

Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 46–55.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (3): 46–55.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 628.543.3

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-46-55

## К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ОСВЕТЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ НА КАРКАСНО-ЗАСЫПНЫХ ФИЛЬТРАХ

Евгений Аронович Урецкий<sup>1</sup>, Илья Викторович Николенко<sup>2</sup>,  
Владимир Валентинович Мороз<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ», Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт «Академия строительства и архитектуры», Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Республика Крым, Симферополь, Россия

<sup>3</sup>Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь

**Аннотация.** Проведены исследования по динамике фильтрационного осветления суспензий промышленных сточных вод на каркасно-засыпных фильтрах. Выполнены исследования по применимости таких фильтров для доочистки сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат. В результате установлено, что использование каркасно-засыпных фильтров при доочистке этого вида сточных вод по сравнению с традиционными механическими фильтрами позволило повысить их грязеемкость за счет увеличения высоты слоя каркаса и одновременно эффекта осветления за счет изменения величины зерен засыпки. Обосновано, что сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зерен придает 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.

**Ключевые слова:** рН, фильтрация, регенерация, каркас, грязеемкость, осадок, сорбция

**Для цитирования:** Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. К вопросу динамики фильтрационного осветления суспензий на каркасно-засыпных фильтрах // Известия вузов. Строительство. 2022. № 3. С. 46–55. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-46-55.

Original article

## TO THE QUESTION OF DYNAMICS OF FILTRATION CLARIFICATION OF SUSPENSIONS ON FRAME-FILL FILTERS

Evgeny A. Uretsky<sup>1</sup>, Ilya V. Nikolenko<sup>2</sup>, Vladimir V. Moroz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Republican Unitary Enterprise Belarusian State Design Institute «BelGPI», Vitebsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute «Academy of Construction and Architecture», V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Republic of Crimea, Simferopol, Russia

<sup>3</sup>Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

**Abstract.** Studies have been conducted on the dynamics of filtration clarification of industrial wastewater suspensions on frame-backfill filters. Studies have been carried out on the applicability of this filter for the post-treatment of wastewater from protective coatings and printed circuit boards. As a result, it was established that the use of frame-backfill filters in the post-treatment of this type of wastewater compared to traditional mechanical filters allowed to increase their dirt capacity by increasing the height of the frame layer, and at the same time the effect of clarification by changing the size of the backfill grains. It is proved that the combination of two fractions of granular material with sharply different grain sizes gives the filter layer a sum of properties that neither fine-grained nor ultra-coarse-grained loads individually possess. During filtration, the frame plays the role of a granular flake-forming agent, which prevents the colmatation of the upper layer of fine-grained material and increases the dynamic characteristics of filtration.

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

**For citation:** Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. To the question of dynamics of filtration clarification of suspensions on frame-fill filters. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (3): 46–55. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-759-3-46-55.

**1. Введение.** Осветлители непрерывного действия на первой ступени, как правило, не гарантируют от проскоков взвеси и не обеспечивают глубокого осветления<sup>1-3</sup>. Поэтому вторая ступень осветления посредством фильтрования через пористую среду необходима, а перед установками для обессоливания желательнее иметь двойное фильтрование [1–3]. Аппаратурное оформление фильтрования для получения питьевой или технической воды из природных и сточных вод весьма разнообразно и хорошо известно [3]. Однако, если исходным материалом являются нейтрализованные и осветленные промышленные сточные воды предприятий приборо- и машиностроения, выбор фильтровальных установок должен производиться с учетом особенностей состава твердой фазы и ее концентрации в суспензии.

Целью настоящей работы является обоснование технологической схемы, выбор материалов и крупности зерен загрузки, подбор систем для подвода и отвода воды, выбор направления и скорости фильтрования для разработки эффективного фильтровального оборудования конкретно для осветления обработанных сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат.

**2. Основная часть.** Характер осадка промышленных сточных вод, образующегося в поровом пространстве фильтрующей среды, отличается от осадка природных вод [4, 5]. Наличие в нем карбонатных соединений приводит к «цементации» зернистого слоя. При фильтровании сверху-вниз это способ-

<sup>1</sup> Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. / пер. с фр. СПб.: Новый журн., 2007. 878 с.

<sup>2</sup> Очистка промышленных сточных вод / пер. с нем. СПб.: Новый журн., 2012. 384 с.

<sup>3</sup> Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию. ДАНСЭЕ: Отдел по Вост. Европе. Копенгаген, 2001. 253 с.

ствует образованию корки на поверхности загрузки, при фильтровании снизу-вверх – зарастанию дренажных систем. Наибольшие трудности при этом возникают при регенерации загрузки. Интенсивность промывки, принятая при традиционной загрузке механических фильтров, не обеспечивает качественную отмывку фильтрующего слоя. Энергичная промывка с применением пара, сжатого воздуха, реагентов нарушает дренажные системы и поддерживающие слои. Возможно также обрастание зерен закристаллизовавшейся массой осадка. Все это приводит к необратимым изменениям пористой загрузки и снижению эффективности очистки.

Опыт эксплуатации водопроводных фильтров в системах доочистки промышленных сточных вод выявил неприемлемость принципа достижения максимальной грязеемкости загрузки, поставив на ведущее место удобство и надежность регенерации фильтрующего слоя [4, 5]. Исследования в этой области, проведенные Б.А. Митиным, показали, что наиболее универсальным решением из материалов высокой плотности является каркасно-засыпной фильтр (КЗФ) по А.с. № 1022722 и каркасно-щелевой фильтр (КЩФ) по А.с. 829131 [6]. Исследования, направленные на совершенствование КЗФ, были продолжены на очистных сооружениях базового предприятия ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») [4, 5]. Для этого на ОАО «БЭМЗ» был смонтирован КЗФ, схема которого показана на рис. 1.

Главной особенностью этого фильтра является объединение крупно- и мелкозернистой фракций для совместного функционирования при фильтровании и регенерации. При этом диаметры зерен каркаса и засыпки подобраны таким образом, чтобы мелкая фракция свободно проникала в межзерновое пространство крупной фракции. Каркас фильтра составляют крупные зерна из тяжелых 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 раза 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 остается неподвижным. Если обозначить через  $\chi_k$  порозность каркаса, то при промывке в КЗФ для достижения необходимой скорости для взвешивания зерен засыпной фракции требуется меньшая объемная скорость, равная  $\chi_k w$ , по сравнению  $w$  для традиционных фильтров.

Исходя из феноменологической модели фильтрования, а также решения задачи динамики

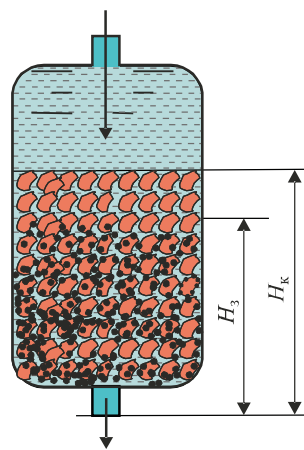


Рис. 1. Схема каркасно-засыпного фильтра

Fig. 1. Scheme of a frame-fill filter

сорбции для смеси сорбентов, рассмотрим модель динамики сорбции на КЗФ и на этой основе остановимся на вопросе об их эффективности и расчете. При этом оценим, какое влияние на равновесие и кинетику процесса осветления оказывает наличие каркаса.

КЗФ представляет собой типичный пример фильтра, составленного из смеси загрузок с различными фильтрационными свойствами. Допустим, что размеры зерен засыпной части и каркаса равны  $d_3$  и  $d_k$ , порозность каркаса  $\chi_k$ , засыпки внутри каркаса  $\chi_3$ . 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  $l_0 = \frac{V}{S}$ .

При расходе в единицу времени  $w$  линейная скорость  $V = w/S$ . Тогда зависимость коэффициента распределения  $\Gamma$  и кинетического коэффициента  $\beta$  от  $V$  и  $d_3$  дается выражениями:

$$\beta_0 = b_0 V^{n_1} d^{n_2}; \tag{1}$$

$$\Gamma = q_0 V^{n_3} d^{n_4}, \tag{2}$$

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 КЗФ при условии, что объемная скорость и площадь сечения остаются постоянными.

При пористости каркаса  $\chi_k$  свободное сечение при засыпке мелкой фракцией с пористостью  $\chi_3$  равно  $\chi_k \chi_3$ , 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

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

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

Уровень «проскока» в фильтрате определяется по формуле [7]:

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

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

Для КЗФ  $l_3 = l/\chi_k$ , а  $V_3 = V/\chi_k$ . Следовательно, уменьшение проскока происходит за счет увеличения кинетического коэффициента  $\beta$ .

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

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

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  $\chi_k \cong 0,5$ . В формуле (1) для песчаных загрузок увеличение  $\beta$  составляет  $\sim 25\%$ , а с учетом формулы (4) для  $d_3/d_k \cong 0,05 - \sim 30\%$ .

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  $\chi_k \cong 0,5$  локальная емкость составит 65 % от исходной. Таким образом, емкость загрузки в целом  $(0,12 - 0,65 \chi_k) \cong 0,45 a_0$ .

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

В результате отметим, что КЗФ обладает лучшей кинетикой и несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки. Это уменьшение грязеемкости легко компенсируется небольшим увеличением высоты фильтрующего слоя ( $\sim 10-20\%$  высоты). А сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зерен 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 КЗФ расширение мелкозернистого материала в порах нерасширяющейся крупнозернистой загрузки создает высокую энергию соударения зерен «засыпки» с поверхностью каркаса. В результате процессы интенсифицируются при меньших расходах промывной воды.

Повышение грязеемкости фильтра может быть достигнуто за счет увеличения высоты слоя каркаса, а повышение эффекта осветления – за счет изменения величины зерен засыпки. Фильтры такой конструкции, которые показаны на рис. 2, а, б, использованы в схеме доочистки базового предприятия ОАО «БЭМЗ» [4–6]. КЗФ изготовлен из емкости с эллиптическим днищем и съемной крышкой. Внутри фильтра расположен каркас с крупностью зерен 40–60 мм. Крупность зерен «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 емкости, поэтому высота фильтрующего слоя вдвое меньше стандартной. Для получе-

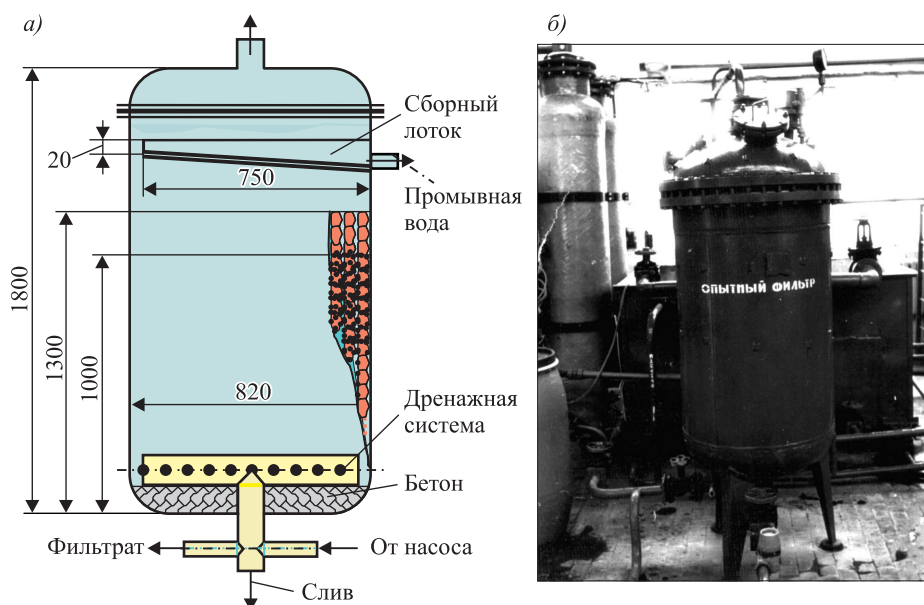


Рис. 2. Схема (а) и фотография (б) напорного КЗФ, смонтированного на базовом предприятии

Fig. 2. Scheme (a) and photo (b) of a pressure frame-fill filter, mounted at the base enterprise

ния фильтрата требуемого качества необходимо соответственно снижать скорость фильтрования.

При выполнении исследований оценено влияние скорости фильтрования на качество фильтрата, которое приведено в таблице. Анализ результатов, представленных в таблице, показал, что при подаче на фильтр осветленной сточной воды с содержанием взвешенных веществ около  $30 \text{ мг/дм}^3$ , железа до  $2 \text{ мг/дм}^3$  и скорости фильтрования  $5\text{--}6 \text{ м/ч}$  обеспечивалась очистка более чем на 90 % по взвешенным веществам (менее  $6 \text{ мг/л}$ ) и более чем на 70 % по железу (менее  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ).

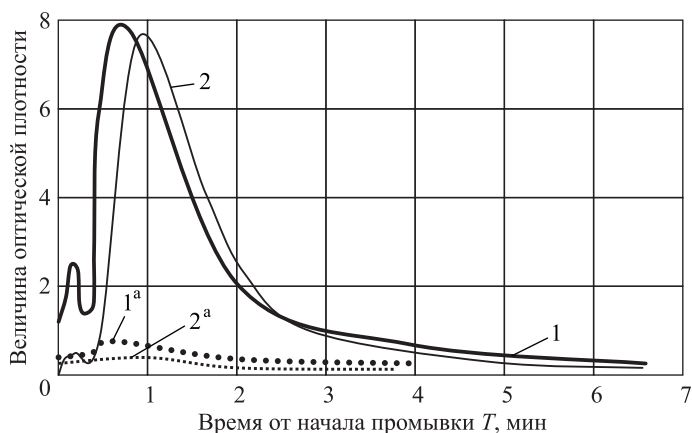
Следует отметить, что периодические повышения содержания загрязнений в отстоянных сточных водах не сказывались существенно на качестве фильтрата. В большей мере на качество фильтрата влияла длительность межпромывочного периода работы фильтра. В опытах это время колебалось от 5 до 16 ч. Промывка фильтра 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 рис. 3 приведены два характерных

### Влияние скорости фильтрования на эффект осветления

#### Influence of filtration speed on the effect of clarification

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



*Рис. 3. Графики изменения оптической плотности промывной воды основной и контрольной промывок фильтра с каркасно-засыпной загрузкой*

1 и 1<sup>а</sup>; 2 и 2<sup>а</sup> – основная и контрольная промывка (эксперимент 12; 19 соответственно)

*Fig. 3. Graphs of changes in the optical density of the wash water of the main and control washings of the filter with a frame-filled load*  
1 and 1<sup>a</sup>; 2 and 2<sup>a</sup> – main and control washing (experiment 12; 19 accordingly)

графика изменения содержания взвешенных веществ в промывной воде на выходе из фильтра.

Для иллюстрации выполненных исследований выбраны результаты опытов, проведенных с интервалом в 11 мес 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 мин. За 5 мин промывка практически завершается, о чем свидетельствуют низкое загрязнение воды и контрольные промывки. Петля на восходящей ветви объясняется сходом осадка из промывного желоба, а низкая начальная концентрация загрязнений в промывной воде – определенным объемом относительно чистой воды над фильтрующей загрузкой. Словом, наблюдалась типовая картина промывки.

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

После года эксплуатации КЗФ он был вскрыт для осмотра состояния загрузки и водоотводящих систем. Наблюдалось заиливание отводящего кольцевого лотка и пристеночного пространства над лотком. Состояние основной массы загрузки было удовлетворительным. Впоследствии изменения, внесенные в конструкцию лотка и систему отвода промывной воды, предотвратили «заиливание» в «теневых» зернах. Есть все основания предполагать, что переоборудование стандартных механических фильтров под каркасно-

засыпную загрузку не вызовет осложнений и даст должный эффект при эксплуатации в системах доочистки промышленных 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 отдается имеющим развитую фильтрующую поверхность, большее межзерновое пространство. Пористые материалы, обладающие значительной удельной поверхностью, позволяют повышать производительность фильтров. Ведущие факторы при выборе загрузки, конструкции и режимов эксплуатации фильтра для очистки промышленных сточных вод – удобство и надежность 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 свое время Б.А. Митиным каркасно-засыпные фильтры [6]. Они монтируются в стандартных фильтрах или любых емкостях, отвечающих функциональным требованиям: скорость фильтрования 6–9 м/ч, интенсивность обратной промывки 10–12  $\text{дм}^3/\text{с}$  на 1  $\text{м}^2$ , продолжительность промывки 8–10 мин, а высота загрузки не менее 1,4 м [6].

**3. Особенности процесса фильтрационного осветления суспензий на каркасно-засыпных фильтрах.** На основании феноменологической модели фильтрования, а также решения задачи динамики сорбции для смеси сорбентов, представлена модель динамики сорбции на КЗФ по зависимостям (1)–(4), на основе которой можно оценить их эффективности и разработать метод расчета<sup>4</sup>.

Согласно выполненным экспериментальным исследованиям установлено, что сочетание двух фракций зернистого материала с резко отличающимися размерами зерен придает 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.

В результате КЗФ обладают лучшей кинетикой, но несколько меньшей емкостью, чем фильтр, загруженный только мелкой фракцией загрузки. Уменьшение грязеемкости компенсируется небольшим увеличением высоты фильтрующего слоя до 10–20 % высоты.

**4. Выводы.** Обоснована целесообразность применения каркасно-засыпных фильтров для фильтрационного осветления суспензий промышленных сточных вод, так как характер их осадка, образующегося в поровом пространстве фильтрующей среды, существенно отличается от осадка природных вод.

Сочетание двух фракций зернистого материала со значительно различающимися размерами зерен придает фильтрующему слою сумму свойств,

<sup>4</sup> Отчет по научно-исследовательской работе (НИР): Разработка элементов безотходной технологии и их исследование на сооружениях БЭМЗ/ Брестский инженерно-строительный институт. № Гос. Регистрации 80028756. Брест, 1983. 320 с.



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 создает высокую энергию соударения зерен «засыпки» с поверхностью каркаса, в результате процессы отмывки интенсифицируются при меньших расходах промывной воды.

Повышение грязеемкости фильтра обеспечивается за счет увеличения высоты слоя каркаса, а повышение эффекта осветления – за счет изменения величины размера зерен засыпки.

#### Список источников

1. Лондонг Й., Розенвинкель К.-Х. Очистка промышленных сточных вод / пер. с нем. СПб.: Новый журн., 2012. 384 с.
2. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат: Моногр. М.: РУСАЙНС, 2022. 172 с.
3. Гогина Е.С., Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справ. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2021. 312 с.
4. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: Моногр. Брест: Изд-во БГТУ, 2007. 396 с.
5. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий: Моногр. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 360 с.
6. Митин Б.А. Особенности конструирования и эксплуатации фильтров для очистки промышленных стоков: Реф. сб. № 2. М.: ГПИ Сантехпроект, 1975.
7. Веницианов Е.В., Сенявин М.М. Математическое описание фильтрационного осветления суспензий // Теорет. основы хим. технологии. 1979. Т. 10. С. 584–591.

#### References

1. Londong J., Rosenwinkel K.-H. Purification of industrial waste water: Per. from German. St. Petersburg: New Journal, 2012. 384 p. (In Russ.).
2. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. Development and implementation of resource-saving technologies for waste disposal of wastewater from protective coatings and printed circuit boards: monograph. Moscow: RUSAINS, 2022. 172 p. (In Russ.).
3. Gogina E.S., Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and sanitation: A reference manual. Moscow: Publishing house of the DIA, 2021. 312 p. (In Russ.).
4. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises: Monograph. Brest: Publishing house of BSTU, 2007. 396 p. (In Russ.).
5. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in the water management of industrial enterprises: Monograph. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 360 p. (In Russ.).
6. Mitin B.A. Features of the design and operation of filters for industrial wastewater treatment. Ref. Sat. No. 2. Moscow: GPI Santekhproekt, 1975. (In Russ.).

7. Venitsianov E.V., Senyavin M.M. Mathematical description of filtration clarification of suspensions. *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii = Theoretical fundamentals of chemical technologies*. 1979; 10: 584–591. (In Russ.).

**Информация об авторах**

**Е.А. Урецкий** – начальник отраслевой научно-исследовательской лаборатории «БелГПИ», euretsky@yandex.by

**И.В. Николенко** – доктор технических наук, профессор, nikoshi@mail.ru

**В.В. Мороз** – кандидат технических наук, доцент, vovavall@mail.ru

**Information about the authors**

**E.A. Uretsky** – Head of the Branch research laboratory “BelGPI”, euretsky@yandex.by

**I.V. Nikolenko** – DSc, Professor, nikoshi@mail.ru

**V.V. Moroz** – PhD, Ass. Professor, vovavall@mail.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.01.2022  
Одобрена после рецензирования 14.02.2022  
Принята к публикации 21.02.2022

The article was submitted 13.01.2022  
Approved after reviewing 14.02.2022  
Accepted for publication 21.02.2022