УДК 628.16 DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-147-153

ПОРИСТЫЙ ПОЛИМЕРБЕТОН В ДРЕНАЖАХ НАПОРНЫХ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

В.Й. Прогульный, д.т.н. профессор,
varkadia@ukr.net
Н.А. Гуринчик, к.т.н. доцент,
nagy@ukr.net
М.В. Рябков, ассистент
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ryabkov491992@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена актуальность применения напорных пенополистирольных фильтров, выявлены основные недостатки этих фильтров связанные с неудовлетворительной работой дренажно-распределительных систем. Проведен анализ и предложена конструкция дренажной системы на основе пористого полимербетона, которая улучшает равномерность распределения и сбора воды, снижает унос загрузки и повышает надёжность работы фильтров. Описана экспериментальная установка по изучению степени кольматации полимербетонных образцов фильтрующей загрузкой. Проведенные экспериментальные исследования динамики кольматации пористого полимербетона зёрнами пенополистирола подтвердили возможность его использования в дренажах напорных фильтров.

Ключевые слова: пенополистирольный напорный фильтр, полимербетонный дренаж, кольматация.

Введение. В настоящее время, наиболее актуальными вопросами в водоснабжении является – интенсификация процессов фильтрования.

Напорные фильтры (НФ) широко применяются в коммунальном и промышленном водоснабжении, а также в технологических схемах водоподготовки [1]. Основным преимуществом напорных фильтров является то, что они выпускаются промышленностью и, как правило, изготавливаются из стали. Однако, в последнее время на мировом рынке всё чаще появляются корпусы, изготавливаемые из стеклопластика – материала достаточно прочного, но значительно более легкого и не нуждающегося в защите от коррозии в отличие от стали.

Анализ последних публикаций. Согласно исследованиям [2] пенополистирольная плавающая загрузка в напорных фильтрах имеет ряд преимуществ по сравнению с песчаной загрузкой: более легкий вес и соответственно меньшая интенсивность промывки фильтра, более длительный фильтроцикл, меньшая истираемость, большие скорости фильтрования.

На сегодняшний день разработано множество конструкций напорных пенополистирольных фильтров, но наибольшее предпочтение отдают напорным фильтрам с восходящим потоком [2].

Важным этапом работы таких фильтров является регенерация загрузки, где особая роль принадлежит дренажным системам, которые во многом определяют эксплуатационные характеристики фильтров и их технико-экономические показатели.

В настоящее время наиболее распространенной конструкцией дренажно-распределительной системы (ДРС) напорных фильтров являются перфорированные трубы, к отверстиям которых крепится сетка с размером ячеек не больше 0,5 мм [2]. Такие системы достаточно быстро кольматируются и в них происходит проскок пенополистирола, из-за чего необходимо устанавливать улавливатели загрузки. Также конструкция слишком металлоемка, из-за чего возникает ее коррозия и, как следствие, ухудшение качества фильтрата и снижение срока эксплуатации.

В качестве альтернативы были попытки применить колпочковые дренажные системы [2]. Однако такие системы со временем кольматировались и высокая стоимость такого дренажа ограничила его применение.

Согласно исследованиям, проведенным на кафедре водоснабжения и водоотведения ОГАСА, на протяжении последних лет изучается возможность применения пористых материалов в ДРС напорных фильтров с песчаными загрузками, которые внедрены на ряде объектов и показали хорошую работу [3]. В напорных фильтрах с плавающей загрузкой для нижнего и верхнего дренажа может быть предложена конструкция, представляющая систему пористых труб, расположенных радиально и подключенных к центральному сборному коллектору (рис. 1).

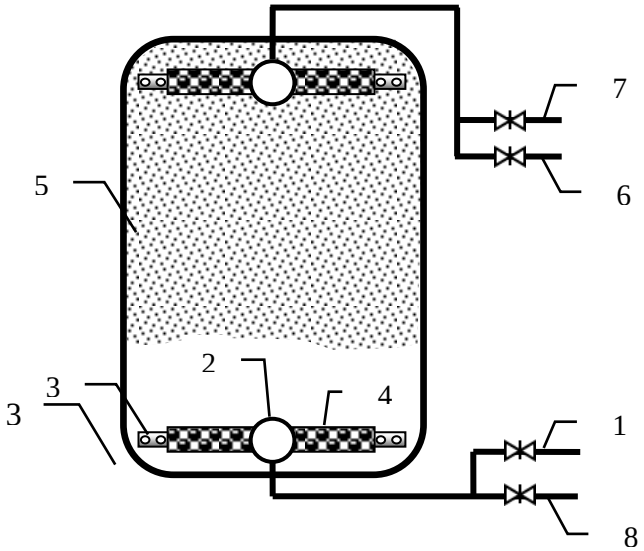

Рис. 1. Схема напорного пенополистирольного фильтра с полимербетонными дренажами: 1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – центральный коллектор; 3 – перфорированная пластмассовая труба; 4 – слой полимербетона; 5 – пенополистирольная загрузка; 6 – трубопровод отвода фильтрата; 7 – трубопровод подачи промывной воды; 8 – трубопровод отвода промывной воды

Пористые полимербетонные трубы могут изготавливаться с каркасом из перфорированных пластмассовых труб. В качестве материала для изготовления пористых конструкций может использоваться пористый полимербетон, изготовленный из гравия или щебня и эпоксидной смолы, марки ЭД–16 или ЭД–20 с отвердителем полиэтиленполиамином (ПЭПА), разрешенным Минздравом Украины в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. Этот материал обладает высокими прочностными характеристиками, повышенной химической стойкостью к агрессивному воздействию воды, обработанной реагентами, отсутствием биообрастанием в процессе длительной эксплуатации [4].

Крупность заполнителя пористого полимербетона подбирается такой, чтобы обеспечить пропуск загрязненной воды и не допустить проникновение зерен пенополистирола. Поскольку прочность пористых труб обеспечивает каркас, то, толщину полимербетона достаточно принять в пределах 25-30 мм.

Данная конструкция позволит предотвратить унос фильтрующей загрузки, улучшить равномерность сбора и отвода воды из фильтров, а также сократить расходы на их эксплуатацию, однако главным вопросом при использовании этих систем в напорных пенополистирольных фильтрах, является их кольматация зёрнами фильтрующей загрузки и загрязненной водой. Согласно исследованиям в работе [5], кольматация зёрнами фильтрующей загрузки значительнее.

Целью работы является исследования степени и динамики кольматации полимербетонного дренажа зёрнами пенополистирольной фильтрующей загрузки.

Методика исследования. Оценку степени кольматации полимербетона частичками фильтрующей загрузки производили сравнением коэффициента гидравлического сопротивления (C) с его начальным значением (C_o), полученным на чистой воде. Коэффициент C не зависит от скорости потока и температуры воды, а определяется гранулометрическим составом, степенью укладки зерен заполнителя, а также его пористостью. В связи с этим при изменении размеров пор из-за кольматации пористого полимербетона будет, происходить и изменение коэффициента C.

Коэффициент гидравлического сопротивления C определялся для случая напорного движения воды через пористый полимербетон по формуле [6]:

$$C = \frac{\Delta h}{V^n \cdot \nu^{2-n} \cdot b}. \quad (1)$$

где Δh – потери напора в слое полимербетона, см; V – скорость движения воды через полимербетон, см/с; ν – кинематическая вязкость воды, см^2/с; b – толщина пористого слоя, см; n – показатель степени, который определяется эмпирически (принят равным 1,67).

Экспериментальные исследования были условно разделены на два основных этапа:

- На первом этапе изучались гидравлические характеристики пористого полимербетона на чистой воде без загрузки.
- На втором этапе была исследована динамика кольматации полимербетона зернами плавающей загрузки.

Эксперименты проводились на лабораторной установке, представленной на рис. 2.

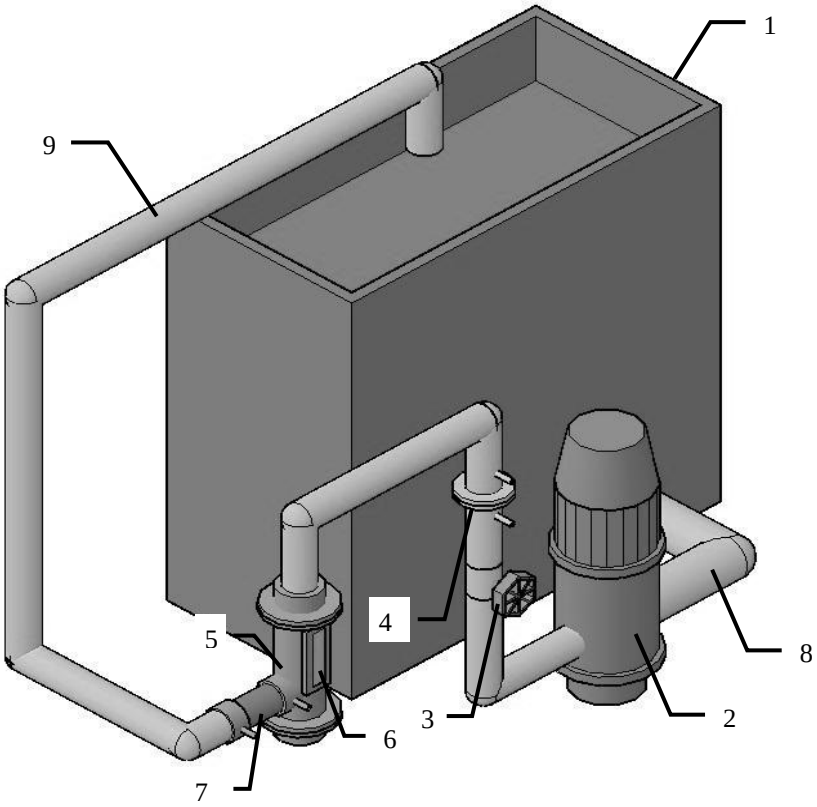

Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
1 – расходный бак; 2 – циркуляционный насос; 3 – вентиль для регулирования расхода воды; 4 – расходомерная шайба; 5 – установка для испытания образцов; 6 – смотровое окно; 7 – обойма с образцом полимербетона; 8 – трубопровод забора воды из бака в установку; 9 – трубопровод отвода воды из установки в бак

Испытываемые образцы изготовляли из гранитного щебня крупностью 3–5; 3–7; 3–10; 5–10; 7–10 и 10–14 в металлических обоймах диаметром 40 мм, высотой 50 мм. Для исключения пристенной фильтрации испытание образцов производилось в этих же обоймах.

Связующим материалом для заполнителя полимербетона была эпоксидная смола марки ЭД–20 с отвердителем полиэтиленполиамином.

При изучении гидравлических характеристик полимербетона на чистой воде без плавающей загрузки, воду подавали из бака 1, циркуляционным насосом 2, в установку 5, вода проходила через полимербетонный образец 7 и отводилась обратно в бак. На данном этапе были определенны начальные коэффициенты гидравлического сопротивления (C_o): 3–5 мм – C_o = 0,869; 3–7 мм – C_o = 0,848; 3–10 мм – C_o = 0,595; 5–10 мм – C_o = 0,321; 7–10 мм – C_o = 0,275; 10–14 мм – C_o = 0,158.

На втором этапе в установку 5 загружали фильтрующую загрузку из вспененного пенополистирола различной крупности: $d_з$=2÷5 мм, $d_{экв}$=2,8 мм; $d_з$ =1÷2 мм, $d_{экв}$ =1,1 мм; $d_з$ = 0,63÷3 мм, $d_{экв}$=1,25 мм. Воду подавали со скоростью, при которой плавающая загрузка взвешивалась, и полимербетонный образец находился в толще расширенной загрузки. В случае проскока пенополистирола через образцы, он всплывал в баке 1.

Результаты исследований. В результате исследований было выявлено, что просыпаемость фильтрующей загрузки через полимербетонные образцы была в: образце 10–14 мм ($d_з$=2÷5 мм, $d_{экв}$=2,8 мм); образцах 5–10 и 7–10 мм ($d_з$ =1÷2 мм, $d_{экв}$ =1,1 мм); образцах 3–10 ($d_з$ =0,63÷3 мм, $d_{экв}$ =1,25 мм).

Просыпаемость загрузки в образцах объясняется, по-видимому, наличием сквозных пор из-за большой крупности заполнителя полимербетона

Результаты по второму этапу представлены на графиках (рис. 3) зависимостью $\overline{C} = f(t)$, где $\overline{C} = C/C_o$.

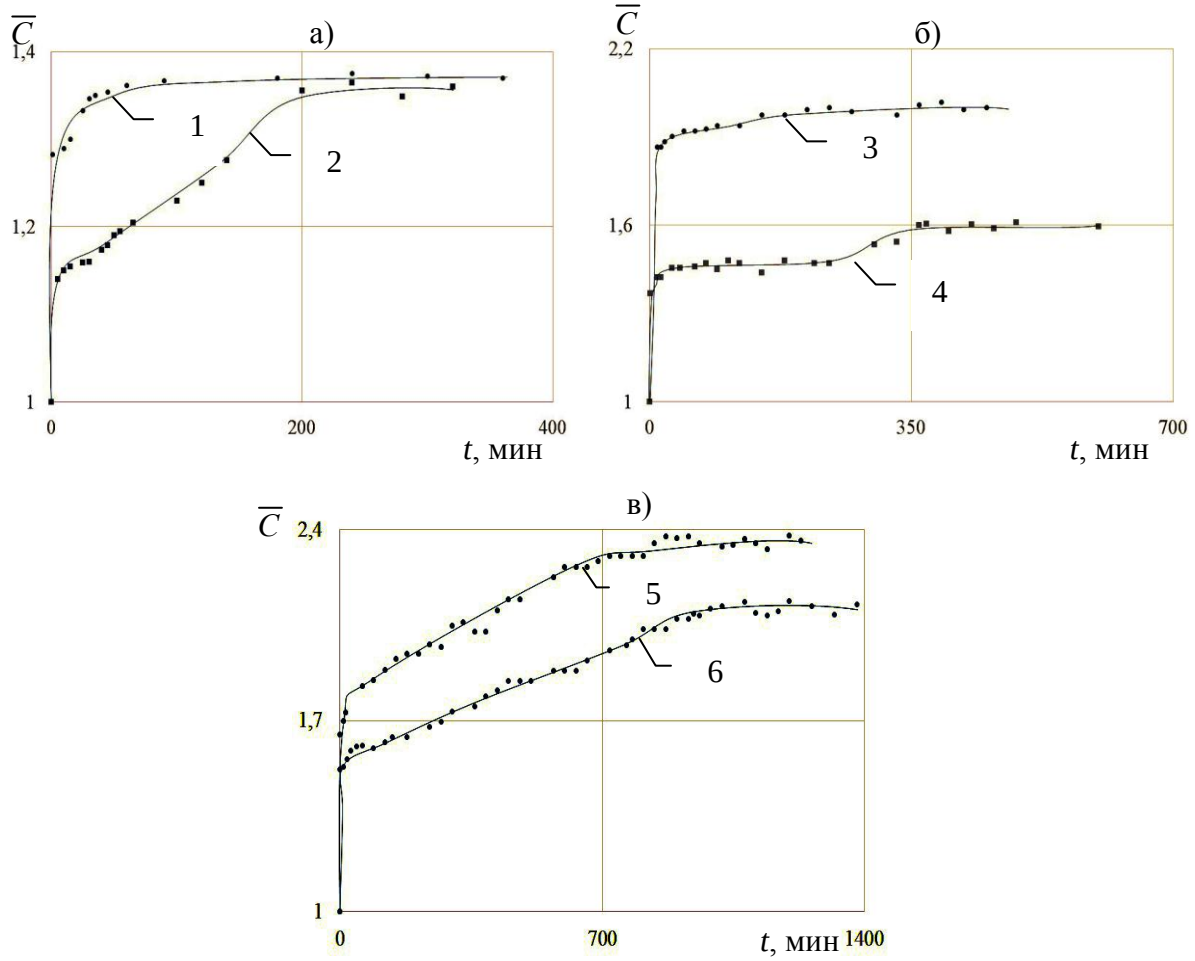

Рис. 3. Графики динамики кольматации полимербетонных образцов зёрнами пенополистирола: а – $d_з$=2÷5 мм, $d_{экв}$=2,8 мм; б – $d_з$ =1÷2 мм, $d_{экв}$ =1,1 мм; в – $d_з$ =0,63÷3 мм, $d_{экв}$ =1,25 мм; 1 – образец 5–10 мм; 2 – образец 7–10 мм; 3 – образец 3–10 мм; 4 – образец 3–5 мм; 5 – образец 3–7 мм; 6 – образец 3–5 мм

Анализ графиков на рис. 3 показывает, что вначале относительный коэффициент гидравлического сопротивления растёт, а затем наступает стабилизация и дальнейшего роста не наблюдается для всех типов образцов. Этот факт свидетельствует о том, что кольматация пористого полимербетона не является необратимой.

Рост коэффициента $\overline{C}$ особенно в начальные моменты времени связан с проникновением части зерен пенополистирола в поры заполнителя полимербетона. В процессе дальнейшего фильтрования воды через образцы проникновение зерен пенополистирола в поры заполнителя не происходит и наступает стабилизация. На рис. 4 представлены фотографии образцов после проведения опытов.

Рис. 4. Образцы после проведения опытов

Из рис. 4 видно, что в порах полимербетонных образцов, как и предполагалось раньше, остались зёрна пенополистирола. Однако следует отметить, что при промывке образцов обратным потоком воды, часть зёрен пенополистирола удалось вымыть. С расчетом на тот факт, что напорные пенополистирольные фильтры с восходящим потоком воды, работают с реверсивным потоком – при фильтровании вода движется снизу–вверх, а при промывке сверху–вниз, полимербетонный дренаж будет промываться автоматически и необратимая кольматация здесь также не будет происходить

Выводы:

1. Применение пористых материалов в конструкциях ДРС напорных фильтров с плавающей загрузкой позволяет значительно сократить потери дорогостоящих фильтрующих загрузок, улучшить равномерность сбора и распределения воды, повысить надежность работы фильтров. При этом необратимая кольматация пористого полимербетона не происходит, что подтверждается проведенными лабораторными исследованиями.

2. Задачей дальнейших исследований является внедрение пористых конструкций ДРС на действующих напорных фильтрах очистки воды.

Литература

1. Орлов В. Контактное обезжелезивание вод на пенополистирольных фильтрах. Монография / В. Орлов, С. Мартынов // Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 126 с.

2. Орлов В.О. Підготовка води на пінополістирольних фільтрах. Монографія / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, А. М. Орлова, В. О. Зощук, С. О. Куницький; під заг. ред. С. Ю. Мартинова. – Рівне : НУВГП, 2017. – 175 с.

3. Прогульный В.И. Промышленная апробация пористых сборно-распределительных систем напорных фильтров водоподготовки / В.И. Прогульный // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2011. – Вип.60. – С. 278-282.

4. Выровой В.Н. Особенности структурообразования и формирования свойств полимерных композиционных материалов / В.Н. Выровой, И.В. Довгань, С.В. Семенова. – Одесса: ТЭС, 2004. – 168 с.

5. Грабовский П.А. Интенсификация водоочистных фильтров. Водопостачання та водовідведення / П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина, В.И. Прогульный. – Київ, 2011. – №6. – С. 38-48.

6. Прогульный В.И. Исследование кольматации пористого полимербетона зернами пенополистирола / В.И. Прогульный, М.В. Рябков // Вісник НУВГП, Збірник наукових праць, Випуск 4(68), Технічні науки. – Рівне, 2014. – С. 150-155.

Refernces

[1] V. Orlov, S. Martynov, *Kontaktnoye obezzhelezivaniye vod na penopolistirol'nykh fil'trakh*. Monografiya, Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.

[2] V. Orlov, S. Martynov, A. Orlova, V. Zoshchuk, S. Kunyts′kyy, *Pidhotovka vody na pinopolistyrol'nykh fil'trakh. Monohrafiya*, Rivne: NUVHP, 2017.

[3] V.I. Progul'nyy, "Promyshlennaya aprobatsiya poristykh sborno-raspredelitel'nykh sistem napornykh fil'trov vodopodgotovki", *Naukoviy vísnik budívnitstva*, Kharkív: KHDTUBA, KHOTV ABU, Vol. 60, pp. 278-282, 2011.

[4] V.N. Vyrovoy, I.V. Dovgan', S.V. Semenova, *Osobennosti strukturoobrazovaniya i formirovaniya svoystv polimernykh kompozitsionnykh materialov*. Odessa.: TES, 2004.

[5] P.A. Hrabovskyy, H.M. Larkyna, V.Y. Prohul′nyy, "Yntensyfykatsyya vodoochystnykh fyl′trov", *Vodopostachannya ta vodovidvedennya*, Kyiv, no 6, pp. 38-48, 2011.

[6] V.Y. Prohul′nyy, M.V. Ryabkov, "Yssledovanye kol′matatsyy porystoho polymerbetona zernamy penopolystyrola", *Visnyk NUVHP, Zbirnyk naukovykh prats'*, Vypusk 4(68), Tekhnichni nauky, Rivne, pp. 150-155, 2014.

ПОРИСТИЙ ПОЛІМЕРБЕТОН В ДРЕНАЖАХ НАПІРНИХ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

В.І. Прогульний, д.т.н. професор,
varkadia@ukr.net
Н.О. Гуринчик, к.т.н. доцент
nagy@ukr.net
М.В. Рябков, асистент
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ryabkov491992@gmail.com

Анотація. У статті розглянута дуже важлива на сьогоднішній день проблема – інтенсифікація процесу фільтрування. В даний час найбільш поширеними схемами для очищення води на потреби підприємств є застосування напірних фільтрів. У статті розглянута актуальність застосування напірних пінополістирольних фільтрів, які можуть працювати з більш тривалим фільтроциклом і з більш великими швидкостями фільтрування. Однак, як показав аналіз літературних джерел в статті, в таких фільтрах є ряд проблем, пов'язаних з дренажними системами. Існуючі дренажні системи досить металоємні, через що можливе погіршення якості фільтрату в результаті корозії, також нерідко відбувається кольматація цих дренажних систем зернами фільтруючої засипки. Перераховані вище недоліки обмежують застосування таких фільтрів. Тому в статті проведено аналіз і запропоновано конструкцію дренажної системи на основі пористого полімербетону, яка покращує рівномірність розподілу і збору води, знижує винесення засипки і підвищує надійність роботи фільтрів. Однак, головним питанням при використанні дренажних систем з пористого полімербетону в пінополістирольних напірних фільтрах, є їх кольматація

зернами фільтруючої засипки і забрудненою водою. Для вирішення цих питань була розроблена установка для проведення дослідів по вивченню динаміки кольматації пористого полімербетону зернами фільтруючої засипки, також в статті описана методика проведення дослідів. В якості результатів дослідів наведені графіки залежності відносного коефіцієнта гідравлічного опору від часу. Аналіз графіків в статті показав, що спочатку відносний коефіцієнт гідравлічного опору зростає, а потім настає стабілізація і подальшого зростання не спостерігається для всіх типів зразків. Результати цих досліджень свідчать про те, що кольматація пористого полімербетону не є незворотною, а застосування пористих матеріалів в конструкціях дренажних систем напірних фільтрів з плаваючою засипкою дозволяють значно скоротити втрати дорогих фільтруючих матеріалів, а також збільшують надійність роботи цих фільтрів.

Ключові слова: пінополістирольний напірний фільтр, дренаж з полімербетону, кольматація.

POROUS POLYMER CONCRETE IN DRAINAGE OF PRESSURE FILTERS WITH EXPANDED POLYSTYRENE MEDIA

V. Progulny, D.Sc., Professor,
N. Gurinchik, Assistant Professor,
M. Ryabkov, Assistant,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ryabkov491992@gmail.com

Abstract. The article considers a very important problem for today - the intensification of the filtration process. At present, the most common scheme for water treatment for the needs of enterprises is the use of pressure filters. The article considers the urgency of the use of pressure polystyrene filters that can work with a longer filter cycle and with higher filtration rates. However, as it is shown by the analysis of literary sources in the article, such filters have a number of problems associated with drainage systems. Existing drainage systems are quite metal-intensive, due to which deterioration of the quality of the filtrate is possible as a result of corrosion, often also occurs the colmatation of these drainage systems by the grains of filter media. The above mentioned disadvantages limit the use of such filters. Therefore, in the article an analysis was made and the construction of a drainage system based on porous polymer concrete was proposed, which improves the uniformity of water distribution and collection, reduces the removal of filter media and increases the reliability of the filters. However, the main issue when using drainage systems from porous polymer concrete in foamed polystyrene pressure filters is their colmatation with grains of filter media and contaminated water. To resolve these issues, an installation for conducting experiments to study the dynamics of colmatation of porous polymer concrete by grains of filter media was developed, as well as the methodology of conducting experiments was described in the article. As results of the experiments, graphs of the dependence of the relative coefficient of hydraulic resistance on time are given. The analysis of the graphs in the article showed that initially the relative coefficient of hydraulic resistance increases, and then stabilization occurs and further growth is not observed for all types of samples. The results of these studies indicate that the colmatation of porous polymer concrete is not irreversible, and the use of porous materials in the design of drainage systems of floating media pressure filters can significantly reduce the cost of expensive filter materials, as well as increase the reliability of these filters.

Keywords: pressure filter with expanded polystyrene media, polymer concrete drainage, colmatation.

Стаття надійшла 14.03.2019