

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННОГО ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ

С. И. Мовчан, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», г. Мелитополь

Аннотация. Предложенная ранее к рассмотрению модель формы внутренней поверхности фильтровального отверстия, полученная по результатам определения для четырёх плоскостей (четырёх живых сечений), позволяет получить внутреннюю поверхность, близкую к конноидальной форме, т.е. наиболее оптимальную для фильтрации сточных вод, загрязнённых различными примесями, нисходящим потоком.

Решая задачи прикладного характера, рассматривается вертикально расположенное отверстие в горизонтально установленной перегородке, внутренняя поверхность которого образована в четырёх плоскостях и оптимально приближена к конноидальной форме. Последнее обстоятельство способствует увеличению пропускной способности самого отверстия и улучшению фильтровального процесса в целом. При этом оптимизирована форма внутренней поверхности фильтровального отверстия, что позволяет выбрать дальнейшее направление исследований.

В качестве предмета исследования рассматривается обработка сточных вод, в которых фильтрование является определяющим работы водоочистного оборудования систем промышленного водоснабжения.

Материалы и методы исследований отображают практическое направление исследований, состоящее в определении опорных точек при построении конноидальной поверхности вертикально расположенного отверстия для фильтрации сточных вод в аппаратах напорной флотации-коагуляции.

Кроме того, рассматривая теоретические аспекты процесса фильтрации, которые основываются на общеизвестных уравнениях неразрывности потока и переносе количества движения, при этом гидродинамика процесса основана на оценке изменения параметров потока при переходе его из диффузора в конфузор и обратно, считая, что поток одномерный, а переход адиабатный.

По результатам исследований получены соотношения диаметров входа/выхода, сужающейся/расширяющейся части фильтровального отверстия при движении сточных вод нисходящим потоком, которые позволяют получить оптимальное соотношение диаметров в четырёх плоскостях (сечениях) внутренней поверхности фильтрации.

Ключевые слова: фильтрование, фильтровальный процесс, конноидальная форма, сужающийся диаметр, расширяющийся диаметр, диффузорно-конфузорные участки



Мовчан
Сергей Иванович

ВВЕДЕНИЕ

В поисках лучшего уровня жизни и экономической выгоды современное общество продолжает рассматривать воду только как ресурс, который свободно падает с неба, изобильный, неисчерпаемый и невосприимчивый к вредным антропогенным воздействиям [1].

Производить больше продукции с меньшими затратами водных ресурсов — это основной путь к водной безопасности. Современные технологии и методы водопользования позволяют сократить потребности в воде, в т. ч. промышленности на 40-90 %, при этом не теряются экономические показатели промышленного производства, а также сохраняются условия и качество жизни населения [2].

Ресурсосберегающие технологий, используемые на предприятиях водохозяйственного комплекса, играют существенную роль, и направлены на повышение надёжности и эффективности водоочистного оборудования и, самое главное, обеспечение экологической безопасности водных объектов.

Оценивая сложившуюся ситуацию в современных условиях водопользования, необходима разработка и внедрение методов модернизации существующих

локальных очистных сооружений таким образом, чтобы усовершенствовать их работу и увязать качество воды с вновь вводимыми нормативами безопасности жизнедеятельности, создав гарантированный барьер для небольшого числа токсикантов, в т. ч. гальваношламов, содержащих тяжёлые металлы, для существенного снижения антропогенного воздействия на водные объекты [3, стр. 10].

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Фильтрация и фильтровальные процессы один из наиболее простых и эффективных способов отделения/разделения некоторых гетерогенных систем, относящихся к первой и второй группам, известных по классификации Л. А. Кульского [4].

Процесс фильтрации – известный способ очистки сточных вод, основывается на отделении механических примесей, взвешенных веществ и аналогичных загрязнений, который применяется в технологии водоподготовки и водоочистки, в том числе промышленных сточных вод [5, стр. 57].

Фильтрацией называют гидродинамический процесс разделения суспензий и эмульсий с использованием пористых перегородок или зернистых слоев, которые задерживают диспергированную фазу и пропускают жидкость. Суспензии разделяют фильтрацией в тех случаях, когда частицы загрязнений слишком медленно осаждаются либо, в случае необходимости, выделения твёрдой фазы, содержащей минимальное количество жидкости [6, 7]. Фильтрационные установки являются механическим способом разделения загрязнённых жидкостей и применяются для очистки либо доочистки сточных вод после физико-химической или биологической очистки для последующего извлечения тонко диспергированных веществ, пыли, масел, смол, нефтепродуктов и др.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Фильтрация рабочей жидкости происходит только через сквозные поры пористой перегородки. Не следует путать понятия «фильтрация» и «фильтрация». Фильтрация – самопроизвольное или преднамеренное прохождение жидкости через пористую среду, которое может сопровождаться отделением взвешенных частиц, задерживаемых пористой средой. Фильтрация – преднамеренно осуществляемый процесс фильтрации для разделения жидких неоднородных систем [5, стр. 57].

Кроме того, интенсификация процесса доочистки сточных вод фильтрацией позволяет повышать интенсивность работы составных частей систем водоснабжения за счёт фильтрации [8], что позволяет не только повысить качество обработки стоков, но и уменьшить гидравлические нагрузки и стоимость их обработки.

В статье представлены результаты разработки теории образования, обработки и утилизации сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей) от станции водоподготовки. Показаны

этапы формирования сбросных (промывных) вод, факторы, влияющие на качество взвеси на каждом из этапов. Приведено математическое описание образования сбросных (промывных) вод, транспортировки по трубопроводам промканализации с учетом гидродинамического воздействия на частицы взвеси и тип применяемого для очистки природных вод реагента. Обработка описана двумя этапами – перемешиванием в камере хлопьеобразования и отстаиванием в статических условиях. Кроме того, предложен алгоритм выбора технологической схемы обработки промывных вод скорых фильтров в зависимости от направления утилизации [9].

В работе [5, стр. 58] авторами рассматриваются три вида пористых перегородок, применяемых для фильтрации: сквозные поры, внутренние поры и слепые поры [5, стр. 58-59].

На процесс фильтрации влияют факторы и параметры, определяющие как эффективность самого процесса, так и надёжность всей технологической операции, в которой используется этот процесс.

Основные типы фильтров при фильтрации воды и растворов, по типу фильтрующих элементов различают следующие: сетчатые, тканевые, мембранные, намывные, волокнистые и зернистые. Первые четыре фильтра представляют собой пористые перегородки, последние два – объёмные элементы [10, стр. 94].



Рис. 1. Классификация основных типов фильтров при фильтрации воды и растворов

Представленная классификация основных типов фильтров, которая используется в различных отраслях хозяйственной деятельности, позволяет сделать вывод, что сам процесс фильтрации наиболее надёжен и перспективен при разделении сточных вод, загрязнённых несколькими спектрами загрязнений.

В настоящее время появилось предложение по использованию различных фильтровальных материалов как минеральных, так и синтетических [11, 12].

Примерами синтетических материалов могут служить сипрон, полиуретан, полистирол, капронщети-на, синтетическая вата [13, стр. 33].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является оптимизация геометрических размеров диаметров и параметров отверстий, расположенных в вертикально расположенной фильтровальной перегородке.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Для увеличения пропускной способности фильтровального отверстия детально рассмотреть/ проверить соотношение размеров вертикально расположенного переменного диаметра формы внутренней поверхности фильтровального отверстия.

2. Уточнить/определить геометрические размеры и параметры диаметров отверстий, в условиях эксплуатации фильтровальных отверстий, опытным путём.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специфика прикладных исследований, направленных на интенсификацию работы систем оборотного водоснабжения, состоит в оптимизации внутренней поверхности фильтровального отверстия в вертикально расположенной перегородке.

При этом необходимо учитывать особенности следующих видов фильтрования (рис. 2).

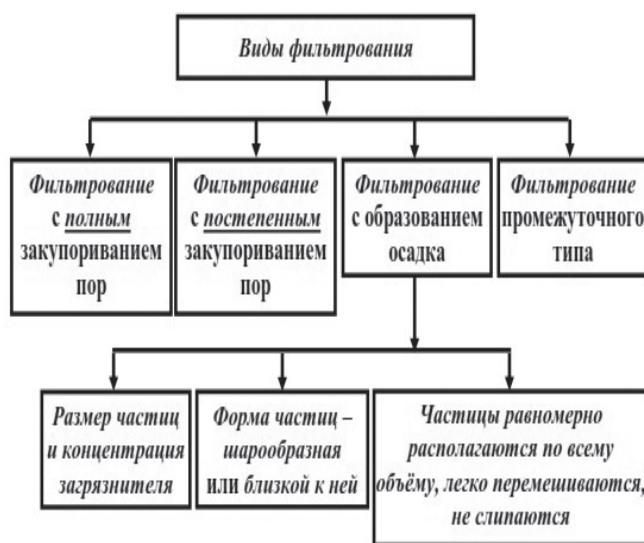


Рис. 2. Классификация видов фильтрования с образованием осадков: размерами, формой и степенью гидравлической характеристики

Характерным признаком фильтровального отверстия, расположенного вертикально в горизонтальной пластине, является то, что в отверстиях происходит несколько процессов. При этом необходимо учитывать форму и размеры (например, эффективный диаметр) частиц, концентрацию загрязнителей, скорость фильтрования, которая зави-

сит от объёма обрабатываемых сточных вод, уровня и объёма расположенного над фильтровальной перегородкой (-ками) и др.

В этом случае необходимо отметить следующие обстоятельства:

- теоретические и лабораторные исследования по оптимизации фильтровального отверстия в вертикально расположенной перегородке проводились на основе общеизвестных теоретических зависимостей: уравнений неразрывности потока, и переноса количества движения;

- лабораторные исследования проводились на специально разработанных установках и оборудовании с использованием контрольно-измерительной техники, а полученные результаты обрабатывались математическим аппаратом;

- практические исследования позволили определить ресурсную оценку систем оборотного водоснабжения.

Рассматривая представленные общие положения по системам водопользования промышленных предприятий, описанные основные технологии очистки производственных сточных вод, авторами приведены некоторые инженерно-технические решения, используемые в некоторых конструкциях локальных аппаратов обработки сточных вод промышленных предприятий [17, стр. 83, 97].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Известно, что критериями оценки качества очистки являются, в основном, высокий и стабильный коэффициент очистки, соответствующий грузоёмкости системы очистки. В данном случае, высокий и стабильный коэффициент очистки достигается оптимальными параметрами фильтрующего отверстия. При этом соответствующая грузоёмкость системы очистки имеет параметр мобильности, который регулируется по мере накопления различных загрязнений и применимой технологией «противотока» для очистки, т.е. удаления загрязняющих веществ в системах водоочистки.

На основании полученных ранее уравнений звеньев формы внутренней поверхности фильтровального отверстия предложен подход к увеличению пропускной способности отверстия [14], основанный на уменьшении потерь при прохождении сточных вод в фильтровальных отверстиях.

Теоретическими предпосылками фильтровального процесса, т.е. динамики течения нисходящего комбинированного течения (фильтрования) с изменяющимся живым течением в потоке жидкости являются:

– уравнение неразрывности потока:

$$Q = \omega \cdot v, \tag{1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + a \cdot \frac{\partial v}{\partial r} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}} \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right), \tag{2}$$

– уравнение переноса количества движения:

$$\frac{u}{\tau} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \tag{3}$$

Для исследования процесса фильтрования определим граничные плоскости, полученные вследствие обоснования выбора и построения формы отверстий [14], расположенных в горизонтально расположенных фильтровальных перегородках (рис. 3).

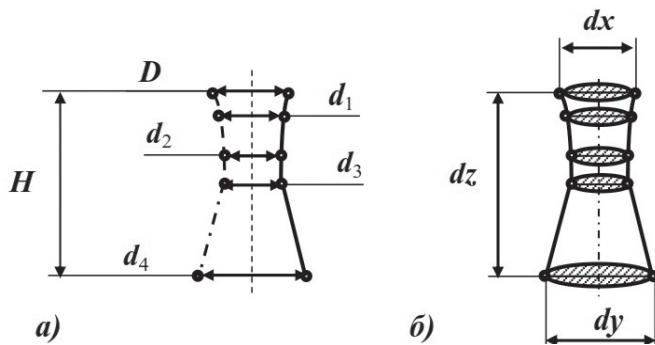


Рис. 3. Схема вертикального фильтровального отверстия для пяти плоскостей (пяти точек):

а – вертикальный разрез, с геометрическими размерами фильтровального отверстия;
 б – фильтровальные отверстия в пространственной системе координат:
 D, d_1, d_2, d_3, d_4 – диаметры фильтровальных отверстий, расположенные сверху вниз, мм

Расчётная схема построения внутренней поверхности фильтровального отверстия рассматривается для пяти плоскостей (пяти точек), наиболее оптимально приближаясь к форме конноидальной поверхности.

Исследуя гидродинамику процесса на основе оценки изменения параметров потока при переходе его из диффузора в конфузور и обратно, считаем, что поток одномерный, а переход адиабатный. Тогда, используя уравнение энергии и сплошности потока, согласно [15], можно записать следующие соотношения:

$$\frac{1}{u} \cdot \frac{du}{dx} = \alpha \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dx} \quad (4)$$

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dx} = \beta \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dx} \quad (5)$$

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dx} = \gamma \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{ds}{dx} \quad (6)$$

где u – скорость по оси потока, м/с;

p – давление, Па;

α, β, γ , – коэффициенты, зависящие от характера потока.

Анализируя уравнения (4)-(6), можно установить следующие закономерности:

1) в расширяющейся части комбинированного фильтровального отверстия переменного диаметра происходит торможение потока, определяемого на разных уровнях следующими зависимостями:

$$\text{■ на уровне } d_3 - \frac{ds}{dx} > 0; \frac{du}{dx} < 0; \quad (7)$$

■ при выходе из отверстия, на уровне

$$d_4 - \frac{ds}{dx} > 0; \frac{du}{dx} < 0. \quad (8)$$

2) в сужающейся части комбинированного фильтровального отверстия переменного диаметра происходит торможение потока, определяемого следующими условиями:

$$\text{■ на уровне } D - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{du}{dx} > 0; \quad (9)$$

$$\text{■ на уровне } d_1 - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{du}{dx} > 0; \quad (10)$$

$$\text{■ на уровне } d_2 - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{du}{dx} > 0; \quad (11)$$

3) изменение давления в живых сечениях потока комбинированного фильтровального отверстия переменного диаметра обратны изменению скорости, т.е. давление в диффузоре возрастает, а давление в конфузоре убывает. Поэтому имеем следующие значения:

$$\text{■ на уровне } D - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{dp}{dx} < 0; \quad (12)$$

$$\text{■ на уровне } d_1 - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{dp}{dx} < 0; \quad (13)$$

$$\text{■ на уровне } d_2 - \frac{ds}{dx} < 0; \frac{dp}{dx} < 0; \quad (14)$$

$$\text{■ на уровне } d_3 - \frac{ds}{dx} > 0; \frac{dp}{dx} > 0; \quad (15)$$

■ при выходе из перегородки, на уровне

$$d_4 - \frac{ds}{dx} > 0; \frac{dp}{dx} > 0; \quad (16)$$

Таким образом, на основании уравнений (7)-(16) можно сделать вывод, что в комбинированном фильтровальном отверстии переменного диаметра, состоящем из диффузорно-конфузорных участков, происходит процесс изменения давления, что порождает упругую водную среду, которая соответствует реальной жидкости, которая практически несжимаемая.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Водный поток реальной жидкости перемещается при знакопеременном градиенте давления [Па], которое учитывается следующими условиями:

■ уравнением неразрывности потока:

$$\frac{u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (17)$$

■ уравнением траектории движения частиц:

$$\frac{\partial z}{v \pm u_w} = \frac{\partial z}{u + u_w \cdot \frac{\omega^2 \cdot r}{g}}, \quad (18)$$

где u_w – гидравлическая крупность, м/с;

Величина связана с эффективностью обработки сточных вод эмпирической зависимостью. В знаменателе левой части уравнения (17) перед величиной u_w ставим знак «+» в случае, когда подвод воды происходит сверху аппарата, а знак «-», если подвод воды происходит с нижней части.

В конфузоре происходит образование пристеночных вихрей, которые срывают возвратное тече-

ние жидкости по стенкам и перемещают её вдоль оси потока. Особенно это активно происходит в сечении перехода от ступени к ступени [16, стр. 14], т.е., когда имеет место изменение диаметра (живого сечения) в комбинированном фильтровальном отверстии переменного диаметра.

В табл. 1 представлены геометрические размеры и параметры диаметров отверстий, которые получены в условиях эксплуатации фильтровальных отверстий опытным путём.

Фактический расход воды, проходящей через диаметры вертикально расположенного отверстия, определяли объёмным способом, т.е. прохождение некоторого объёма воды W [м³] за время t [с], с помощью электронных весов с дальнейшим определением расхода по формуле:

$$Q_{D_i} = W/t, \quad (19)$$

Теоретический расход от протекания воды через диаметры вертикально расположенного входного отверстия определяем по формуле:

$$Q_{D_i} = 3,14 \cdot H_H \cdot (D_n - d_{n+1}) / 2 \cdot g \cdot p \quad (20)$$

где $D_n - d_{n+1}$ – разность диаметров, соответственно исследуемого и последующего, м²;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

P – гидравлический напор, располагаемый над фильтровальной горизонтальной перегородкой, м;

$P = H_{п.н.} + H$ – полный напор, с учётом толщины горизонтальной перегородки, м;

$H_{п.н.}$ – полный напор, расположенный над фильтровальной горизонтальной перегородкой, м;

H – толщина фильтровальной горизонтальной перегородки, м.

Коэффициент расхода в живых сечениях вертикально расположенного входного отверстия определяем по формуле:

$$\mu = Q_n / Q_{n+1}, \quad (21)$$

Таблица 1.

Геометрические размеры и параметры диаметров отверстий

№ п/п	Диаметры, мм		Соотношение диаметров, мм	Расстояние от верхней поверхности, H/D; H/d ₁ ; H/d ₂ ; H/d ₃ ; H/d ₄ , относительных единицах				
	D	d ₁		повторности				оптимальное
1.	вход							
	D	d ₁	D/d ₁	повторности				оптимальное
	1,1	0,95	1,16	0,285	0,287	0,288	0,289	0,289
	1,15	0,90	1,28	0,289	0,290	0,292	0,291	0,293
	1,20	0,85	1,41	0,290	0,292	0,293	0,291	0,295
	1,25	0,85						
2.	сужающийся							
	d ₁	d ₂	d ₁ /d ₂	повторности				оптимальное
	0,95	0,85	1,12	0,342	0,343	0,345	0,344	0,347
	0,90	0,80	1,125	0,349	0,349	0,350	0,348	0,350
	0,85	0,75	1,13	0,349	0,330	0,351	0,347	0,352
	0,8	0,7						
3.	сужающийся							
	d ₂	d ₃	d ₂ /d ₃	повторности				оптимальное
	0,85	0,75	1,13	0,391	0,393	0,397	0,395	0,397
	0,80	0,70	1,14	0,396	0,395	0,397	0,401	0,402
	0,75	0,65	1,15	0,393	0,396	0,398	0,403	0,405
	0,70	0,60						
4.	расширяющийся							
	d ₃	d ₄	d ₃ /d ₄	повторности				оптимальное
	0,75	0,95	0,79	0,499	0,450	0,451	0,453	0,455
	0,70	0,90	0,78	0,452	0,453	0,455	0,459	0,460
	0,65	0,85	0,76	0,454	0,455	0,457	0,458	0,463
	0,6	0,8						
	выход							

Примечание. 1. Диаметр выходного отверстия d₅ принимается на уровне, большем на величину (1,25...1,5) от предыдущего диаметра, т.е. вертикально расположенного входного отверстия d₅ ≥ 1,25...1,5) D. 2. В соотношении диаметров [мм] указано отношение в условных единицах, т.е. величина, равная отношению одного диаметра с последующим.

где Q_n, Q_{n+1} – расход, соответственно в исследуемом и последующем диаметрах, м³/с;

Интенсивное перемешивание водного потока, в аппаратах напорной флотации-коагуляции, являются зоны активного перемешивания водного потока, что ведёт к повышению эффективности передачи энергии потока сточных вод (загрязнённых стоков) к жидкости.

Кроме того, волновой, пульсационный характер потока снижает эффект «проскальзывания» частиц загрязнений без энергомассообмена, что повышает коэффициент полезного действия (КПД) процесса [16, стр. 14].

Применение фильтровального процесса при очистке сточных вод гальванического производства является обязательным условием эффективной обработки сточных вод и входит в технологические операции, не только позволяющие повысить продуктивность водоочистного оборудования, но и обеспечить очистку сточных вод, в том числе от загрязнений, характерных для гальванического производства: механические примеси, взвешенные вещества, масла и нефтепродукты и т.п. Непосредственно отделить фракции, содержащие ионы тяжёлых металлов, возможно только накапливающиеся в жидких отходах, когда технологией предусматривается их последующая утилизация.

Таким образом, одним из путей увеличения пропускной способности фильтрования является оптимизация внутренних размеров в живых сечениях вертикально расположенного отверстия.

ВЫВОДЫ

Рассматривая процесс гидродинамического истечения жидкости нисходящим потоком, в вертикальные отверстия, расположенные в горизонтально установленной перегородке, отметим следующие выводы:

1. Интенсификация процессов обработки сточных вод, создание эффективных технологий, отдельных сооружений и элементов ставят своей целью обеспечение обработки/очистки/нейтрализации сточных вод, обеспечивающих экологическую безопасность водных объектов.

2. Фильтрование и фильтровальные процессы должны обеспечить выделение широкого спектра загрязнений, определяемых условиями эксплуатации водоочистного оборудования, или соответствующую степень обработки/очистки сточных вод,

3. Полученное, вследствие обоснования пяти плоскостей (для пяти точек), вертикального фильтровального отверстия расположенных в горизонтальной фильтровальной плоскости, форма которой приближена к конноидальной, обеспечивает эффективность фильтровального процесса.

4. Определена оптимальная форма вертикального фильтровального отверстия, которая способствует повышению пропускной способности, в пределах 5-7 %, учитывая физико-механические особенности водного раствора.

Список литературы

1. S. Postel. *The last oasis. Facing water scarcity.* – London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
2. Postel S. *The oasis. Facing water scarcity.* – London : Earthscan Publications LTD., Worldwtch institute, 1992. – 226 p.
3. Урецкий, Е. А., Николенко, И. В., Мороз, В. В. *Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат: монография.* Москва : РУСАЛЙНС, 2022. – 172 с.
4. Кульский *Теоретические основы и технология кондиционирования воды (Процессы и аппараты)* – Киев: Наукова думка, 1971. – 499 с.
5. Коновалов, В. М., Скрицкий, В. Я., Рокшевский, В. А. *Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков* / В. М. Коновалов, В. Я. Скрицкий, В. А. Рокшевский // М: Машиностроение, 1976. – 288 с.
6. Фрог, Б. Н. *Водоподготовка: учебное пособие* / Б. Н. Фрог, Ф. П. Левченко – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 656 с.
7. Жужиков, В. А. *Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий.* М.: Химия, 1971. – 440 с.
8. Гироль, Н. Н. *Интенсификация процесса доочистки сточных вод фильтрованием* / Н. Н. Гироль [текст]: / Дис. ... докт. техн. наук / Научный консультант д.т.н., проф. Н. Г. Журба, ХИСИ. – Х., 1993. – 384 с.
9. Бутко, Д. А. *Теоретические аспекты систем обработки сбросных вод скорых фильтров* / Д. А. Бутко. // *Строительство и техногенная безопасность. Научно-технический журнал по строительству и архитектуре.* – 2023. - № 30(82). – С. 67-74.
10. Куликов, Н. И. *Теоретические основы очистки воды: учебное пособие* / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. – Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. – 298 с.
11. Аюкаев, Р. И., Мельцер, В. З. *Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды.* *Справ. пособие* Л.: Стройиздат, – 1985.
12. Журба, М. Г. *Полистирольные фильтры.* – М. 1996.
13. *Оценка фильтрующих материалов при очистке поверхностного стока* / В. Г. Пономарёв, И. И. Павлинова // *Водоснабжение и сан. техника.* 2006. № 6. – С. 33-37.
14. Николенко, И. В., Мовчан, С. И. *Обоснование выбора и построение формы отверстий фильтровальных перегородок* / И. В. Николенко, С. И. Мовчан // *Яковлевские чтения-2023. Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения [Электронный ресурс] : сб. докл. участ. XVIII Межд. науч.-технич. конф. памяти академика РАН С. В. Яковлева (НИУ МГСУ, Москва 16-17 марта 2023 г.): / Министерство науки и высшего образования РФ, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт инженерно-экологического строительства и механизации. Электрон. дан. и прогр. (4,9 Мб). Москва: Издательство МИСИ – МГУ,*

2023. – С. 45-51. <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/>.- Загл. с титул. экрана. ISBN 978-5-7264-3245-8 https://library.ru/publisher_about.asp?pubsid=1474
15. Гейер, В. Г., Дулин, В. С., Заря, А. Н. *Гидравлика и гидропривод: Учебники для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп.* М: Недра, 1991. – 331 с.
16. Гого, В. Б., Малеев, В. Б., Булыч, А. С., Москаленко, С. В. *Гидродинамика диффузор-конфузорной трубы / В. Б. Гого, В. Б. Малеев, А. С. Булыч, С. В. Москаленко // Промышленная гидравлика и пневматика. Винница, 2007. № 3 (17). – С. 13 – 14.*
17. *Интенсификация ресурсосберегающих технологий в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий : монография / И. В. Николенко, С. И. Мовчан. – Москва : РУСАЙНС, 2023. – 196 с.*