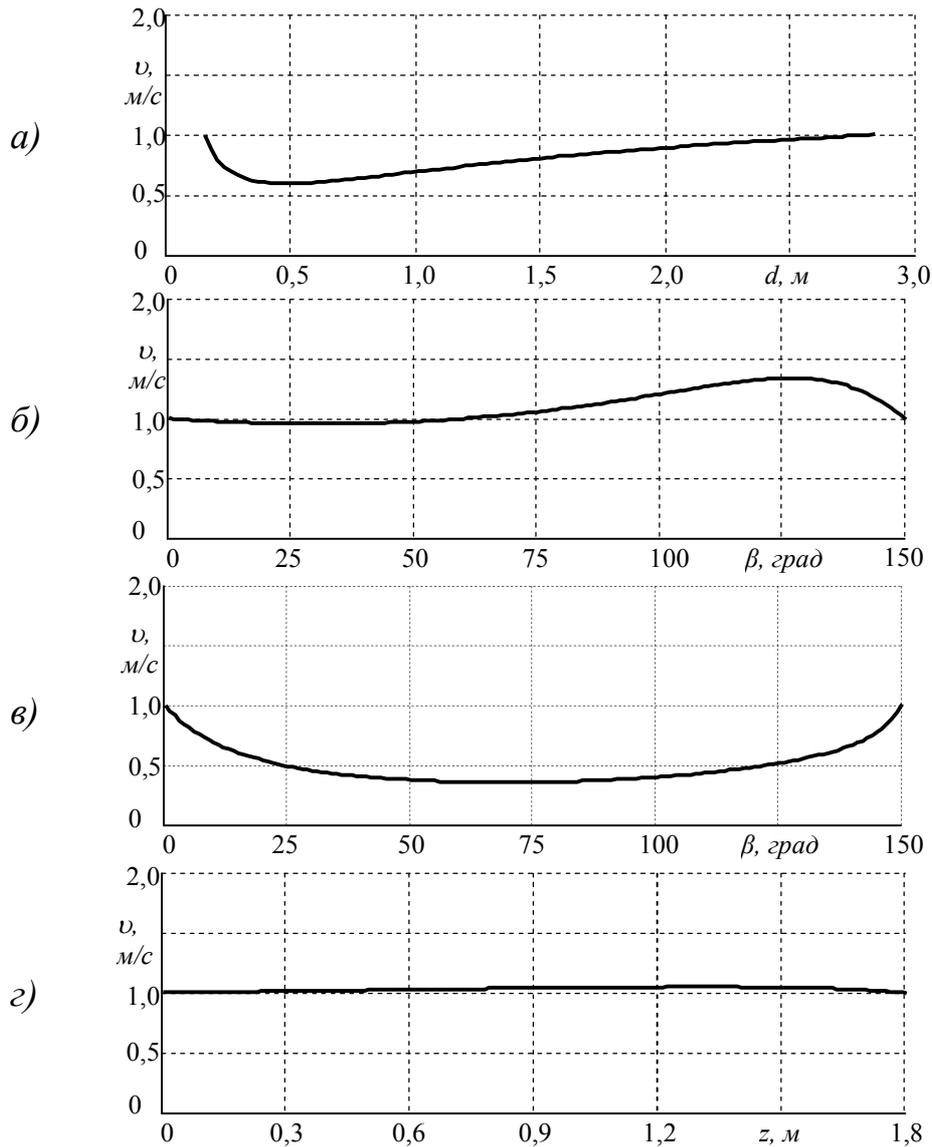
Рисунок 1 – Схема гидродинамической очистки

Косвенно это значение характеризуется отношением $i = v_{np}/v_o$. Однако, слишком большим оно не может быть по причине возрастания потерь части жидкости со сливом и перепада давления на очистителе. Поэтому, для каждой конкретной жидкости, подлежащей очистке, возникает потребность в определении оптимального значения этого отношения скоростей, при котором проницаемая поверхность не засорялась бы, а очиститель оставался бы продолжительное время работоспособным при допустимых потерях жидкости и давления.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка стенда для предварительной оценки конкретной жидкости на ее способность к очистке гидродинамическим способом, результаты которой будут использованы при разработке очистителя.

Результаты исследований. Выше отмеченное многообразие поверхностей, образующих напорные каналы ГДО, накладывает свои как положительные, так и отрицательные отпечатки на конструкции создаваемых при этом очистителей. Не отмечая конструктивные особенности каждого из них, нельзя не остановиться на их технологической особенности, связанной с упоминаемым выше отношением продольной и поперечной скоростей. Исследования показали, что характер поведения продольной скорости в напорном канале дискового очистителя, очистителя с круговыми цилиндрами, шарового очистителя и очистителя «цилиндр в конусе» столь разнообразен, что для оценки упоминаемого вы-

ше отношения скоростей необходимо прийти к общему его восприятию. Так как наиболее эффективной считается работа ГДО при постоянной продольной скорости, то как один из ее вариантов является вариант, когда скорость жидкости в начале напорного канала, называемая входной, равна скорости жидкости на выходе из него, называемой сливной. Скоростные режимы этих очистителей при указанных условиях приведены на рисунке. 2.



а) дисковый очиститель; б) очиститель с круговыми цилиндрами;
в) шаровой очиститель; г) очиститель типа «цилиндр в конусе»

Рисунок 2 – Скоростные режимы четырех ГДО

Известно, что входная и сливная скорости жидкости в напорном канале ГДО являются косвенно контролируемыми, чего нельзя сказать об промежуточных значениях ее продольной скорости. Однако из рисунка 2 очевидно, что как минимум одно из значений промежуточной скорости в демонстрируемых очистителях, кроме очистителя «цилиндр в конусе», имеет значение минимальной скорости меньшее, чем значение одной из контролируемых скоростей. И если считать, что оптимальной скоростью очистки является, например, сливная скорость, равная $v_k = 1,0 \text{ м/с}$, то с гарантией можно сказать, что три очистителя из четырех будут не работоспособны, так как их минимальная продольная скорость не приведена в соответствие со сливной скоростью, принятой за оптимально допустимую. Поэтому, с целью учета этого обстоятельства, необходимо входную и сливную скорости жидкости этих трех очистителей увеличить до значений, при которых минимальная продольная скорость жидкости в их напорных каналах была бы не меньше допустимой.

Следовательно, только очиститель «цилиндр в конусе» может в первом приближении претендовать на включение его в состав стенда для оценки жидкости на способность ее к гидродинамической очистке. Однако, учитывая имеющиеся в нем место с немного большим значением продольной скорости на довольно значительном участке длины напорного канала, можно с уверенностью отметить, что они отражают чисто индивидуальную картину процесса очистки, чего в других очистителях может и не быть. Кроме того, конструкция очистителя «цилиндр в конусе» не способна обеспечить простоту изменения его параметров, например ширины напорного канала, его длины и площади фильтроэлемента, необходимых для настройки стенда на очистку конкретно очищаемых жидкостей с разными вязкостями, концентрациями и размерами частиц загрязнений.

Если учесть, что истинную картину процесса очистки демонстрируют так называемые идеальные очистители, в которых продольная скорость носит постоянный характер, то другого выбора и быть не может. Наиболее простым из них и отвечающим условиям настройки испытательного стенда является очиститель с клинообразным напорным каналом, схема которого представлена на рисунке 3.

Стенд содержит ГДО, состоящий из коробчатого корпуса 1 со съемной крышкой 2 с плоскими внутренними поверхностями, входным 3, сливным 4 и выходным 5 патрубками. Крышка 2 соединена с корпусом 1 через регулировочные прокладки 6, выполненные разной толщины и при необходимости разной ширины, с помощью герметизирующей смазки. В корпусе 1 смонтирован сменный плоский фильтроэлемент 7 таким образом, что его плоская проницаемая поверхность, плоские по-

верхности крышки и прокладок 6 образуют клинообразный напорный канал 8 длиной L , постоянной шириной B , высотой в его начале h_n и в конце h_k , соединяющий подводной патрубком 3 со сливным патрубком 4 и через проницаемую поверхность и полость фильтроэлемента 7 с выходным патрубком 5. За ширину, начало и конец напорного канала 8 приняты параметры проницаемой поверхности фильтроэлемента 7. Входной патрубком 3 подсоединен к линии 9 очищаемой жидкости с дросселем 10 и расходомером 11, сливной патрубком 4 подсоединен к линии 12 сброса части очищаемой жидкости с дросселем 13 и расходомером 14, выходной патрубком 5 подсоединен к линии 15 фильтрата с дросселем 16 и расходомером 17. Линии 9 и 15 снабжены общим дифференциальным манометром 18, электрически подключенным к пульту управления стендом. В состав стенда входят так же комплект регулирующих прокладок 6, обеспечивающих при необходимости изменения параметров напорного канала 8, и комплект фильтроэлементов 7. В качестве проницаемых поверхностей в фильтроэлементах 7 приняты стандартные металлические сетки с разными по величине ячейками.

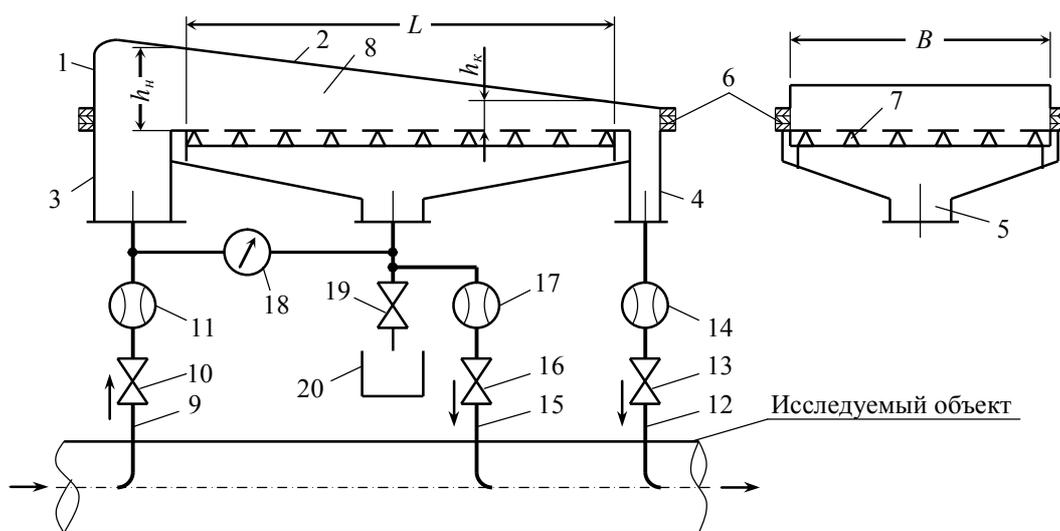


Рисунок 3 – Схема стенда для определения способности жидкости к гидродинамической очистке и его подключение

Стенд исполняется в передвижном варианте и может быть использован как в лабораторных условиях, так и в производственных условиях после его доставки и подключения к источнику загрязненной жидкости, подлежащей в перспективе очистке в ГДО. При необходимости стенд снабжают насосом, монтируемым в линию 9 очищаемой жидкости.

Параллельно стенду через байпас устанавливается устройство для определения степени загрязненности жидкости и максимального размера d_{max} частиц загрязнений в ней, без знания которого не возможна разработка конкретного ГДО. Максимальный размер частиц загрязнений в жидкости определяет ширину выхода из напорного канала 8 по известной зависимости $h_k = (1,15 \div 1,5) d_{max}$.

Для выбора из комплекта нужного фильтроэлемента кроме информации о степени загрязненности жидкости и максимальном диаметре загрязнений нужна информация о необходимой степени очистки жидкости. Такую информацию обычно предоставляет заказчик.

Известно, что абсолютно чистых жидкостей в природе не существует. Поэтому условно принято считать жидкость относительно чистой, если находящиеся в ней примеси не оказывают явно выраженного отрицательного влияния на ее предназначение. В данном случае важен максимально допустимый диаметр частиц твердых загрязнений в фильтрате, по значению которого определяют необходимый размер ячейки сетки фильтроэлемента. Так же известно, что при гидродинамической очистке размер диаметра ячейки сетки, разделяющей жидкость на фильтрат и концентрат, может быть в 3÷10 и более раз больше диаметра d_o частицы загрязнения в фильтрате. Поэтому при исследовании первым выбирают фильтроэлемент, отвечающий условию, что диаметр ячейки его сетки в 3-4 раза больше диаметра частицы загрязнений в фильтрате, а затем при необходимости эту зависимость изменяют. Она может быть обоснована потребностью уменьшения фильтрующей поверхности, снижения габаритов очистителя и его стоимости.

После выбора высоты h_k выхода из напорного канала, то есть количества нужных прокладок 6 из их комплекта, и нужного фильтроэлемента 7, стенд подвергают сборке. При этом напорный канал 8 очистителя стенда разрабатывают из условий, что наиболее эффективным из гидродинамических очистителей является тот, у которого в напорном канале продольная скорость жидкости постоянна, для чего высоту h_n входа в напорный канал определяют из зависимости

$$h_n = h_k \frac{Q}{Q_{сл}}, м$$

где Q - расход очищаемой жидкости, $м^3/с$;

$Q_{сл}$ - объем сливаемой части очищаемой жидкости, $м^3/с$.

Если учесть, что расход очищаемой жидкости в напорном канале изменяется по закону

$$Q_{np} = Q - (Q - Q_{сл}) \cdot \frac{L_{np}}{L}, \text{ м}^3/\text{с}$$

а площадь поперечного сечения напорного канала – по закону

$$F_{np} = h_{np} \cdot B = \left(h_n - \frac{h_n - h_k}{L} \cdot L_{np} \right) \cdot B, \text{ м}^2$$

то при $\frac{Q}{Q_{сл}} = n$ продольная скорость жидкости в напорном канале 8 очистителя изменяется по закону

$$v_{np} = \frac{Q - (Q - Q_{сл}) \cdot \frac{L_{np}}{L}}{h_k \cdot \left(n - \frac{n-1}{L} L_{np} \right) \cdot B}, \text{ м/с}$$

где L_{np} - расстояние от начала напорного канала до поперечного сечения, в котором определяется продольная скорость жидкости, м.

Испытательный стенд работает следующим образом.

В исходном положении все дроссели полностью закрыты. Вручную медленно и обязательно одновременно открывают дроссели 10 и 13 и после набора примерно 4-х кратного заданного слива жидкости, определяемого расходомером 14, открытие дросселя 13 прекращают и начинают одновременное с дросселем 10 медленное открытие дросселя 16 линии 15 фильтрата. В результате чего очищаемая жидкость из исследуемого объекта поступает в линию 9, а затем попадает во входной патрубке 3 корпуса очистителя стенда. Далее жидкость входит в напорный канал 8 и движется в нем вдоль проницаемой поверхности фильтроэлемента 7 к выходу из него. При этом, большая ее часть, определяемая расходомером 17, проникает через фильтроэлемент 7 и удаляется из очистителя через патрубок 5 и по линии 15 фильтрата, например, обратно в исследуемый объект. Другая часть жидкости, называемая смывной, покидает напорный канал 8 и затем через сливной патрубок 4 удаляется из очистителя в линию 12, по которой сбрасывается, например, обратно в исследуемый объект. После достижения нужного выхода фильтрата, определяемого расходомером 17, открытие дросселя 10 временно прекращают и по расходомеру 14 начинают уменьшение объема сливаемой жидкости путем медленного перекрытия дросселя 13. При этом, для удержания заданного выхода фильтрата постоянным, дроссель 10 постепенно прикрывают. После достижения нужного выхода фильтрата и

заданной максимально возможной продольной скорости жидкости в напорном канале регулировку стенда прекращают и на длительное время оставляют очиститель в работе при так называемом первом режиме очистки. Для выбора следующего режима очистки с помощью дросселей 10 и 13 продольную скорость жидкости в напорном канале ступенчато снижают, оставляя при этом неизменным выход фильтрата по расходомеру 17. Таким образом исследуют конкретную жидкость при нескольких режимах ее продольной скорости, при которых постоянным остается выход фильтрата. Последним режимом исследования считается тот, при котором сетка фильтроэлемента только начинает засоряться, о чем свидетельствуют визуальное показание дифференциального манометра 18 и/или звуковая и/или световая сигнализация системы управления стендом по его сигналу. Режимы очистки жидкости, предшествующие последнему режиму, берут за основу для дальнейшего анализа полученных результатов, в ходе которого проверяют степень очистки жидкости и максимальную крупность частиц загрязнений в фильтрате. Для получения такой информации при каждом скоростном режиме жидкости вручную делают отбор проб фильтрата из линии 15 с помощью крана 19 и мерной емкости 20. При этом кран 19 монтируют в линию 15 таким образом, чтобы обеспечивалась максимально возможная представительность отбираемой пробы. Если результаты анализа проб положительны, то делаются соответствующие выводы и на этом исследовании объекта прекращаются.

Если же оказалось, что размер частиц загрязнений в фильтрате превышает допустимый на всех режимах или потери жидкости слишком велики, то исследования объекта продолжают. Для чего, фильтроэлемент 7 заменяют другим, у которого размер ячейки сетки меньше. Задаются другим постоянным выходом фильтрата при меньшей скорости фильтрации и испытания повторяют до получения нужных результатов.

Для разработки очистителя результаты исследования конкретной жидкости должны содержать как минимум следующие данные:

- тип жидкости;
- максимальный размер частиц загрязнений;
- минимально допустимая продольная скорость жидкости в напорном канале;
- скорость фильтрации жидкости, имевшая место при получении минимально допустимой ее продольной скорости;
- высота выхода из напорного канала.

Результаты испытаний жидкости являются основой для выбора типа ГДО и последующей его разработки. Выбор типа очистителя сводится к оценке потерь жидкости и ее давления, габаритов и стоимости очистителя и возможностей его изготовления. Известно, что удовлетво-

рить все эти требования в полной мере в одном очистителе не возможно, поэтому оценку делают всех известных ГДО при их работе по данным, полученным после испытаний конкретной жидкости, в результате которой выбирают тип очистителя, наиболее отвечающий требованиям заказчика и возможностям поставщика. С этой целью определяют теоретические скоростные режимы жидкости в напорных каналах анализируемых ГДО при одинаковых их входной и сливной скоростях жидкости, равных значению постоянной продольной скорости жидкости, полученной после ее стендовых испытаний.

Для наглядности, если условно принять, что в результате испытаний было установлено, что минимально допустимое значение продольной скорости жидкости равно $1,0 \text{ м/с}$, то скоростные режимы жидкости четырех типов ГДО при входной и сливной скоростях $v_k=v_n=1,0 \text{ м/с}$ и выходе фильтрата $Q_o=1700 \text{ м}^3/\text{час}$ имеют вид, представленный на рисунке 2. Очевидно, что три из очистителей при этом являются неработоспособными по причине снижения допустимой продольной скорости жидкости по длине напорного канала. Восстановление их работоспособности возможно только за счет увеличения входной и сливной скоростей жидкости до значений, при которых минимальная продольная скорость в напорном канале станет равной минимально допустимой. При этом очистители будут иметь технические показатели, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Технические показатели ГДО

Тип очистителя	$Q, \text{ м}^3/\text{час}$	$Q_{сл}, \%$	$v_n, \text{ м/с}$	$v_k, \text{ м/с}$	Ф/элемент		Корпус	
					$D_{ф}, \text{ м}$	$H_{ф}, \text{ м}$	$D, \text{ м}$	$H, \text{ м}$
Д	1757	3,2	1,680		2,836	0,500	3,050	1,500
Ц	1972	13,8	1,050		1,334	1,800	1,508	2,800
Ш	1863	8,8	2,830		1,444	1,390	1,735	2,735
Ц+К	1956	13,1	1,000		1,114	1,800	1,390	2,800

где Д - дисковый очиститель; Ц - очиститель с круговыми цилиндрами; Ш – шаровой очиститель; Ц+К – очиститель типа «цилиндр в конусе».

Высота всех рассматриваемых ГДО жидкости принята из условий, что они высокопроизводительны и для механизированной замены их фильтроэлементов выполнены вертикального исполнения, а их подводящие, отводящие и сливные патрубки расположены в нижней части корпуса, а их взаимное исполнение принято равным $1,0 \text{ м}$.

Из таблицы 1 видно, что из всех очистителей дисковый очиститель имеет наименьшие потери жидкости со сливом, равные всего 3,2 %, но он, кроме шарового очистителя, более затратный по давлению жидкости и имеет наибольший диаметр фильтроэлемента при самой низкой высоте корпуса. Это свидетельствует о том, что дисковые очистители могут быть рационально использованы при меньшей производительности по входу, примерно до $1000 \div 1200 \text{ м}^3/\text{час}$.

Из трех последних очистителей выделяется шаровой, имеющий меньшие потери жидкости со сливом, но довольно высокие потери давления.

По показателям очиститель с круговыми цилиндрами и очиститель типа «цилиндр в конусе» мало чем отличаются друг от друга. В данном конкретном случае они характеризуются самыми высокими потерями смывной жидкости (более 13 %). Однако в тоже время обращает на себя внимание главное преимущество очистителя типа «цилиндр в конусе», которое заключается в том, что он имеет самую высокую равномерность продольной скорости в напорном канале при самом низком ее значении. Поэтому, из двух сравниваемых, он будет более эффективным не только при очистке жидкости от твердых загрязнений, но и при фракционном разделении суспензий.

Кроме того, следует отметить, что первые три очистителя отличаются более высокой гибкостью по выбору жидкости с более крупными по размеру частицами загрязнений. Но наличие двух напорных каналов в очистителе с круговыми цилиндрами, делает его в этом плане менее конкурентным, что видно из завышенных потерь смывной жидкости на регенерацию фильтроэлемента примерно в 1,6÷4,3 раза выше в сравнении с дисковым и шаровым очистителями. Но если учесть возможности усовершенствования ГДО типа «цилиндр в конусе», изложенные в работе [7], то и он доступен к очистке жидкости с крупными загрязнениями и его преимущества над другими ГДО становятся неоспоримыми.

По мнению разработчиков ГДО информация для их разработки, получаемая с помощью предложенного испытательного стенда, будет более достоверной и полной, что обеспечит более эффективную и надежную работу гидродинамических очистителей.

Результаты данной работы будут полезны инженерно-техническим работникам предприятий и проектных организаций, студентам учебных заведений и другим заинтересованным лицам.

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

3. Пат. 54061 Україна, МПК⁹ B01D37/00, 61/14. Спосіб розділення рідини на фільтрат і концентрат / Чебан В.Г. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. – №и201004969 ; заявл. 26.04.10 ; опубл. 25.10.10. Бюл. № 20. – 4с.

4. Финкельштейн З.Л. Опыт применения фильтров сверхвысокой производительности для очистки промышленных стоков / З.Л. Финкельштейн, Л.З. Финкельштейн // Вестник МАНЭБ. Т. 8, № 5 (65). – С–Пб, 2003. – С. 94-97.

5.Чебан В.Г. Преимущества, недостатки и перспективы самоочищающихся очистителей жидкости // Сборник научных трудов ДонГТУ. - Вып. 30. – Алчевск: ДонГТУ, 2010. – С.177-183.

6. Пат. 4427547 США, B01D25/02, 1984. [Электронный ресурс] / Режим доступа : [http:// www.google.com/patents](http://www.google.com/patents).

7. Пат. 54092 Україна, МПК⁹ B01D29/00, 35/30.Гідродинамічний фільтр / Чебан В.Г. ; заявник і патентовласник ДонДТУ. – №и201005308 ; заявл. 30.04.10 ; опубл. 25.10.10. Бюл. № 20. – 5с.

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