

УДК 628.16.06

МЕТОД РАСЧЕТА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОЧИСТИТЕЛЯ ТИПА “ЦИЛИНДР В ЦИЛИНДРЕ”

В. Г. Чебан

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск

e-mail: edvik2010@yandex.ua

Представлен метод расчета самоочищающегося гидродинамического очистителя типа “цилиндр в цилиндре”, который основан на многолетнем опыте проектирования действующих в отечественной и зарубежной промышленности гидродинамических очистителей жидкостей от твердых загрязнений в потоке.

Ключевые слова: гидродинамический очиститель, “цилиндр в цилиндре”, техническая вода, твердые загрязнения.

Введение

Решение проблемы очистки технической воды, рабочих и смазочных жидкостей, керосина, бензина, дизтоплива, эмульсий и других маловязких жидкостей от механических загрязнений под силу гидродинамическим очистителям типа “цилиндр в цилиндре”, содержащим неподвижный фильтроэлемент с подачей жидкости поперек него. Данные очистители относятся к средствам очистки непрерывного потока загрязненной жидкости и являются неполнопоточными, то есть в процессе очистки очищается только большая часть потока. Остальная ее часть осуществляется в ходе очистки непрерывную регенерацию проницаемой поверхности фильтроэлемента без участия в этом каких-либо дополнительных средств. Поэтому данные очистители также называются еще и самоочищающимися.

В настоящее время известно два типа таких очистителей. Они состоят из корпуса и расположенного в нем фильтроэлемента, цилиндрические поверхности которых образуют два симметрично расположенных относительно продольной оси очистителя серповидных канала. При этом в первом типе очистителей канал образован круговой цилиндрической поверхностью корпуса и грушеобразной боковой поверхностью фильтроэлемента [1], а во втором - круговыми цилиндрическими поверхностями корпуса и фильтроэлемента [2].

Постановка задачи

Гидродинамический очиститель с грушеобразным фильтроэлементом достаточно подробно описан в работе [1] для условий очистки технической воды, где отмечены его преимущества - низкие потери давления на очистители и постоянство степени очистки по всей проницаемой поверхности фильтроэлемента. Однако, грушеобразная форма боковой поверхности фильтроэлемента резко усложняет его конструкцию, что повлечет за собой увеличение продолжительности изготовления, повышение расхода металла и стоимости. Опыт массового внедрения очистителей второго типа показал, что при очистке технической воды потери давления столь незначительны, что при давлениях в сети более 0,8 МПа не всегда даже регистрируются контрольными приборами. В преобладающем же большинстве случаев их внедрения потери давления не превышают 0,03 МПа [3, 4]. Поэтому в таком случае отпадает целесообразность массового применения очистителей первого типа. Такое же положение будет иметь место и при очистке всех других маловязких жидкостей с оптимальной загрязненностью. В тоже время следует признать, что, например, при гранулометрическом разделении суспензий предпочтение следует отдавать очистителям первого типа.

Поэтому понятен преобладающий интерес потребителей к очистителям второго типа. Но серийный выпуск таких очистителей пока не налажен, а имеющаяся ныне информация о них довольно скудная, носит в основном рекламный характер и дает только общее представление о них, что сдерживает их массовую реализацию в производстве.

В связи с этим целью данной работы - в какой-то мере заполнить имеющийся пробел в данном вопросе и дать возможность заинтересованным потребителям более детально ознакомиться с очистителями второго типа, а полученные знания использовать для расчета нужного очистителя и изготовления его собственными силами.

Результаты исследований

На рис. 1 представлен гидродинамический очиститель для очистки непрерывного потока загрязненной жидкости, который содержит цилиндрический корпус 1 с эксцентрично расположенным фильтроэлементом, входной патрубком 2 (вход), присоединяемый к подводящему трубопроводу, выходной патрубком 3 (выход) – к питающему потребителей очищенной водой трубопроводу, сливной патрубком 4 (слив) - к канализационному или циркуляционному трубопроводам, а также может быть соединен с потребителями, не нуждающимися в чистой жидкости.

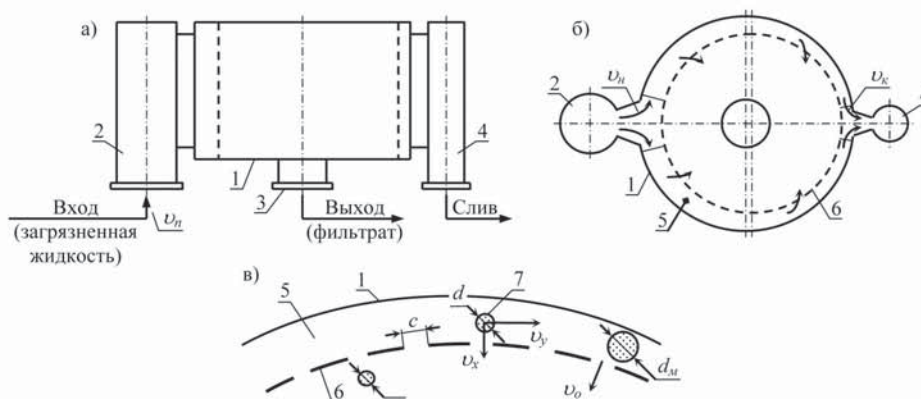


Рис. 1. Гидродинамический очиститель типа “цилиндр в цилиндре”: а) – вид сбоку; б) – поперечное сечение; в) – схема гидродинамической очистки.

Вход 2 и слив 4 очистителя сообщаются между собой с помощью двух серповидных каналов 5, образованных наружной проницаемой поверхностью фильтроэлемента 6 и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса очистителя.

Работа очистителя основана на реализации способа очистки жидкостей от механических примесей, детально описанного в работе [5]. Суть способа состоит в том, что в очистителе вокруг сетки 6 формируется движение загрязненной жидкости двумя встречными потоками таким образом, что скорость частичек 7 загрязнений всегда должна быть такой, при которой ее составляющая v_y больше составляющей v_x (v_o). При этом v_y должна быть настолько больше v_x , чтобы обеспечить безусловное их продвижение от входа до выхода из очистителя только вокруг сетки 6 и не дать им возможности проникнуть через ее ячейки размером c , даже если он больше размера d частички 7 загрязнений. Поэтому, частички 7 загрязнений вместе со смывающей частью загрязненной жидкости движутся к сливу 4 и покидают очиститель, не загрязняя сетку 6. Формирование таких потоков осуществляется с учетом скорости v_n загрязненной жидкости в подводящем трубопроводе, при этом скорость v_n в начале серповидного канала больше скорости v_x в конце его или они одинаковы.

Очевидно, что чем большая часть потока загрязненной жидкости используется для регенерации сетки, тем выше степень ее регенерации и эффективность очистки жидкости. Поэтому, чтобы избежать лишних потерь жидкости и не навредить процессу регенерации определяются рациональные режимы процесса очистки жидкости для каждого случая.

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 отрицательно на работу оборудования. В связи с этим очистка ведется до заранее определенной допустимой величины d_o частичек загрязнения.



Поток части загрязненной жидкости, направляемой на непрерывную регенерацию сетки, зависит как от максимального размера d_m частиц механических примесей в исходной жидкости, т.е. на входе в очиститель, так и от допустимого их размера d_o в очищенной жидкости, т.е. в фильтрате. Чем больше размер d_m и меньше размер d_o , тем больше потери жидкости со сливом, габариты очистителя и его стоимость.

Учитывая сказанное выше, при разработке очистителя не следует увлекаться необоснованно высокой степенью очистки конкретной жидкости и, в то же время, не следует, даже неосознанно, уменьшать или увеличивать диаметр d_m частиц загрязнений по сравнению с реальным их размером в загрязненной жидкости. Чем точнее эти и другие данные будут отражать состояние конкретной очищаемой жидкости, тем выше будут показатели работы очистителя.

В общем случае при одноступенчатой схеме очистки, потери жидкости со сливом составляют примерно 6÷20% от очищаемого ее объема. Визуально, это большие потери, но после реализации способа они в полной мере компенсируются преимуществами предлагаемых очистителей [3, 4].

Известно, что каждое изделие характеризуется его техническими характеристиками. В данном очистителе основными параметрами являются:

- производительность по входу, $Q, м^3/с$,
- производительность по выходу, $Q_o, м^3/с$,
- количество сливаемой жидкости, $Q_{сл}, м^3/с$,
- исходная максимальная крупность загрязнений, не более $d_m, мм$,
- допустимая крупность загрязнений в очищенной жидкости, не более $d_o, мм$,
- рабочее давление, $МПа$, не более,
- перепад давления на очистителе, $МПа$, не более,
- габаритные размеры, $мм$,
- масса, $кг$.

Три последних параметра являются определяемыми, а остальные, как технологические, задаются в исходных требованиях на разработку изделия, что не дает достаточной информации о технической сущности путей их достижения. Специалисту более показательными в конкретном случае, например, при очистки технической воды, являются следующие технологические показатели:

1. Скорость воды в подводящем трубопроводе

$$v_n = \frac{Q}{0,785 \cdot D_n^2} = 1,5 \div 3,5, м/с, \tag{1}$$

где D_n - диаметр подводящего трубопровода, $м$.

2 Скорость воды на входе в серповидный канал

$$v_n = \frac{Q_n}{S_n} = (1 \div 1,6) \cdot v_n, м/с, \tag{2}$$

где $Q_n = \frac{Q}{2}$ - расход воды на входе в серповидный канал, $м^3/с$;

$S_n = H_n \cdot h_n$ - площадь сечения потока на входе в серповидный канал, $м^2$;

H_n и h_n - высота и ширина серповидного канала на входе, соответственно, $м$.

3. Скорость воды на выходе из серповидного канала

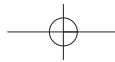
$$v_k = \frac{Q_k}{S_k} = (0,2 \div 0,6) \cdot v_n, м/с, \tag{3}$$

где $Q_k = \frac{Q_{сл}}{2}$ - расход воды на выходе из серповидного канала, $м^3/с$;

$S_k = H_k \cdot h_k$ - площадь сечения потока на выходе из серповидного канала, $м^2$;

H_k и h_k - высота и ширина серповидного канала на выходе, соответственно, $м$.





4. Скорость фильтрации воды

$$v_o = \frac{Q_o}{S_o} = 0,05 \div 0,3 \text{ м/с}, \quad (v_o < 0,3 \cdot v_k) \quad (4)$$

где $S_o = S \cdot k_o$ - площадь живого сечения фильтроэлемента, м^2 ;

$S = L \cdot H_p$ - площадь сетки по всей окружности фильтроэлемента, м^2 ;

$L = L_p + L_n$ - длина сетки, охватывающей наружную поверхность фильтроэлемента, м ;

$L_p = \pi \cdot D_\phi - L_n$ - длина рабочей (проницаемой) части сетки фильтроэлемента, м ;

D_ϕ - диаметр фильтроэлемента, м ;

L_n - длина непроницаемой части сетки фильтроэлемента, м ;

$H_p = H - (0,02 \div 0,03)$ - высота рабочей (проницаемой) части сетки, м ;

H - стандартная ширина полотна сетки, м ;

$k_o = k_c \cdot k_k$ - коэффициент живого сечения фильтроэлемента;

k_c и k_k - коэффициент живого сечения сетки и корпуса фильтроэлемента, соответственно;

Особенно важно при расчете знать контрольные параметры:

1. Параметр контроля работоспособности очистителя по входу в серповидный канал

$$I_n = \frac{v_n}{v_o}, \quad (15 < I_n < 50). \quad (5)$$

2. Параметр контроля работоспособности очистителя по выходу из серповидного канала

$$I_k = \frac{v_k}{v_o}, \quad (3 < I_k < 15). \quad (6)$$

Из представленных выше соображений и разработан метод расчета гидродинамического очистителя. Расчетная схема очистителя представлена на рис. 2.

Метод предусматривает расчет фильтроэлемента, выполненного в виде перфорированного кругового цилиндра [6] определенной высоты, охватывающей его боковую поверхность металлической сетки, закрепляемой по краям полотна к непроницаемой части цилиндра с помощью хомутов. Следовательно, цилиндрическая поверхность фильтроэлемента по окружности состоит из проницаемой поверхности, определяемой углом $2 \cdot \alpha$, и непроницаемой поверхности, определяемой углом $(360^\circ - 2 \cdot \alpha)$, которая обеспечивает оптимальный вход загрязненной жидкости в серповидные каналы и выход ее из них, о чем более подробно изложено в работах [5, 6].

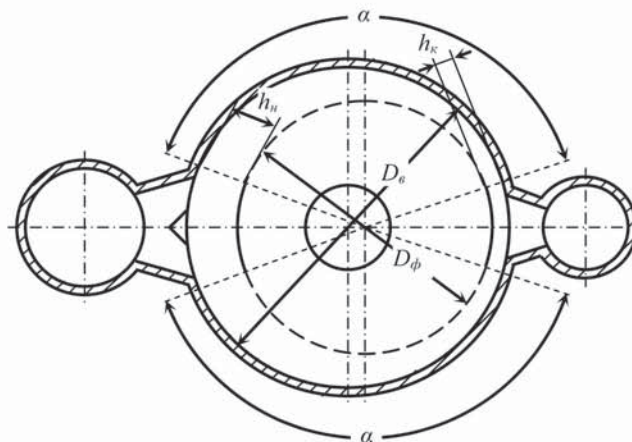


Рис. 2. Расчетная схема гидродинамического очистителя.



Для установления размеров проницаемой части поверхности фильтроэлемента определяется ее живое сечение. Оно должно быть достаточным, чтобы через него могло проникнуть заданное количество жидкости Q_o с заданной скоростью v_o

$$S_o = \frac{Q_o}{v_o} = \frac{Q_o}{0,05 \div 0,3}, \text{ м}^2. \quad (7)$$

Коэффициент живого сечения k_o фильтроэлемента в свою очередь определяется коэффициентом живого сечения k_k корпуса фильтроэлемента и коэффициентом живого сечения k_c охватывающей его стандартной сетки:

$$k_o = k_c \cdot k_k. \quad (8)$$

Опыт проектирования корпусов фильтроэлементов показывает, что коэффициент их живого сечения $k_k = 0,4 \div 0,85$. Наибольшее значение этого коэффициента имеет живое сечение корпуса фильтроэлемента, специально разработанного для очистителей данного типа с высокой производительностью [6]. Необходимо отметить, что при выборе сетки, наряду с коэффициентом ее живого сечения k_c , особое внимание следует уделять размеру c ячейки сетки. Это связано с особенностью способа очистки жидкостей от механических примесей, как в предлагаемом, так и во всех неполнопоточных гидродинамических очистителях, при котором допускается значение $c = (2 \div 4) \cdot d_o$. Отсюда следует, что размер c ячейки сетки всегда (кроме особых случаев) больше максимально допустимого значения диаметра d_o загрязнений в очищенной жидкости (фильтрате), значение которого задается в исходных требованиях или регламентируется нормативными актами. Указанная особенность способа резко увеличивает живое сечение сетки, снижает возможность ее засорения, уменьшает гидравлическое сопротивление и габариты, повышает надежность работы очистителя и увеличивает его производительность.

Только в особых случаях, когда в ходе очистки категорически не допускается попадание даже ничтожно малого количества загрязнений в фильтрат, принимают $c < d_o$. Это вызвано тем, что при запуске очистителей данного типа в работу и до установления стабильного рабочего режима очистки жидкости при $c > d_o$ в очищенную жидкость могут попасть загрязнения с размерами, превышающими допустимые.

После расчета S_o и k_o определяется общая площадь боковой поверхности фильтроэлемента (сетки):

$$S = \frac{S_o}{k_o} = L \cdot H_p, \text{ м}^2. \quad (9)$$

Зная площадь S боковой поверхности фильтроэлемента, можно определить и его диаметр. Так как эта поверхность имеет форму кругового цилиндра диаметром D_ϕ , длина этой поверхности равна $L = \pi \cdot D_\phi$. Практика проектирования многочисленного ряда очистителей показала, что с целью упрощения расчета по определению диаметра фильтроэлемента целесообразно воспользоваться условием, приведенным ниже:

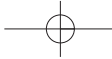
$$\frac{D_\phi}{H_p} = q = 1,2 \div 2,2. \quad (10)$$

После подстановки (2) в выражение (1) площадь боковой поверхности фильтроэлемента будет равна:

$$S = \pi \cdot D_\phi \cdot \frac{D_\phi}{q} = \pi \cdot \frac{D_\phi^2}{q}, \text{ м}^2. \quad (11)$$

Определим диаметр фильтроэлемента из выражения (3) и высоту рабочей части сетки:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{q \cdot S}{\pi}}, \text{ м} \quad \text{и} \quad H_p = \frac{D_\phi}{q}, \text{ м}. \quad (12)$$



Очевидно, что нахождение диаметра D_ϕ и рабочей высоты H_p должно выполняться методом приближенного расчета, когда при задаваемых значениях q из рекомендуемого предела от 1,2 до 2,2 определяется ряд значений D_ϕ и H_p . Из рассчитанного ряда значений высоты рабочей части сетки H_p из, например, [7] выбирают то ее значение, которое ближе к значению ширины ее полотна, лежащей в пределах от 1000 до 1300 мм (использование сеток другой ширины полотна требует согласования с заводом изготовителем сеток или требует разреза стандартной сетки). При этом необходимо учитывать, что сетка выпускается с отрицательным допуском по ширине полотна ΔH , а бока ее полотна (примерно $20 \div 30$ мм) будут использованы для закрепления сетки хомутами на непроницаемой части боковой поверхности корпуса фильтроэлемента. Сказанное вместе с расчетной проницаемой частью сетки высотой H_p составляют потребную для ее заказа высоту H , равную:

$$H = H_p + \Delta H + (0,02 \div 0,03), \text{ м.} \quad (13)$$

Отсюда:
$$H_p = H - \Delta H - (0,02 \div 0,03), \text{ м.} \quad (14)$$

Если рассчитанная высота сетки резко отличается от стандартной высоты, то сетку обрезают с учетом оговариваемых выше допусков. При высоких производительностях очистителей конструктивно можно выделить несколько вариантов исполнения их фильтроэлементов в зависимости от ширины полотна серийно выпускаемых сеток, но лучшими из них являются те, которые не предусматривают продольное разрезание полотна сетки. Если рассчитанная высота сетки значительно больше стандартной, то сетку на поверхности корпуса фильтроэлемента располагают в два яруса по его высоте (двухъярусный фильтроэлемент).

Определением рабочей высоты H_p фильтрующего элемента (сетки) заканчивается расчет его корпуса и начинается расчет корпуса очистителя.

Так как высота рабочей части фильтроэлемента представляет собой высоту серповидного зазора, которая является постоянной по всей его длине, то очевидно, что:

$$H_p = H_n = H_k, \quad (15)$$

где H_n и H_k – высота серповидного канала на входе и выходе, соответственно, м.

Из выражения $v_n = (1 \div 1,6) \cdot v_n$ принимают скорость загрязненной воды на входе в канал и при заданном значении ее расхода $Q_n = \frac{Q}{2}$ определяют площадь входного сечения серповидного канала:

$$S_n = \frac{Q_n}{v_n}, \text{ м}^2. \quad (16)$$

Зная площадь S_n и высоту H_n канала, определяют ширину входного сечения:

$$h_n = \frac{S_n}{H_n}, \text{ м.} \quad (17)$$

Таким же образом, из выражения $v_k = (0,2 \div 0,6) \cdot v_n$ принимают скорость загрязненной воды на выходе из канала и по известным $Q_k = \frac{Q_{сл}}{2}$ и H_k определяют площадь выходного сечения серповидного канала:

$$S_k = \frac{Q_k}{v_k}, \text{ м}^2. \quad (18)$$

Зная площадь S_k и высоту H_k канала, определяют ширину выходного сечения:

$$h_k = \frac{S_k}{H_k}, \text{ м.} \quad (19)$$

Полученное значение h_k необходимо соизмерить с максимальным размером загрязнений. Согласно рекомендациям, изложенным в работе [1] $h_k = (1,15 \div 1,5) \cdot d_m$.



Анализ многочисленных расчетов очистителей данного типа показывает, что значение ширины h_n входа в серповидный канал, расположенного под углом менее 20° к продольной оси корпуса очистителя, незначительно отличается от значения ширины зазора по этой оси со стороны входа корпуса очистителя. Значение же ширины h_k выхода из него, расположенного под углом менее 10° к той же оси, еще более незначительно отличаются от значения ширины зазора по этой же оси со стороны выхода корпуса очистителя. Поэтому, с допустимой погрешностью можно принять, что для определенного выше диаметра фильтроэлемента D_ϕ внутренний диаметр корпуса очистителя будет равен:

$$D_e = D_\phi + h_n + h_k, \text{ м.} \quad (20)$$

С целью стандартизации элементов, сравниваем найденное значение D_e с размерами внутренних диаметров серийно выпускаемых труб и принимаем его равным близлежащему значению диаметра трубы по действующему стандарту. Если они значительно отличаются друг от друга, то корректируем диаметр D_ϕ фильтроэлемента, а при необходимости или возможности и размеры h_n и h_k серповидных каналов.

При использовании в дальнейшем ходе расчета конструктивных схем исполнения, значений размеров стандартных элементов, ряда технологических и конструктивных рекомендаций и других соображений, завершение расчета не представляет труда.

По окончании расчета и полного определения конструкции разрабатываемого очистителя, настоятельно рекомендуется проведение контрольного расчета по завершающим параметрам. Он сводится к определению контрольных параметров I_n и I_k входа в серповидный канал и выхода из него. Параметры должны находиться в пределах, значения которых указаны выше или определены опытным путем для конкретной очищаемой жидкости. В принципе, это является обратным расчетом очистителя, но с уже более полным его представлением.

Если результаты контрольного расчета удовлетворительны, то расчет на этом заканчивается, а при наличии каких-либо разногласий все начинается с начала: изменяется скорость фильтрации, высота каналов, диаметр фильтроэлемента и т.д. до получения необходимых результатов.

Выводы

Нынешнее экологическое состояние открытых водоемов, являющихся основным источником оборотной технической воды для промышленных предприятий, требует наличия более совершенных способов очистки воды от загрязнений и средств для их реализации. Имеющаяся информация свидетельствует о том, что одним из них являются гидродинамические очистители, в том числе типа “цилиндр в цилиндре”, успешно используемые с 2001 года на отечественных и зарубежных предприятиях для очистки значительных потоков. Однако, в основном эта информация носит рекламный характер, а отсутствие более подробной информации об этих очистителях сдерживает возможность их реализации.

Представленный выше метод расчета дает возможность расширить объем информации о рассматриваемых очистителях, будет полезен инженерно-техническим работникам предприятий и проектных институтов, а также частным предпринимателям.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ГІДРОДИНАМІЧНОГО ОЧИЩУВАЧА ТИПУ “ЦИЛІНДР В ЦИЛІНДРІ”

В. Г. Чебан

Донбаський державний технічний університет, м. Алчевськ
e-mail: edvik2010@yandex.ua

Представлений метод розрахунку самоочисного гідродинамічного очищувача типу “циліндр в циліндрі”, що базується на тривалому досвіді проектування діючих у вітчизняній і зарубіжній промисловості гідродинамічних очищувачів рідин від твердих забруднень в потоці.

Ключові слова: гідродинамічний очищувач, “циліндр в циліндрі”, технічна вода, тверді забруднення.

METHOD OF CALCULATION OF SELF-CLEANING HYDRODYNAMIC FILTER OF TYPE “CYLINDER IN A CYLINDER”

V. Cheban

Donbass State Technical University, Alchevsk

e-mail: edvik2010@yandex.ua

The method of calculation of self-cleaning hydrodynamic filter of type «cylinder in a cylinder» which is based on long-term experience of designing of the working in domestic and foreign industry of hydrodynamic filter of liquids from firm pollution in a stream is presented.

Key words: hydrodynamic filter, «cylinder in a cylinder», process water, firm pollution.

Список литературы:

1. Чебан В.Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 31 — Алчевск: ДонГТУ, 2010. — С. 115 — 126.
2. Пат. 46507 Україна, МПК⁶ B01D29/23, 35/02. Очистник потока рідин / Бондаренко В.П., ; заявник і патентовласник Бондаренко В.П. — №2001075440 ; заявл. 31.07.01 ; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.
3. 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.
4. Финкельштейн З.Л. Совершенствование способов очистки сточных вод, сбрасываемых в водоемы / З.Л. Финкельштейн, В.А. Давиденко, И.Н. Кучин И.Н. // Вестник МАНЭБ. Т. 8, № 5 (65). — С–Пб, 2003. — С. 83 — 85.
5. Пат. 64598 Україна, МПК⁶ B01D37/00. Спосіб очищення рідин від механічних домішок у потоці / Бондаренко В.П. ; заявник і патентовласник Бондаренко В.П. — №2003076535 ; заявл. 14.07.03 ; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.
6. Пат. 64599 Україна, МПК⁶ B01D29/11. Фільтроелемент очисника рідин / Бондаренко В.П.; заявник і патентовласник Бондаренко В.П. — №2003076547; заявл. 14.07.03; опубл. 15.12.05. Бюл. № 12.
7. ГОСТ 3826-82 «Сетка тканая проволочная с квадратными ячейками».