

К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ НА КАРКАСНО-ЗАСЫПНЫХ ФИЛЬТРАХ

В. В. Мороз

*К. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов
Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: vovavall@mail.ru*

Реферат

Проведены исследования по динамике фильтрационного осветления суспензий промышленных сточных на каркасно-засыпных фильтрах (КЗФ). Показано, что при фильтровании каркас играет роль зернистого хлопьеобразователя, что препятствует коагуляции верхнего слоя мелкозернистого материала и повышает динамические характеристики фильтрования, а также КЗФ обладает лучшей кинетикой, но несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки.

Ключевые слова: pH, фильтрация, регенерация, каркас, грязеемкость, осадок, сорбция.

ON THE QUESTION OF THE DYNAMICS OF FILTERING LIGHTING OF SUSPENSIONS ON FRAME-BILLING FILTERS

V. V. Moroz

Abstract

Research has been carried out on the dynamics of filtration clarification of industrial waste suspensions on frame-filling filters. It is shown that during filtration, the frame plays the role of a granular flocculant, which prevents clogging of the upper layer of fine-grained material and increases the dynamic characteristics of filtration, as well as the frame-filling filter has better kinetics, but slightly less capacity than a filter loaded with only a small fraction of the load.

Keywords: pH, filtration, regeneration, framework, dirt capacity, sediment, sorption.

Введение

Любые осветлители непрерывного действия на I ступени не гарантируют от проскоков взвеси и не обеспечивают глубокого осветления. Поэтому вторая ступень осветления посредством фильтрования через пористую среду совершенно необходима. Перед установками для обессоливания желательнее иметь двойное фильтрование.

Аппаратурное оформление фильтрования для получения питьевой или технической воды из природных и сточных вод весьма разнообразно и хорошо специалистам известно. Однако, если исходным материалом являются нейтрализованные и осветлённые промышленные сточные воды предприятий приборо- и машиностроения, выбор фильтровальных установок должен производиться с учётом особенностей состава твёрдой фазы и её концентрации в суспензии. Как известно, характер осадка, образующегося в поровом пространстве фильтрующей среды, отличается от осадка природных вод. Наличие в нём карбонатных соединений приводит к «цементации» зернистого слоя. При фильтровании сверху-вниз это способствует образованию корки на поверхности загрузки, при фильтровании снизу-вверх – зарастанию дренажных систем.

Возможно также обрастание зёрен закристаллизовавшейся массой осадка. Всё это приводит к необратимым изменениям пористой загрузки и снижению эффективности очистки.

Наибольшие трудности возникают при регенерации загрузки. Интенсивность промывки, принятая в водопроводных фильтрах, не обеспечивает качественную отмывку фильтрующего слоя. Энергичная промывка с применением пара, сжатого воздуха, реагентов нарушает дренажные системы и поддерживающие слои.

Эксплуатация водопроводных фильтров в системах доочистки сточных вод выявила неприемлемость принципа достижения максимальной грязеемкости загрузки, поставив на ведущее место удобство и надёжность регенерации фильтрующего слоя. Именно этим соображениям должен быть подчинён выбор материалов и крупности зёрен загрузки, подбор систем для подвода и отвода воды, выбор направления и скорости фильтрования.

Основная часть (Анализ материалов и результаты исследований)

Исследования в этой области, проведённые Б. А. Митиным, показали, что наиболее универсальным решением из материалов

высокой плотности является каркасно-засыпной фильтр (КЗФ) а.с. №1022722 и каркасно-щелевой фильтр (КЩФ) а.с. 829131. Эти исследования были продолжены на базовом объекте ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ»).

Сущность устройства (рис. 1) заключается в объединении крупнозернистой и мелкозернистой фракций для совместного функционирования при фильтровании и регенерации). Диаметры зёрен каркаса и засыпки подобраны таким образом, чтобы мелкая фракция свободно проникала в межзерновое пространство крупной фракции.

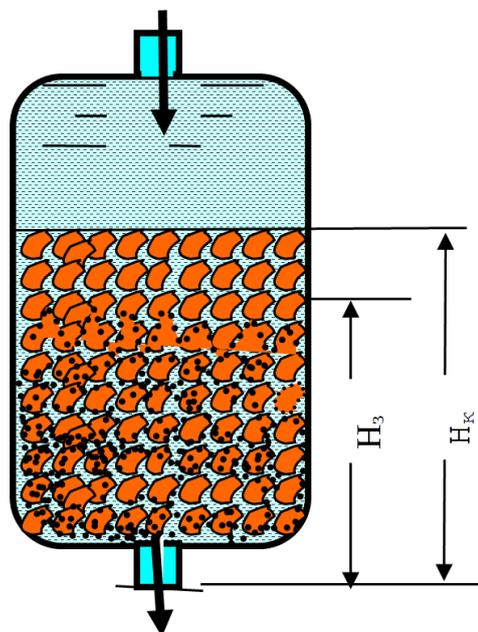


Рисунок 1 – Схема каркасно-засыпного фильтра

Каркас фильтра составляет крупные зерна из тяжелых пород, например, гранита неправильной формы, с размером зерен, в 40–20 раз превышающим размер зерен загрузки, обычно применяемой в коммунальном водоснабжении. В пористом пространстве каркаса

помещается зернистая загрузка с частицами 1–3 мм. Высота каркаса в 1,3–1,5 раз превышает высоту засыпки H_3 , чтобы обеспечить необходимую высоту «кипения» слоя при промывке в неподвижном каркасе.

Такое устройство фильтра обеспечивает более благоприятные условия отмывки осадка, поскольку энергия при соударении зерен загрузки с каркасом выше, чем при соударении частиц друг с другом. Поэтому затраты на отмывку осадка в каркасно-засыпном фильтре оказываются ниже.

При отмывке каркас остаётся неподвижным. Если обозначить через порозность каркаса, то при промывке в каркасно-засыпном фильтре для достижения необходимой скорости для взвешивания зерен засыпной фракции требуется меньшая объёмная скорость, равная $\chi_k \cdot \omega$ по сравнению с ω для традиционных фильтров.

Исходя из феноменологической модели фильтрования, а также решения задачи динамики сорбции для смеси сорбентов, рассмотрим модель динамики сорбции на каркасно-засыпном фильтре и на этой основе остановимся на вопросе об их эффективности и расчёте.

Результаты

Рассмотрим, какое влияние на равновесие и кинетику процесса осветления оказывает наличие каркаса. Каркасно-засыпной фильтр представляет собой типичный пример фильтра, составленного из смеси загрузок с различными фильтрационными свойствами. Допустим, что размеры зёрен засыпной части и каркаса равны d_3 и d_k порозность каркаса χ_k , засыпки внутри каркаса χ_3 .

Положим также, что засыпан в фильтр определенный объем мелкой фракции V , а площадь сечения фильтра – S .

Если мелкая фракция засыпана в фильтр без каркаса, то высота слоя равна

$$l_0 = \frac{V}{S}.$$

При расходе в единицу времени ω линейная скорость $V = \omega/S$. Тогда зависимость коэффициента распределения Γ и кинетического коэффициента β от V и d_3 определяется выражениями

$$\beta_0 = b_0 V^{n_1} d^{n_2}; \quad (1)$$

$$\Gamma = q_0 V^{n_3} d^{n_4}, \quad (2)$$

где $n_1 > 0$, а n_2, n_3, n_4 – отрицательны. Например, для песчаных фильтров

$$n_1 = -0,3, n_2 = -1,7, n_3 = -0,7, n_4 = -0,7.$$

Коэффициенты b_0, q_0 зависят от условий предобработки суспензии и определяются экспериментально, например методом технологического моделирования.

Сравним теперь этот фильтр с каркасно-засыпным, при условии, что объёмная скорость и площадь сечения остаются постоянными.

При пористости каркаса χ_k свободное сечение при засыпке мелкой фракцией с пористостью χ_3 равно $\chi_k \cdot \chi_3$, где V – скорость фильтрации в однородном фильтре. Поскольку $\chi_k < 1$, то свободное сечение в каркасно-засыпном фильтре меньше, чем в однородном фильтре с мелкой загрузкой, и эффективная скорость фильтрации равна

$$V_3 = \frac{V}{\chi_k},$$

где V – скорость фильтрации в однородном фильтре. Следовательно, кинетический коэффициент в засыпке увеличится.

Уровень «проскока» в фильтрате, как известно, определяется по формуле:

$$\frac{C(l)}{C_0} = \exp\left(-\frac{\beta l}{V}\right), \quad (3)$$

где C_0 – концентрация исходной суспензии,
 l – длина фильтра.

Для каркасно-засыпного фильтра $l_3 = l / \chi_k$, а $V_3 = V / \chi_k$. Следовательно, уменьшение проскока происходит за счет увеличения кинетического коэффициента β .

Однако увеличение β в действительности больше, поскольку кроме адгезии внутри засыпки происходит формирование осадка в местах контакта зерен с каркасом. Это дополнительное увеличение кинетического коэффициента β можно оценить по следующей формуле:

$$\beta_3 = \beta_0 \left(1 + \frac{d_3}{d_k}\right) \quad (4)$$

Действительно, относительное увеличение кинетического коэффициента для мелкой фракции (засыпки) пропорционально относительному увеличению удельной поверхности за счет каркаса. Для частиц неправильной формы, из которых сложен каркас, величина $\chi_k \approx 0,5$. По формуле (1) для песчаных загрузок увеличение β примерно составляет ~ 25 %, а с учетом формулы (4) для $d_3/d_k \approx 0,05$ составит ~ 30 %.

Оценим изменение емкости фильтра. Очевидно, что локальная емкость фильтра уменьшится, поскольку в соответствии с формулой (2) частицы каркаса обладают значительно меньшей емкостью, чем частицы засыпки. Кроме того, величина емкости меньше из-за увеличения локальной скорости. В качестве примера оценим вклад загрузки каркаса в грязеемкость фильтра для условий: $d_3/d_k = 10$. Тогда локальная емкость каркаса составит 0,12 от локальной емкости засыпки.

Локальная емкость засыпки также несколько уменьшится, поскольку локальные скорости в каркасе выше. Так, для $\chi_k \approx 0,5$ локальная емкость составит 65 % от исходной.

Таким образом, емкость загрузки в целом составит $(0,12 - 0,65 \chi_k) \approx 0,45 a_0$.

Поскольку высота слоя в каркасе увеличится в χ_k^{-1} раз, то уменьшение полной емкости будет незначительным. Для рассмотренного примера полная емкость фильтра составит 90 % от исходной.

Резюмируя, отметим, что каркасно-засыпной фильтр обладает лучшей кинетикой и несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки.

Это уменьшение грязеемкости легко компенсируется небольшим увеличением высоты фильтрующего слоя (примерно 10–20 % высоты).

Сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зёрен придает фильтрующему слою сумму свойств, которыми по отдельности не обладают ни мелкозернистые ни ультракрупные загрузки.

При фильтровании каркас играет роль зернистого хлопьеобразователя, что препятствует коагуляции верхнего слоя мелкозернистого материала и повышает динамические характеристики фильтрования. При промывке расширение мелкозернистого материала в порах не расширяющейся крупнозернистой загрузки создаёт высокую энергию соударения зёрен «засыпки» с поверхностью каркаса. В результате процессы интенсифицируются при меньших расходах промывной воды.

Повышение грязеемкости фильтра может быть достигнуто за счёт увеличения высоты слоя каркаса, а повышение эффекта осветления – за счёт изменения величины зёрен засыпки. Фильтры такой конструкции, разработанные Б. А. Митиным и изготовленные по чертежам автора работы, использованы в схеме доочистки базового предприятия (рис. 2, рис. 3).



Рисунок 2 – Схема напорного каркасно-засыпного фильтра (КЗФ), смонтированного на базовом предприятии



Рисунок 3 – Фотография напорного каркасно-засыпного фильтра (КЗФ), смонтированного на базовом предприятии

Фильтр изготовлен из ёмкости с эллиптическим дном и съёмной крышкой. Внутри фильтра расположен каркас с крупностью зёрен 40–60 мм. Крупность зёрен «засыпки» 1–2 мм. Высота слоя загрузки 800 мм. В верхней части фильтра в надкаркасном пространстве установлен кольцевой желоб для сбора и отвода промывной воды. К фильтру подключены трубопроводы подачи воздуха, исходной и промывной воды, отвода фильтрата.

Фильтр был выполнен в корпусе, имевшейся на объекте ёмкости, поэтому высота фильтрующего слоя вдвое меньше стандартной.

Для получения фильтрата требуемого качества необходимо соответственно снижать скорость фильтрования. Оценено влияние скорости фильтрования на качество фильтрата (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние скорости фильтрования на эффект осветления

Скорость фильтрования, м/ч, приведённая к стандартной высоте слоя	до 4,0	до 6,0	до 8,0	до 10	более 10
Эффект осветления в % по взвешенным веществам	96,0	91,0	86,4	65,1	менее 15,0
Эффект осветления в % по железу общему	76,0	70,0	56,0	32,0	менее 30,0

Таким образом, при подаче на фильтр осветлённой сточной воды с содержанием взвешенных веществ около 30 мг/дм³ железа до 2 мг/дм³ и скорости фильтрования 5–6 м/ч обеспечивалась очистка более чем на 90 % по взвешенным веществам (менее 6 мг/л) и более чем на 70 % по железу (менее 0,5 мг/дм³).

При этом периодические повышения содержания загрязнений в отстоянных сточных водах не оказывало существенного влияния на качество фильтрата.

В большей мере на качество фильтрата влияла длительность межпромывочного периода работы фильтра. В опытах это время колебалось от 5 до 16 ч.

Промывка фильтра осуществлялась обратным током воды из бака фильтрата тем же насосом, что и подача стоков на фильтрование. Наблюдение за ходом промывки загрузки и оценка качества промывки проводились по известным методикам.

На рисунке 4 приведены два характерных графика изменения содержания взвешенных веществ в промывной воде на выходе из фильтра. Для иллюстрации выбраны опыты, проведены опыты с интервалом в 11 месяцев и сопровождавшиеся контрольными промывками.

Анализ кривых показывает, что максимум концентрации загрязнений приходится на конец первой минуты промывки и что около 80 % загрязнений вымывается из загрузки за 2 минуты. За 5 минут промывка практически завершается, о чём свидетельствует низкое загрязнение воды и контрольные промывки.

Петля на восходящей ветви объясняется сходом осадка из промывного желоба, а низкая начальная концентрация загрязнений в промывной воде – определённым объёмом относительно чистой воды над фильтрующей загрузкой. Словом, наблюдалась типовая картина промывки.

По понятным причинам более глубоких исследований данного фильтрата не производилось, в частности не было необходимости вывести его на экономичные режимы по удельному расходу промывной воды. Тем не менее, установлена величина удельного сопротивления расхода промывной воды в зависимости от длительности фильтроцикла: после 10 часов работы – 13 %, 14 часов – 8,4 %, 24 часов – 4 %. Последняя величина лежит в пределах нормы

После года эксплуатации каркасно-засыпного фильтра он был вскрыт для осмотра состояния загрузки и водоотводящих систем. Наблюдались заиливание отводящего кольцевого лотка и пристеночного пространства над лотком. Состояние основной массы загрузки было удовлетворительным. Изменения, внесённые в конструкцию лотка и систему отвода промывной воды, впоследствии предотвратили «заиливание» в «теневых» зёрнах.

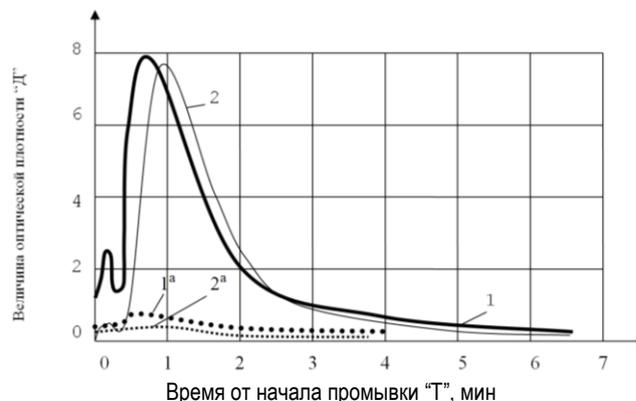


Рисунок 4 – Графики изменения оптической плотности промывной воды основной и контрольной промывок фильтра с каркасно-засыпной загрузкой

1 и 1^а – основная и контрольная промывка (эксперимент 12)
2 и 2^а – основная и контрольная промывка (эксперимент 19)

Есть все основания предполагать, что переоборудование стандартных механических фильтров (например, Таганрогского завода) под каркасно-засыпную загрузку не вызовет осложнений и даст должный эффект при эксплуатации в системах доочистки сточных вод промышленных производств. Фильтрование – завершающий этап осветления сточных вод. Как указывалось ранее, в современных схемах без второй ступени осветления достичь необходимого качества сточных вод невозможно. Наибольшее распространение получили зернистые фильтры, основным элементом которых является фильтрующая загрузка из материалов природных или искусственных.

При выборе фильтрующих материалов предпочтение отдаётся пористым, имеющим развитую фильтрующую поверхность и большее

межзерновое пространство. Пористые материалы, обладающие значительной удельной поверхностью, позволяют повышать производительность фильтров.

Ведущим фактором при выборе загрузки является конструкция и режимы эксплуатации фильтра для очистки промышленных сточных вод, а также удобство и надёжность регенерации, а не максимальная грязеемкость, принятая в водоснабжении.

При очистке промышленных сточных вод и в особенности образующихся на предприятиях приборо- и машиностроения могут применяться и применяются разработанные в своё время Б. А. Митиным каркасно-засыпные фильтры [1]. Эти фильтры монтируются в стандартных фильтрах или любых ёмкостях, соответствующим функциональным требованиям: скорость фильтрования 6–9 м/ч, интенсивность обратной промывки 10–12 дм³/сек на 1 м², продолжительность промывки 8–10 мин, высота загрузки не менее 1,4 м [1, 2].

Особенности процесса фильтрационного осветления суспензий на каркасно-засыпных фильтрах. Каркас фильтра составляет крупные зерна из тяжёлых пород, например, гранита неправильной формы, с размером зерен, в 20–40 раз превышающим размер зерен загрузки, обычно применяемой в коммунальном водоснабжении. В пористом пространстве каркаса помещается зернистая загрузка с частицами 1–3 мм. Высота каркаса в 1,3–1,5 раз превышает высоту засыпки Нз, чтобы обеспечить необходимую высоту «кипения» слоя при промывке в неподвижном каркасе.

Такая структура фильтра обеспечивает более благоприятные условия отмывки осадка, поскольку энергия при соударении зерен загрузки с каркасом выше, чем при соударении частиц друг с другом. Поэтому затраты на отмывку осадка в каркасно-засыпном фильтре оказываются ниже.

При отмывке каркас остаётся неподвижным. Если обозначить через χ_k порозность каркаса, то при промывке в каркасно-засыпном фильтре для достижения необходимой скорости для взвешивания зерен засыпной фракции требуется меньшая объёмная скорость, равная $\chi_k \cdot \omega$, по сравнению с ω для традиционных фильтров.

Исходя из феноменологической модели фильтрования, а также решения задачи динамики сорбции для смеси сорбентов [5], рассмотрим модель динамики сорбции на каркасно-засыпном фильтре и на этой основе остановимся на вопросе об их эффективности и расчёте [4].

Математическая модель динамики фильтрования на каркасно-засыпных фильтрах. Рассмотрим, какое влияние на равновесие и кинетику процесса осветления оказывает каркасно-засыпной фильтр. Как уже указывалось, этот фильтр представляет собой типичный пример фильтра, составленного из смеси загрузок с различными фильтрационными свойствами.

Допустим, что размеры зёрен засыпной части и каркаса равны d_3 и d_k , порозность каркаса χ_k , засыпки внутри каркаса - χ_k .

Предположим также, что засыпан в фильтр определённый объём мелкой фракции V , а площадь сечения фильтра – S .

Если мелкая фракция засыпана в фильтр без каркаса, то высота слоя,

$$t_c = \frac{V}{S}$$

При расходе в единицу времени ω линейная скорость $V = \omega/S$. Тогда зависимость коэффициента распределения Γ в систем сорбент-раствор и кинетического коэффициента β от V и d_3 даётся выражениями (5, 6)

$$\beta_0 = b_0 V^{n_1} d^{n_2}; \quad (5)$$

$$\Gamma = q_0 V^{n_3} d^{n_4}, \quad (6)$$

где $n_1 > 0$, а n_2, n_3, n_4 – отрицательны. Например, для песчаных фильтров $n_1 = 0,3$, $n_2 = -1,7$, $n_3 = -0,7$, $n_4 = -0,7$.

Коэффициенты b_0 и q_0 зависят от условий предобработки суспензии и определяются экспериментально, например методом технологического моделирования.

Сравним теперь этот фильтр с каркасно-засыпным, при условии, что объёмная скорость и площадь сечения остаются постоянными.

При пористости каркаса χ_k свободное сечение при засыпке мелкой фракцией с пористостью χ_3 равно $\chi_k \chi_3$. Поскольку $\chi_k < 1$, то свободное сечение в каркасно-засыпном фильтре меньше, чем в однородном фильтре с мелкой загрузкой, и эффективная скорость фильтрации равна

$$V_3 = \frac{V}{\chi_k},$$

где V – скорость фильтрации в однородном фильтре. Следовательно, кинетический коэффициент в засыпке увеличится.

Уровень «проскока» в фильтрате, как известно, определяется по формуле:

$$\frac{C(t)}{C_0} = \exp\left(-\frac{\beta t}{V}\right), \quad (7)$$

где C_0 – концентрация исходной суспензии, l – длина фильтра.

Для каркасно-засыпного фильтра $l_3 = 1 / \chi_k$, а $V_3 = V / \chi_k$. Следовательно, уменьшение проскока происходит за счет увеличения кинетического коэффициента β .

Однако увеличение β в действительности больше, поскольку кроме адгезии внутри засыпки происходит формирование осадка в местах контакта зерен с каркасом. Это дополнительное увеличение кинетического коэффициента β можно оценить по следующей формуле:

$$\beta_3 = \beta_3 \left(1 + \frac{d_3}{d_k}\right) \quad (8)$$

Действительно, относительное увеличение кинетического коэффициента для мелкой фракции (засыпки) пропорционально относительному увеличению удельной поверхности за счет каркаса.

Для частиц неправильной формы, из которых сложен каркас, величина $\chi_k \cong 0,5$. По формуле (5) для песчаных загрузок увеличение β примерно составляет примерно 25 %, а с учетом формулы (8) для $d_3 / d_k \cong 0,05$ составит примерно 30 %.

Оценим изменение емкости фильтра. Очевидно, что локальная емкость фильтра уменьшится, поскольку в соответствии с формулой (6) частицы каркаса обладают значительно меньшей емкостью, чем частицы засыпки. Кроме того, величина емкости меньше из-за увеличения локальной скорости. В качестве примера оценим вклад загрузки каркаса в грязеемкость фильтра для условий: $d_3 / d_k = 10$. Тогда локальная емкость каркаса составит 0,12 от локальной емкости засыпки.

Локальная емкость засыпки также несколько уменьшится, поскольку локальные скорости в каркасе выше. Так, для $\chi_k \cong 0,5$ локальная емкость составит 65 % от исходной.

Таким образом, емкость загрузки в целом составит $(0,12 - 0,65 \chi_k) \cong 0,45a_0$. Поскольку высота слоя в каркасе увеличится в χ_k^{-1} раз, то уменьшение полной емкости будет незначительным. Для рассмотренного примера полная емкость фильтра составит 90 % от исходной.

Резюмируя, отметим, что каркасно-засыпной фильтр обладает лучшей кинетикой и несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки.

Это уменьшение грязеемкости легко компенсируется небольшим увеличением высоты фильтрующего слоя (примерно 10–20 % высоты).

Заключение

Сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зёрен придаёт фильтрующему слою сумму свойств, которыми по отдельности не обладают ни мелкозернистые, ни ультракрупнозернистые загрузки.

При фильтровании каркас играет роль зернистого хлопьеобразователя, что препятствует коагуляции верхнего слоя мелкозернистого материала и повышает динамические характеристики фильтрования. При промывке расширение мелкозернистого материала в порах нерасширяющейся крупнозернистой загрузки создаёт высокую энергию соударения зёрен «засыпки» с поверхностью каркаса, в результате процессы отмывки интенсифицируются при меньших расходах промывной воды.

Повышение грязеёмкости фильтра может быть достигнуто за счет увеличения высоты слоя каркаса, а повышение эффекта осветления – за счет изменения величины зёрен засыпки.

Список цитированных источников

1. Митин, Б. А. Особенности конструирования и эксплуатации фильтров для очистки промышленных стоков. Реф. сб. № 2. / Б. А. Митин. – М. : ГПИ Сантехпроект, 1975.
2. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: монография / Е. А. Урецкий. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing Germany, 2014. – 360 с. : ил.
3. Мороз, В. В. Опыт повторного использования сточных вод на предприятии приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, Л. Д. Субботкин, В. В. Мороз // Сб. науч. трудов – Симферополь : НАПКС, 2018. – № 11 (63) : Строительство и техногенная безопасность. – С. 98–103.
4. Веницианов, Е. В. Математическое описание фильтрационного осветления суспензий / Е. В. Веницианов, М. М. Синявин // Теоретические основы химических технологий. – 1976. – Т. 10, № 4. – С. 584–591.
5. Отчёт. Теоретические исследования сорбционной и фильтрационной очистки сточных вод гальванического производства от растворённых и взвешенных веществ в рамках договора о творческом сотрудничестве БЭМЗ и АН СССР Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, Москва. Брест. 1984.

References

1. Mitin, B. A. Osobennosti konstruirovaniya i ekspluatatsii fil'trov dlya oчитki promyshlennyh stokov. Ref. sb. № 2. / B. A. Mitin. – M. : GPI Santekhproekt, 1975.
2. Ureckij, E. A. Resursosberegayushchie tekhnologii v vodnom hozyajstve promyshlennyh predpriyatij: monografiya / E. A. Ureckij. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing Germany, 2014. – 360 с. : il.
3. Moroz, V. V. Opyt povtornogo ispol'zovaniya stochnyh vod na predpriyatii priboro- i mashinostroeniya / E. A. Ureckij, L. D. Subbotkin, V. V. Moroz // Sb. nauch. trudov – Simferopol' : NAPKS, 2018. – № 11 (63) : Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. – S. 98–103.
4. Venicianov, E. V. Matematicheskoe opisanie fil'tracionnogo osvettleniya suspenzij / E. V. Venicianov, M. M. Sinyavin // Teoreticheskie osnovy himicheskikh tekhnologij. – 1976. – T. 10, № 4. – S. 584–591.
5. Otchyot. Teoreticheskie issledovaniya sorbcionnoj i fil'tracionnoj oчитki stochnyh vod gal'vanicheskogo proizvodstva ot rastvoronnyh i vzveshennyh veshchestv v ramkah dogovora o tvorcheskom sotrudnichestve BEMZ i AN SSSR Institut geohimii i analiticheskoy himii im. V. I. Vernadskogo, Moskva. Brest. 1984.

Материал поступил в редакцию 06.12.2021