

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ФИЛЬТРОВ ФОПС® И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

<sup>1</sup>М.П. Федоров, <sup>2</sup>В.Н. Чечевичкин, <sup>2</sup>З.В. Наумова, <sup>2</sup>М.А. Тряскин, <sup>2</sup>А.В. Чечевичкин, <sup>2</sup>Л.А. Якунин

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
<sup>2</sup>Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Проведена оценка проблем, связанных с очисткой поверхностного стока, загрязнённого взвешенными веществами. Рассмотрены особенности морфологии и состава частиц взвешенных веществ, содержащихся в поверхностном стоке. Представлена конструкция и описан принцип работы разработанного экспериментального стенда для испытаний по определению эффективности задержания твёрдых частиц различными фильтрующими материалами и фильтрами ФОПС® в натуральную величину. Показано, что узкие по распределению размеров частиц фракции природного цеолита можно использовать для оценки как возможностей задержания взвешенных веществ фильтрующими материалами (или фильтрами типа ФОПС®), так и пористой структуры волокнистых фильтрующих материалов.

*Ключевые слова:* фильтр ФОПС®, поверхностный сток, испытательный стенд, взвешенные вещества, очистка сточных вод от взвешенных веществ

Статья поступила в редакцию 12.09.2024, доработана 22.11.2024, принята к публикации 25.11.2024

## Universal Bench for Full-scale Tests of FOPS® Filters and Modeling of Suspended Solids Pollution

<sup>1</sup>M.P. Fedorov, <sup>2</sup>V.N. Chechevichkin, <sup>2</sup>Z.V. Naumova, <sup>2</sup>M.A. Tryaskin, <sup>2</sup>A.V. Chechevichkin, <sup>2</sup>L.A. Yakunin

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251 St. Petersburg, Russia,  
<sup>2</sup>Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, Engineering and Construction Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251 St. Petersburg, Russia

The problems related to the treatment of surface runoff polluted by suspended solids are evaluated. The peculiarities of morphology and composition of suspended solids particles contained in surface runoff are considered. The design and the principle of operation of the developed experimental testing bench for tests to determine the efficiency of retention of solid particles by different filtering materials and life-size FOPS® filters are presented. It is shown that narrow particle size distribution fractions of natural zeolite can be used to evaluate both the retention of suspended solids by filter materials (or FOPS® filters) and the porous structure of fiber filter materials.

*Keywords:* FOPS® filter, surface runoff, testing bench, suspended solids, suspended solids wastewater treatment

Received 12.09.2024, revised 22.11.2024, accepted for publication 25.11.2024

DOI: 10.18412/1816-0395-2025-1-10-15

**П**оверхностный сток (ПС), формирующийся на территориях промышленных площадок и на сельских территориях в городах, всегда содержит взвешенные вещества (ВВ) различной природы [1], которые значительно влияют не только на экологическую ситуацию в них, но и на работу канализационных сетей.

Увеличение транспортной нагрузки на дорогах приводит к повышению содержания ВВ в

ПС [2, 3], причём не только за счёт поступления в них продуктов жизненного цикла автотранспорта (продукты износа механизмов и корпуса, шин, аэрозольные выхлопы и др.), но и вследствие разрушения полотна дороги, а также диспергирования мусора растительного происхождения (ветки, листья и др.) автотранспортом.

ВВ в ПС отличаются широким разнообразием как по морфологии, так и по размеру ча-

стиц. Морфологически ВВ могут быть соотнесены с источниками их образования: натуральные (песок, почва, растительные и биологические остатки и др.), техногенные (аэрозоли автотранспорта, нерастворимые формы тяжёлых металлов (ТМ), продукты деструкции зданий и дорожных покрытий), антропогенные (мусор). Наиболее опасной разновидностью ВВ являются техногенные, и в частности ТМ, нерастворимые формы которых

присутствуют в ПС в значительных количествах (табл. 1). При поступлении с ПС в водоёмы ВВ накапливаются в донных осадках в запредельных количествах, представляя угрозу для биоценозов этих водоёмов.

Сброс неочищенного ПС, в том числе и от ВВ, в водные объекты категорически запрещён [4]. Наиболее простое и распространённое оборудование для очистки ПС от ВВ — отстойники и фильтровальные устройства [1], расчёт конструкции которых невозможен без адекватного использования такой важнейшей характеристики ВВ, как размер частиц. Нормативная база [4] оперирует только с общими концентрациями ВВ в ПС, совершенно игнорируя размер частиц, их физико-химические свойства и морфологические особенности. Например, при расчётах скорости оседания частиц ВВ в отстойниках весьма важно влияние на этот параметр плотности частицы и её формы [5]. Относительно размера частиц ВВ предлагается их условное деление на крупные (более 150 мкм) и мелкие (менее 150 мкм).

С другой стороны, фильтрующие пористые среды (особенно волокнистые) имеют чрезвычайно сложную по форме систему сообщающихся пор, трудно описываемую общепринятыми моделями [6]. Для оценки подобных сложных пористых сред наиболее простым в использовании и трактовке результатов является пенетрационный (ситовой) подход, когда с помощью калиброванных по размерам частиц (частиц-зондов) определяют задерживающую способность среды. Прохождение твёрдых частиц через фильтрующую среду в любом случае связано с их взаимодействием с поверхностью этой среды (ситовое, адгезионное, электростатическое). В этом случае размер частиц-зондов, их морфология и материал очень важны, поскольку они должны соотноситься с характеристиками пористой структуры фильтрующих материалов.

Для систем локальной очистки ПС наиболее целесообразно использовать фильтрационные материалы, упакованные стандартным способом в водо-

**Таблица 1. Концентрации ТМ в растворённой и нерастворённой формах в ПС с автомобильной дороги в Санкт-Петербурге**

**Table 1. Concentrations of HM in dissolved and undissolved forms in runoffs from a highway in St. Petersburg**

Загрязнитель	Концентрация в пробе I (26.11.2018)				Концентрация в пробе II (12.03.2019)			
	Валовая	Растворённая	Нерастворённая		Валовая	Растворённая	Нерастворённая	
	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	%	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	%
Алюминий	5,5	0,65	4,85	88	3,8	0,87	2,93	77
Железо	13,0	0,24	12,76	98	1,8	0,34	1,46	81
Кадмий	0,001	< 0,0002	> 0,0008	> 80	0,008	< 0,002	> 0,008	> 75
Марганец	4,85	0,145	4,705	97	0,20	0,06	0,14	70
Медь	0,160	0,015	0,145	91	0,130	0,022	0,108	83
Никель	0,025	0,006	0,019	76	0,011	0,003	0,008	73
Свинец	0,027	0,003	0,024	89	0,016	0,004	0,012	75
Хром	0,023	< 0,005	> 0,018	> 78	0,018	< 0,005	> 0,013	> 72
Цинк	1,1	0,27	0,83	76	0,41	0,066	0,34	83
ВВ	–	–	320	–	–	–	80	–

проницаемые и удобные для эксплуатации контейнеры (фильтрующие патроны), из которых наиболее разработанными в техническом и практическом плане являются фильтры ФОПС® [7], позволяющие удалять ВВ из ПС в широком диапазоне размеров частиц и их концентраций (ФОПС®-С, ФОПС®-М, ФОПС®-К).

С целью проведения испытаний промышленно выпускаемых фильтров ФОПС® по удалению ВВ заданного размера частиц и их концентраций на базе лаборатории "Технологии очистки промышленных и поверхностных сточных вод" Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого был создан универсальный стенд, конструкция и возможности которого в отношении очистки ПС от нефтепродуктов и ТМ были описаны ранее [8, 9]. В настоящей работе рассматривается конструкция и принцип работы той части стенда, которая обеспечивает при проведении испытаний создание и контроль заданных (и воспроизводимых) концентраций твёрдых частиц определённого размера, имитирующих ВВ в ПС. Внешний вид стенда представлен на рис. 1, а гидравлическая схема его части, предназначенной для работы с ВВ, на рис. 2.

В испытательный пластиковый колодец 1 (цилиндрическая ёмкость диаметром 0,7 м и высотой 2,3 м) устанавливают испытуемый фильтр 2 (фильтр ФОПС® или другой аналогичный

по размерам фильтрующий патрон) на опорное кольцо 3 [8, 9].

Вода после фильтра 2 из колодца 1 поступает на установку определения массового расхода, состоящую из калиброванной ёмкости 4 и платформенных весов 5. Модельные растворы ВВ (взвеси) готовят на основе очищенной воды сети ХВС в соответствии с рекомендациями [9, 10].

Исходную (полидисперсную) суспензию 6 готовят из измельчённой и просеянной через сито с размером ячеек 250 мкм (оста-



**Рис. 1. Стенд для испытаний по определению эффективности удаления ВВ**

**Fig. 1. Test bench for determining the efficiency of HS removal**

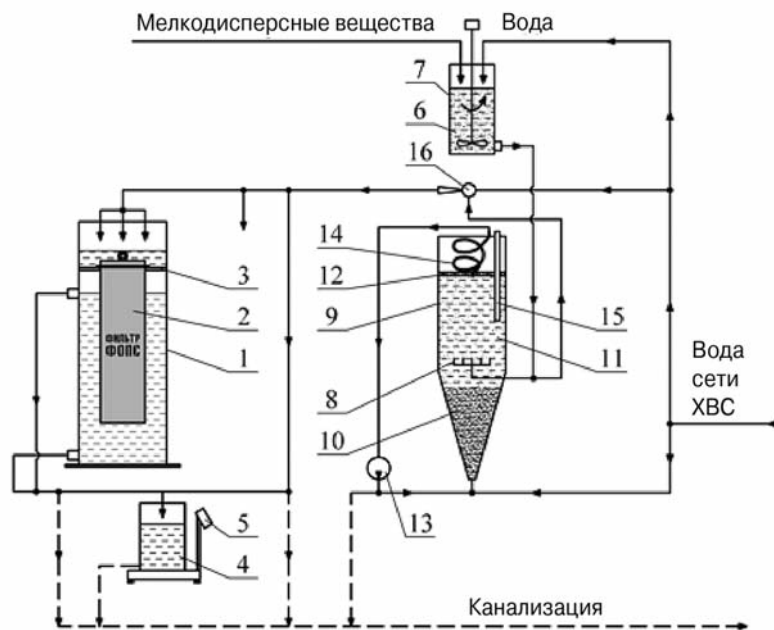


Рис. 2. Гидравлическая схема стенда  
Fig. 2. Hydraulic scheme of the test bench

ток на поддоне) фракции тест-материала в ёмкости 7, снабжённой лопастной мешалкой. После перемешивания суспензии в течение не менее 0,5 ч её подают для отмытки от пыли через распределитель 8 самотёком в сепарационную колонну 9 оригинальной конструкции, использующую для выделения заданных фракций метод Гамильтона [11]. Через сепарационную колонну 9 пропускают очищенную воду сети ХВС с заданным расходом (для отмытки полидисперсной суспензии от пылевых

частиц размером менее 3,0 мкм). Поток воды через контур промывки проходит через конусную часть 10 сепарационной колонны 9, где находятся все частицы суспензии крупнее 3,0 мкм, поступает в её цилиндрическую часть 11, из которой выходит через плавающую верхнюю крышку 12. Далее поток воды с частицами менее 3,0 мкм, которые он уносит из сепарационной колонны 9, поступает в канализацию. Сепарационная колонна 9 снабжена циркуляционным насосом 13, гибким спиральным трубо-

проводом 14 (для свободного движения плавающей крышки 12 внутри колонны 9), а также устройством отбора проб 15.

При заданной скорости циркуляции (соответствующей зависимости некоторого количества частиц суспензии, близких по размеру), которую обеспечивает насос 13, более крупные частицы остаются в конусной части 10, а более мелкие уносятся потоком воды из пространства колонны 9.

Таким образом, последовательно задавая скорость воды в контуре промывки, можно получать в цилиндрической части 11 некоторое количество близких по размеру "зависших" частиц, концентрацию и размер которых в пробах, отбираемых с помощью устройства 15, определяли с помощью фотометрического [10] и микроскопического [12] методов анализа соответственно.

После определения размера частиц и их концентрации суспензия "зависших" частиц из цилиндрической части 11 с помощью эжектора 16 подаётся на верхнюю часть фильтра 2 (при работающем циркуляционном насосе 13). При этом количество жидкости в цилиндрической части 11 колонны 9 уменьшается, а плавающая верхняя крышка 12 опускается в соответствии с уровнем воды.

Эжектор, применявшийся в работе, был выполнен из коррозионно-стойкой стали и характеризовался относительной подачей  $q = 0,45$ , которая при общем расходе  $(2000 \pm 20)$  дм<sup>3</sup>/ч обеспечивала эжектируемый расход  $(900 \pm 10)$  дм<sup>3</sup>/ч. При этом дозирование объёма испытываемой фракции (90 дм<sup>3</sup>) из цилиндрической части 11 за время 6 мин обеспечивало рабочую концентрацию взвешенных веществ, подаваемых на фильтр 2, в пределах от 100 до 500 мг/дм<sup>3</sup>.

В качестве тест-материала используется клиноптилолитовая порода (КП-порода) Бадинского месторождения (Читинская область, РФ). Выбор КП-породы основан на её уникальных свойствах [13], основные из которых — высокая механическая прочность, химическая стойкость, а также относительно низкая плотность. КП-породы представляют собой каркасные алю-

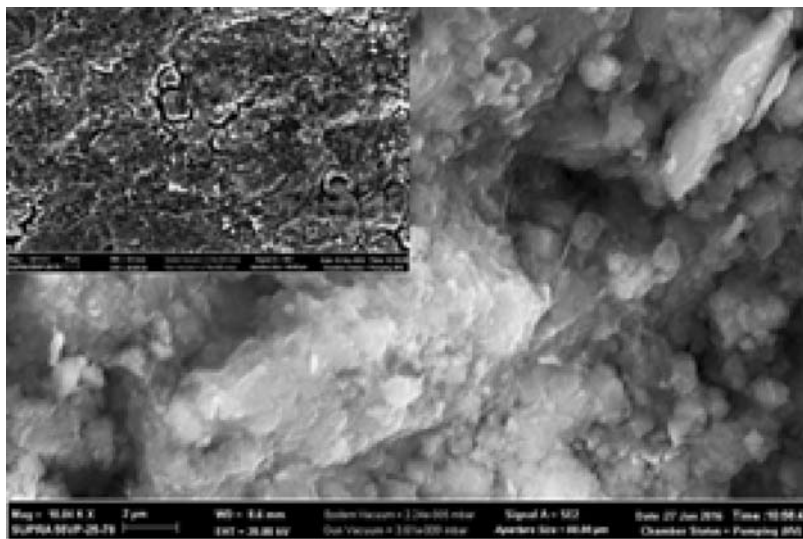


Рис. 3. Электронно-микроскопические изображения поверхности исходной КП-породы Бадинского месторождения (x 4500 – основное изображение; x 300 – изображение сверху слева)

Fig. 3. Electron-microscopic images of the surface of the initial CP-rock of the Badinsky deposit (x 4500 – main image; x 300 – top left image)



мосиликаты [13], которые хорошо измельчаются и имеют высокую доступность вследствие наличия в России большого количества их промышленных месторождений. Преимуществом использования КП-пород в качестве тест-материала для получения узких по размерам различных фракций взвешенных веществ по сравнению с речным песком или жильным дроблёным кварцем является их низкая кажущаяся (от 1,10 до 1,50 г/см<sup>3</sup>) и насыпная (от 0,75 до 1,25 г/см<sup>3</sup>) плотность, что требует соответственно меньших расходов воды для гидравлического фракционирования в колонне 9.

На рис. 3 приведены электронно-микроскопические фотографии поверхности КП-породы Бадинского месторождения, характеризующие её морфологию и пористую структуру. Видно, что порода представляет собой плотносцементированную структуру с включениями микрорезинок клиноптилолита размером не более 1,5x1,5 мкм.

На рис. 4 показана экспериментальная зависимость линейной скорости воды ( $v_n$ , мм/с), обеспечивающей "зависание" частиц тест-материала в цилиндрической части 11 (см. рис. 2) сепарационной колонны 9, от размера частиц ( $d_n$ , мкм) КП-пород различных месторождений (Бадинского, Шивыртуйского, Холинского — Восточная Сибирь, Чугуевского — Приморский край, Сокирницкого — Украина). Видно, что значения  $v_n$  для частиц различных размеров и различных месторождений удовлетворительно укладываются на общую зависимость типа  $v_n \sim d_n^2$ , что говорит о соблюдении условий нахождения частиц тест-материала в потоке воды по Стоксу [14].

На рис. 5 представлены кривые распределения доли частиц различных размеров в составе полученных фракций, а на рис. 6 и 7 — фотографии их внешнего вида в проходящем свете. Размеры частиц определяли при помощи линейных измерений их проекций на фотографиях оптической микроскопии в отражённом свете [12] видимого диапазона при помощи микроскопа "Биолам-И" (Россия), снабжённого цифровой камерой

"Myscope 130M" ("Webbers", Китай). Эквивалентные диаметры частиц ( $d_n$ , мкм) рассчитывали из площадей проекций этих частиц, определяемых с помощью редактора растровых изображений "Adobe Photoshop" [15] на фотографиях. Калибровку камеры проводили при помощи объект-микрометров проходящего и отражённого света "ОМП-1" и "ОМО-1" (Россия).

Из рис. 5 видно, что все полученные фракции характеризуются отчётливыми максимумами на достаточно узких кривых распределения, что позволило в дальнейшем использовать их (количество узкофракционированного

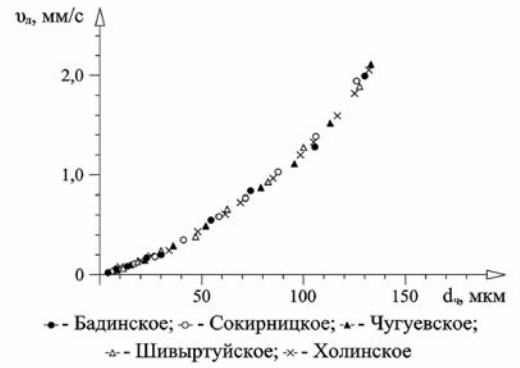


Рис. 4. Экспериментальная зависимость линейной скорости воды ( $v_n$ ), обеспечивающей "зависание" частиц КП-пород различных месторождений, от их размера ( $d_n$ )

Fig. 4. The experimental dependence of the linear water velocity ( $v_n$ ), providing "hanging" of CP-rock particles of different deposits, on their size ( $d_n$ )

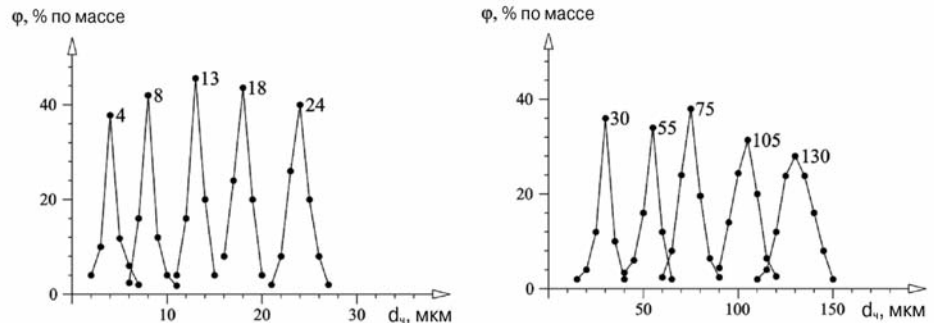


Рис. 5. Кривые распределения доли ( $\phi$ ) частиц различных размеров ( $d_n$ ) КП-породы Бадинского месторождения в составе полученных фракций (цифры при вершинах пиков соответствуют размерам частиц максимума их распределения)

Fig. 5. Distribution curves of the proportion ( $\phi$ ) of particles of different sizes ( $d_n$ ) of CP-rock from the Badinsky deposit in the composition of the obtained fractions (the figures at the peaks correspond to the particle sizes of the maximum of their distribution)

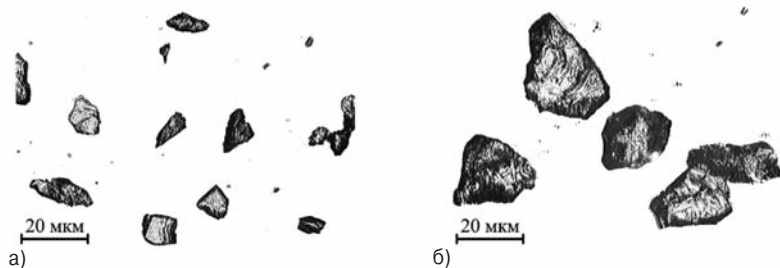


Рис. 6. Микрофотографии частиц КП-породы (Бадинское месторождение, x700), соответствующих максимумам фракций 8 мкм (а) и 30 мкм (б)

Fig. 6. Microphotographs of CP-rock particles (Badinsky deposit, x700), corresponding to maximum fractions of 8 microns (a) and 30 microns (b)

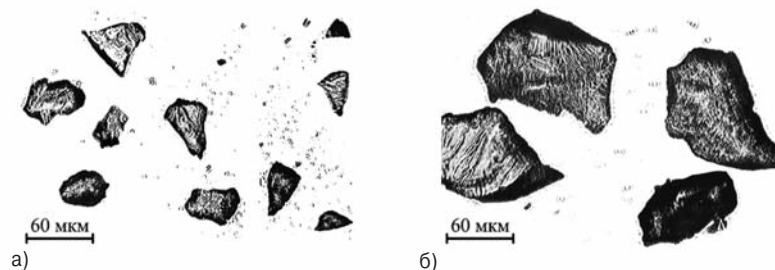
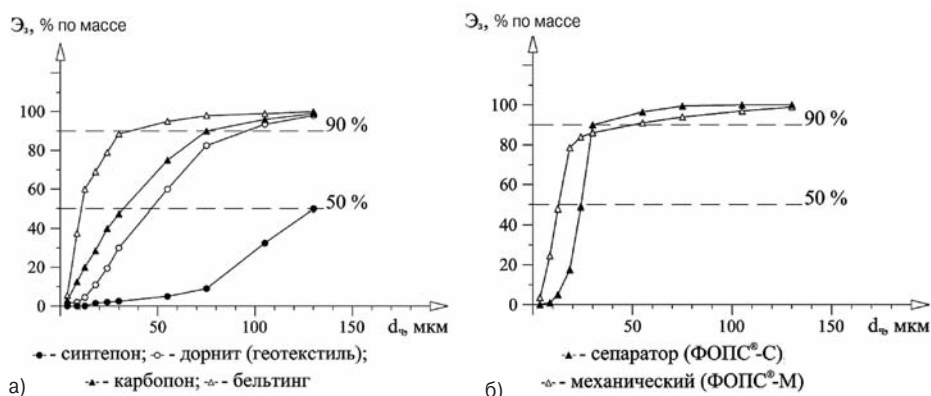


Рис. 7. Микрофотографии частиц КП-породы (Бадинское месторождение, x230), соответствующих максимумам фракций 55 мкм (а) и 105 мкм (б)

Fig. 7. Microphotographs of CP-rock particles (Badinsky deposit, x230), corresponding to maximum fractions of 55 microns (a) and 105 microns (b)



**Рис. 8. Зависимости эффективности задержания ( $\mathcal{E}_3$ ) частиц КП-породы от их размера ( $d_n$ ) для листовых фильтрующих материалов (а) и фильтров ФОПС® (б)**  
**Fig. 8. Dependences of retention efficiency ( $R_E$ ) of CP-rock particles on their size ( $d_n$ ) for sheet filtering materials (a) and FOPS® filters (b)**

материала в этих фракциях, полученных за один цикл, составило от 0,05 до 0,20 кг) в качестве "щупов" микронного размера при определении задерживающей способности по твёрдым взвешенным веществам для различных фильтрующих материалов и изделий.

Следует отметить, что применение полученных узких фракций частиц КП-пород для оценки задерживающих свойств материалов при использовании описанного подхода возможно двумя путями: во-первых, непосредственно сразу после получения фракции заданного размера в цилиндрической части 11 сепарационной колонны 9 (см. рис. 2), как описано выше; во-вторых, путём подачи фракций эжектором не на фильтр

2, а в специальную ёмкость. После сбора и отстаивания требуемая фракция в концентрированном виде помещается в ёмкость 7 с мешалкой, откуда при помощи эжектора 16 может быть подана на фильтр 2.

На рис. 8, а представлены зависимости величин эффективности задержания ( $\mathcal{E}_3$ , % по массе) частиц КП-породы различных узких фракций от размера частиц этих фракций (значения максимумов на кривых рис. 5), полученных для различных листовых промышленно выпускаемых фильтрующих материалов.

Величина эффективности задержания ( $\mathcal{E}_3$ , % по массе) фильтрующими материалами (или фильтрами) определялась по формуле (1):

$$\mathcal{E}_3 = [(M_b - M_n)/M_n] \cdot 100 \%, \quad (1)$$
 где  $M_b$  — масса фракции со средним размером  $d_n$ , внесённой в виде суспензии в водный поток перед фильтрующим материалом (фильтром), г;  $M_n$  — масса той же фракции, пропущенной фильтрующим материалом (фильтром), г.

Величина  $M_n$  определялась по формуле (2):

$$M_n = C_p V, \quad (2)$$

где  $C_p$  — рабочая концентрация суспензии частиц КП-породы в цилиндрической части 11 сепарационной колонны 9 (см. рис. 2), мг/дм<sup>3</sup>;  $V$  — объём суспензии, дозированный эжектором в поток воды, поступающий на изучаемый материал или фильтр, дм<sup>3</sup>.

Величина  $M_n$  определялась весовым методом после отстаивания, декантации и сушки частиц КП-породы, собранных в ёмкости 4 (см. рис. 2).

На рис. 8, б представлены зависимости  $\mathcal{E}_3$  частиц КП-породы от их размера для серийно выпускаемых фильтров ФОПС® [7], предназначенных для удаления ВВ из ПС.

Из рис. 8 видно, что с увеличением крупности частиц КП-породы значения  $\mathcal{E}_3$  увеличиваются как для листовых фильтрующих материалов, так и для фильтров ФОПС®. В табл. 2 представлены средние размеры частиц КП-породы, соответствующие эффективности задержания 50 и 90 % по массе, полученные графически на основании рис. 8.

С помощью данных табл. 2 можно оценивать возможности очистки фильтрующими материалами (или изделиями) реальных твёрдых частиц, присутствующих в ПС и выражаемых обобщённым показателем "взвешенные вещества", морфологически близких к КП-породам, сопоставляя их фактический фракционный состав с представленными данными. Описание разработанного испытательного стенда в совокупности с примером полученных на нём экспериментальных данных способствует продолжению исследований по созданию улучшенного испытательного оборудования такого рода, а также по качественному и количественному расширению областей его применения.

Разработанный универсальный стенд делает возможным

**Таблица 2. Результаты оценки задерживающих свойств некоторых фильтрующих материалов и фильтров ФОПС® на примере узких фракций частиц КП-породы**

**Table 2. Results of evaluation of retention properties of some filtering materials and FOPS® filters on the example of narrow fractions of CP-rock particles**

Фильтрующие материалы и изделия	Тестируемый образец	Размер задерживаемых частиц КП-породы $d_n$ , мкм	
		$\mathcal{E}_3 = 50 \%$ по массе	$\mathcal{E}_3 = 90 \%$ по массе
Материалы	Синтепон (толщина 18,0 мм, диаметр волокна 10 мкм)	130	250
	Дорнит (толщина 2,0 мм, диаметр волокна 40 мкм, размер пор ~ 130 мкм)	48	95
	Карбопон (толщина 2,0 мм, диаметр волокна 5 мкм, размер пор ~ 2,3 нм)	33	78
	Бельтинг (толщина 2,0 мм, диаметр волокна 290 мкм)	12	38
Изделия	Фильтр ФОПС®-С (тонкопалочный сепаратор, длина 500 мм, размер щели 50 мм)	25	30
	Фильтр ФОПС®-М (фильтрующие элементы, размер пор ~ 100 мкм)	15	55

проведение комплексных испытаний серийно выпускаемых фильтров ФОПС® и иных фильтрующих патронов для очистки ПС по удалению ВВ в натуральную величину, моделируя реальный режим работы данного оборудования внутри канализационных ко-

лодцев. Проведение таких исследований позволяет одновременно оценить возможности очистки ПС от взвешенных веществ до нормативов сброса в водоёмы рыбохозяйственного значения, подобрать оптимальные комбинации различных фильтрующих ма-

териалов для снаряжения фильтрующих патронов, а также проработать практические рекомендации по применению комбинированных систем на основе фильтров ФОПС® для осуществления глубокой очистки ПС от взвешенных веществ.

## Литература

1. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учебное пособие. М., Изд-во АСВ, 2000. 352 с.
2. Opher T., Friedler E. Factors affecting highway runoff quality. *Urban Water Journal*. 2010. Vol. 7. No. 3. P. 155–172.
3. Frey S.K., Gottschall N., Wilkes G., Gregoire D.S., Topp E., Pintar K.D.M., Sunohara M., Marti R., Lapen D.R. Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. *Journal of Environmental Quality*. 2015. Vol. 44(1). P. 236–247.
4. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селибных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты: методическое пособие. FAUFCC.RU: официальный сайт Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве. URL: [https://www.faufcc.ru/upload/methodical\\_materials/mp01.pdf](https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp01.pdf) (дата обращения: 24.07.2024).
5. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка: учебник для вузов. М., Изд-во АСВ, 2015. 512 с.
6. Плаченев Т.Г., Колосенцев С.Д. Порометрия. Л., Химия, 1988. 176 с.
7. Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. СПб., Любавич, 2017. 176 с.
8. Федоров М.П., Масликов В.И., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Универсальный стенд для натуральных испытаний фильтров ФОПС®. Нефтепродукты. Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 4. С. 4–9.
9. Федоров М.П., Чечевичкин В.Н., Тряскин М.А., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Универсальный стенд для натуральных испытаний фильтров ФОПС®. Тяжёлые металлы. Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 1. С. 4–11.
10. ГОСТ 31952-2012. Устройства водоочистные. Общие требования к эффективности и методы её определения. М., Стандартинформ, 2013. 27 с.
11. Беленький Б.Г., Виленчик Л.З. Хроматография полимеров. М., Химия, 1978. 344 с.
12. Градус Л.Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии. М., Химия, 1979. 232 с.
13. Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н., Филюзова Л.Д. Природные цеолиты. М., Химия, 1985. 223 с.
14. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). Учебник для вузов. СПб., Изд-во Политехнического ун-та, 2007. 545 с.
15. Муслов С.А., Зайцева Н.В., Самосадная И.Л., Гавриленкова И.В. Три способа измерения площади плоских фигур произвольной формы программными методами. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 5. С. 89–93.

## References

1. Alekseev M.I., Kurganov A.M. Organizatsiya otvedeniya poverkhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannykh territorii: uchebnoe posobie. M., Izd-vo ASV, 2000. 352 s.
2. Opher T., Friedler E. Factors affecting highway runoff quality. *Urban Water Journal*. 2010. Vol. 7. No. 3. P. 155–172.
3. Frey S.K., Gottschall N., Wilkes G., Gregoire D.S., Topp E., Pintar K.D.M., Sunohara M., Marti R., Lapen D.R. Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. *Journal of Environmental Quality*. 2015. Vol. 44(1). P. 236–247.
4. Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i oчитки poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territorii, ploshchadok predpriyatii i opredeleniyu uslovii vypuska ego v vodnye ob'ekty: metodicheskoe posobie. FAUFCC.RU: ofitsial'nyi sait Federal'nogo tsentra normirovaniya, standartizatsii i tekhnicheskoi otsenki sootvetstviya v stroitel'stve. URL: [https://www.faufcc.ru/upload/methodical\\_materials/mp01.pdf](https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp01.pdf) (data obrashcheniya: 24.07.2024).
5. Frog B.N., Pervov A.G. Vodopodgotovka: uchebnyk dlya vuzov. M., Izd-vo ASV, 2015. 512 s.
6. Plachenov T.G., Kolosentsev S.D. Porometriya. L., Khimiya, 1988. 176 s.
7. Chechevichkin A.V. Proektirovanie i primeneniye lokal'nykh oчитnykh sooruzhenii poverkhnostnogo stoka na osnove fil'trov FOPS®. Spb., Lyubavich, 2017. 176 s.
8. Fedorov M.P., Maslikov V.I., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Universal'nyi stend dlya naturnykh ispytaniy fil'trov FOPS®. Nefteprodukty. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2020. T. 24. № 4. S. 4–9.
9. Fedorov M.P., Chechevichkin V.N., Tryaskin M.A., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Universal'nyi stend dlya naturnykh ispytaniy fil'trov FOPS®. Tyazhelye metally. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2023. T. 27. № 1. S. 4–11.
10. GOST 31952-2012. Ustroistva vodoочистные. Obshchie trebovaniya k effektivnosti i metody ee opredeleniya. M., Standartinform, 2013. 27 s.
11. Belen'kii B.G., Vilenchik L.Z. Khromatografiya polimerov. M., Khimiya, 1978. 344 s.
12. Gradus L.Ya. Rukovodstvo po disperсионному analizu metodom mikroskopii. M., Khimiya, 1979. 232 s.
13. Tsitsishvili G.V., Andronikashvili T.G., Kirov G.N., Filozova L.D. Prirodnye tseolity. M., Khimiya, 1985. 223 s.
14. Girgidov A.D. Mekhanika zhidkosti i gaza (gidravlika). Uchebnyk dlya vuzov. SPb., Izd-vo Politekhnikeskogo un-ta, 2007. 545 s.
15. Muslov S.A., Zaitseva N.V., Samosadnaya I.L., Gavrilenkova I.V. Tri sposoba izmereniya ploshchadi ploskikh figur proizvol'noi formy programmnyimi metodami. Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2017. № 5. S. 89–93.

М.П. Федоров – академик РАН, д-р техн. наук, президент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, e-mail: m.fedorov@spbstu.ru • В.Н. Чечевичкин – канд. хим. наук, зав. лабораторией, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (ИСИ СПбПУ), e-mail: chechevichkin\_vn@spbstu.ru • З.В. Наумова – аспирант, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, ИСИ СПбПУ, e-mail: naumova\_zv@spbstu.ru • М.А. Тряскин – инженер, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, ИСИ СПбПУ, e-mail: tryaskin\_ma@spbstu.ru • А.В. Чечевичкин – инженер, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, ИСИ СПбПУ, e-mail: chechevichkin\_av@spbstu.ru • Л.А. Якунин – инженер, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства, ИСИ СПбПУ, e-mail: yakunin\_la@spbstu.ru

M.P. Fedorov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Eng.), President, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, e-mail: m.fedorov@spbstu.ru • V.N. Chechevichkin – Cand. Sci. (Chem.), Head of Laboratory, Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, Engineering and Construction Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (ICE SPbPU), e-mail: chechevichkin\_vn@spbstu.ru • Z.V. Naumova – Post-graduate Student, Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, ICE SPbPU, e-mail: naumova\_zv@spbstu.ru • M.A. Tryaskin – Engineer, Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, ICE SPbPU, e-mail: tryaskin\_ma@spbstu.ru • A.V. Chechevichkin – Engineer, Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, ICE SPbPU, e-mail: chechevichkin\_av@spbstu.ru • L.A. Yakunin – Engineer, Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, ICE SPbPU, e-mail: yakunin\_la@spbstu.ru