

УДК 628.1

**В. С. РОЖКОВ, Ю. Г. АКУЛОВА, Н. А. ГРЕБЕНЮК**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД НА ДРОБЛЕННОМ АНТРАЦИТЕ

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения дробленного антрацита в качестве однослойной загрузки скорых фильтров вместо кварцевого песка; получены зависимости для определения потерь напора в загрузке при различном качестве поступающей на фильтр воды и скорости ее фильтрования.

**Ключевые слова:** дробленный антрацит, потери напора, масса задержанных загрязнений, скорость фильтрования.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Традиционным фильтрующим материалом на скорых фильтрах водопроводных очистных сооружений является кварцевый песок. Его физико-химические свойства позволяют извлекать из воды взвешенные вещества, он химически инертен, не выделяет в фильтруемую воду никаких примесей, обладает повышенной грязеемкостью. Он легко отмывается от задержанной взвеси, не измельчается и не истирается при промывке, стоек против химического воздействия на него фильтруемой воды. Это дефицитный материал, его месторождения обычно содержат 20...30 % пригодного песка. Ближайшее к Донбассу месторождение (Просьянский карьер) находится в Днепропетровской области, [1] далекарьеры расположены на территории России. Самыми известными можно назвать следующие: Березицкое, находящееся в Калужской области, Козловское (находится в Брянской области), а также месторождение Московской области – Чулковское. Наиболее приближенное к Донбассу со стороны РФ Елшанское месторождение, расположенное в Волгоградской области. Таким образом, Донбасс испытывает некоторую затрудненность в доставке кварцевого песка для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения. Поэтому в таких условиях целесообразно рассмотреть местные фильтрующие материалы для использования в коммунальном хозяйстве.



Рисунок 1 – Дробленный антрацит. Общий вид.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В качестве фильтрующей загрузки может быть рассмотрен дробленный антрацит [2], его получают измельчением угля различных марок. Дробленный антрацит представляет собой гранулы неправильной формы черного цвета с блестящими гранями. Фото дробленного антрацита представлено на рис. 1. Его физико-механические свойства характеризуются следующими параметрами: насыпная объемная масса 700...900 кг/м<sup>3</sup>, плотность 1,7 г/см<sup>3</sup>, пористость 52...58 %, коэффициент формы 1,5...2,5. По требованиям СП 31.13330.2012 дробленный антрацит может использоваться на скорых фильтрах с двухслойной загрузкой совместно с кварцевым песком [3].

Как и к другим фильтрантам, к антрациту предъявляются определенные требования по механической прочности, химической стойкости, гранулометрическому составу. Нормируется диаметр зерен пределами от 0,8 до 1,8 мм (эквивалентный диаметр 0,9–1,1 мм) и коэффициент неоднородности величиной 1,6...1,8 [3]. Размеры формчастиц, коэффициенты неравномерности антрацитовых загрузок и других фильтрантов имеют доказанное влияние на качество очистки, грязеемкость фильтров [4–5].

Рекомендуемая высота слоя антрацита в двухслойном фильтре 0,4...0,5 м. Использование антрацитовых фильтрантов в двухслойных загрузках в качестве верхнего слоя изучено достаточно хорошо [6–9]. Применение же дробленого антрацита как загрузки для однослойных скорых фильтров в настоящее время не имеет научно обоснованных технологических параметров.

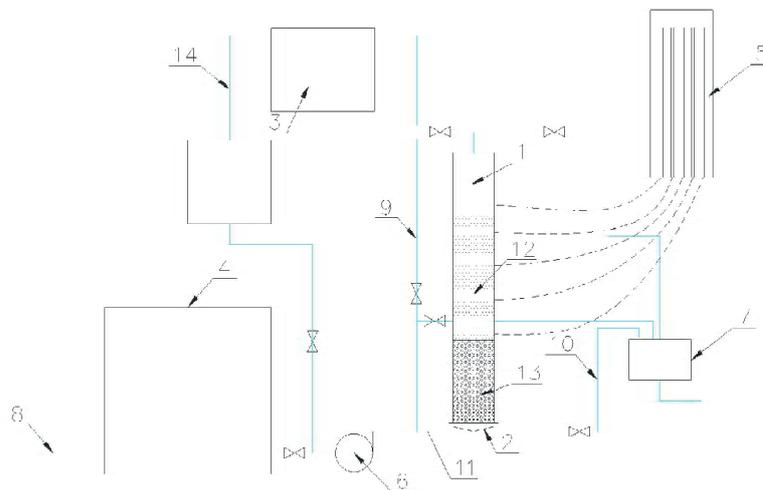
К основным параметрам процесса фильтрования относят такие величины, как скорость фильтрования  $V$ , грязеемкость материала  $G$  и продолжительность фильтроцикла  $\tau$ .

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение взаимозависимостей основных параметров фильтрования при использовании антрацита как материала загрузки однослойных фильтров при очистке природных вод.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ, СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.



**Рисунок 2** – Схема фильтровальной установки: 1 – фильтровальная колонка; 2 – дырчатое дно; 3 – бак постоянного уровня; 4 – бак исходной воды; 5 – пьезометрический щит; 6 – насос; 7 – сброс в канализацию; 8 – водопроводная вода; 9 – подача исходной воды; 10 – сброс фильтрата; 11 – подвод промывной воды; 12 – фильтрующий слой дробленого антрацита, 13 – поддерживающий слой гравия; 14 – перелив.

Основным элементом установки является фильтровальная колонка 1 с внутренним диаметром 58 мм и высотой 1,8 м, представляющая собой модель скорого фильтра, загруженного дробленым антрацитом крупностью 0,4...1,6 мм и поддерживающим слоем из гравия крупностью от 10...20 до 5...2 мм.

Распределительная система выполнена в виде дырчатого днища 2 и представляет собой дренаж с горизонтальной компенсацией. Вода фильтруется в направлении сверху вниз; исходная вода подводится из бака постоянного уровня 3. В этот бак вода подается насосом 6 из бака исходной воды 4, где приготавливается путем замутнения воды из водопровода глинистой суспензией. Потери напора в слоях фильтрующей загрузки в процессе фильтрования определяются с помощью пьезометрических трубок 5, присоединяемых к полости фильтра пробоотборниками, служащими также для отбора проб очищаемой воды из толщи фильтрующей загрузки.

Согласно предварительной схеме эксперимента фильтрование проводилось при постоянном уровне воды над фильтром с постоянной нагрузкой, которая поддерживалась в процессе фильтрования открытием вентиля на сбросной линии 10.

Поддержание постоянного уровня воды над зернистой загрузкой и постоянной скорости фильтрации не реализуемо в практике фильтрования, однако позволяет в лабораторных условиях достаточно точно определить гидравлические характеристики фильтрующей загрузки.

Фото лабораторной установки приведено на рис. 3.



Рисунок 3 – Фотоизображение лабораторной установки.

Варьируемыми параметрами в лабораторных опытах являлась гидравлическая нагрузка (скорость фильтрования) в пределах 6,4...15 м/ч (6, 4, 10 и 15 м/ч). Концентрация поступающих загрязнений, представленных мелкодисперсными глинистыми частицами, составляла 16...22 мг/л и контролировалась в течение эксперимента каждый час.

Для определения основных параметров фильтрования выполнено 3 серии экспериментов, которые характеризовались соответствующими гидравлическими нагрузками.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для учета степени засорения фильтрующей загрузки принято использовать понятие массы задержанных загрязнений, которая определялась:

$$\Delta M = W \cdot \Delta C, \quad (1)$$

где  $W$  – объем фильтрующейся жидкости, пропущенный сквозь зернистую загрузку в период времени  $\tau$  от начала фильтроцикла, л;  
 $\Delta C$  – разница концентраций взвеси на входе и выходе из загрузки, г/л.

Функцией отклика являлись потери напора в фильтрующем элементе в целом.

Результаты экспериментов представлены на рис. 4.

Обработка результатов экспериментов производилась с помощью программного комплекса DataFit, с помощью которого определена наиболее адекватная зависимость для описания процесса фильтрования ( $R^2 = 0,99676$ ). Зависимость потери напора в фильтрующей загрузке от массы задержанных загрязнений и скорости фильтрования, согласно полученных результатов, для антрацитовый однослойной загрузки следует определять по формуле (2) либо (3).

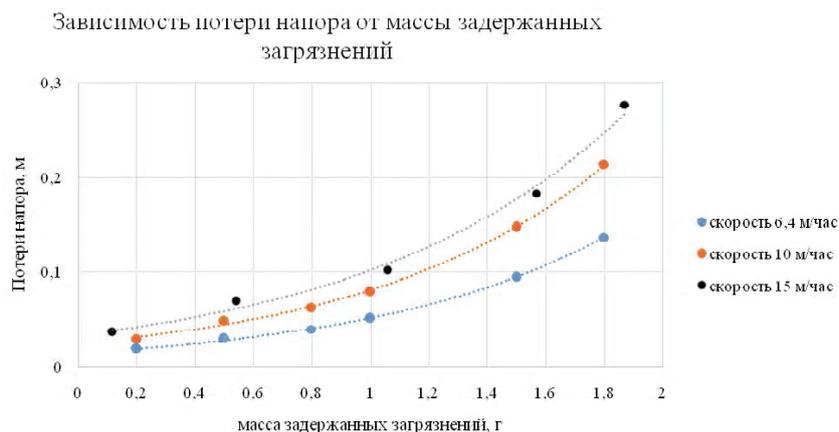


Рисунок 4 – Результаты экспериментов.

$$\Delta H = 0,216 \cdot 3,1011^{\Delta M} \cdot V^{0,996}, \quad (2)$$

$$\Delta H = 0,216 \cdot 3,1011^{V \cdot \omega \cdot \tau \cdot \Delta C} \cdot V^{0,996}, \quad (3)$$

где  $\Delta H$  – потери напора, м;  
 $V$  – скорость фильтрации, м/час;  
 $\omega$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  – период времени от начала фильтроцикла, час.

Полученные зависимости позволяют определить потери напора в фильтрующей загрузке в любой временной точке фильтроцикла в зависимости от концентрации поступающих загрязнений и скорости фильтрации.

Следует отметить, что степень у скорости фильтрации в формулах 2 и 3 отличается от единицы (согласно закону Дарси), что связано с изменением коэффициента фильтрации зернистой загрузки во времени. Причиной изменения коэффициента фильтрации может быть как заиливание пор фильтровального элемента, так и уплотнение загрузки в процессе фильтрации.

## ВЫВОДЫ

На основании лабораторных исследований получена зависимость, связывающая потери напора в фильтрующей загрузке из дробленного антрацита со скоростью фильтрации и с концентрацией взвесей в исходной воде.

Установлен нелинейный характер зависимости потерь напора от скорости фильтрации при загрязнении фильтрующей загрузки взвешенными веществами. Полученная зависимость позволяет определять технологические параметры фильтрации при разработке однослойных фильтров с загрузкой из дробленного антрацита.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев, В. Н. Маслак, Н. И. Зотов. – Макеевка : ДГАСА, 1999. – 277 с.
2. Благая, А. В. Экспериментальне обґрунтування можливості використання антрацитового фільтранту в існуючих схемах очистки води для централізованого водопостачання [Текст] / А. В. Благая // Український науково-медичний молодіжний журнал. Профілактична медицина. – 2009. – № 1. – С. 52–53.
3. СП правил СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – Введ. 2013-01-01 / ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ "Строительство"». – М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 124 с.
4. Experimental study concerning the distribution of granular particles hape from afilter layer [Text] / Oana Irimia, Valentin Nedeff, Mirela Panainte Lehadus, Claudia Tomozei // Journal of Engineering Studies and Research. – 2016. – Volume 22, No. 1. – PP. 64–71.
5. Necessity for replacing the filter media in the water treatment plant based on effective size and uniformity coefficient [Electronic resource] / Mohsen Memarzadeh, Mohammad Mehdi Amin, Hossein Mostafavi, Reza Kolivand, Mohsen

- Heidari // Environmental Health Engineering. – Access mode : <http://www.ijehe.org/article.asp?issn=2277-9183; year=2012; volume=1; issue=1; spage=50; epage=50; aulast=Memarzadeh>.
6. Самофалов, В. С. Антрацитовые фильтранты [Текст] / В. С. Самофалов, М. А. Передерий, Ю. И. Кураков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2004. – № S1. – С. 92–102.
  7. Самофалов, В. С. Переработка антрацита в сорбционные материалы различного назначения [Текст] : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.17.07 – Химия и технология топлив и специальных продуктов / Валентин Сергеевич Самофалов. – Москва : [б. и.], 2004. – 28 с.
  8. Передерий, М. А. Дробленые и гранулированные сорбенты из антрацита [Текст] / М. А. Передерий, Ю. И. Кураков, В. С. Самофалов // Химия твердого топлива. – 2004. – № 3. – С. 46–59.
  9. Пат. 2238787, Россия МПК 7В 01D 39/02 А, 7В 01J 20/16 В. Загрузка контактного фильтра для очистки природных вод [Текст] / С. Н. Линевич, Л. Н. Фесенко, С. С. Богданов, С. И. Игнатенко ; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). – № 2003112774/15 ; заявл. 29.04.2003 ; опубл. 27.10.2004.

Получено 03.10.2018

В. С. РОЖКОВ, Ю. Г. АКУЛОВА, Н. А. ГРЕБЕНЮК  
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУВАННЯ ПРИРОДНИХ ВОД НА  
ДРОБЛЕНОМУ АНТРАЦИТІ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Розглянута можливість застосування дробленого антрациту як одношарового завантаження швидких фільтрів замість кварцового піску; отримані залежності для визначення втрат напору в завантаженні при різній якості води, що подається на фільтр та швидкості її фільтрування.

**Ключові слова:** дроблений антрацит, втрати напору, маса затриманих забруднень, швидкість фільтрування.

VITALY ROZHKOV, JULIA AKULOVA, NATALIYA GREBENYUK  
DETERMINATION OF FILTRATION PARAMETERS THROUGH CRUSHED  
ANTHRACITE OF NATURAL WATERS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The possibility of crushed anthracite using as a single-layer load of high-speed filters instead of quartz sand was considered; dependences are obtained to determine the pressure loss in the load with different quality of water entering the filter and its filtration rate.

**Key words:** crushed anthracite, pressure loss, mass of delayed contamination, filtration rate.

**Рожков Виталий Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: моделирование биохимических процессов в очистке сточных вод, системы оборотного водоснабжения, очистка сточных вод от биогенных элементов.

**Акулова Юлия Геннадиевна** – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка природных и сточных вод, процессы фильтрации.

**Гребенюк Наталья Александровна** – магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка природных и сточных вод, процессы фильтрации.

**Рожков Віталій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: моделювання біохімічних процесів в очищенні стічних вод, системи зворотнього водопостачання, очищення стічних вод від біогенних елементів.

**Акулова Юлія Геннадіївна** – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення природних та стічних вод, процеси фільтрування.

**Гребенюк Наталія Олександрівна** – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення природних та стічних вод, процеси фільтрування.

**Rozhkov Vitaly** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modeling of biochemical processes in sewage treatment, water recycling system, waste water treatment from nutrients.

**Akulova Julia** – Assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural and waste water treatment, filtration processes.

**Grebennyuk Nataliya** – Master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: natural and waste water treatment, filtration processes.