

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ФИЛЬТРОВ ФОПС®. НЕФТЕПРОДУКТЫ

М.П. Фёдоров, В.И. Масликов, А.В. Чечевичкин, Л.А. Якунин

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного
института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого**

Рассмотрена проблема проведения испытаний оборудования, предназначенного для очистки поверхностных сточных вод, загрязнённых нефтепродуктами. Показан современный уровень развития установок для испытаний очистного оборудования. Рассмотрена специфика поведения нефтепродуктов в поверхностном стоке. Освещены возможные способы очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов, и описаны особенности процесса очистки в зависимости от их фазового состояния. Выявлены основные особенности работы и требования к техническому устройству и характеристикам испытательного оборудования для очистки загрязнённых нефтепродуктами поверхностных сточных вод. Представлена конструкция разработанного стенда для испытаний фильтров ФОПС® в натуральную величину, описана методика работы на нём, приведены результаты проведённых исследований по моделированию процесса очистки поверхностного стока, загрязнённого эмульгированными и истинно растворёнными нефтепродуктами.

Ключевые слова: фильтр ФОПС®, поверхностный сток, испытательный стенд, нефтепродукты, очистка сточных вод от нефтепродуктов

Universal Bench for Full-Scale Testing of filters FOPS®. Oil products

M.P. Fedorov, V.I. Maslikov, A.V. Chechevichkin, L.A. Yakunin

**Sankt-Petersburg Peter the Great Polytechnic University, 195251 Sankt-Petersburg, Russia,
Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction Institute of Civil Engineering of Sankt-
Petersburg, 195251 Sankt-Petersburg, Russia**

The problem of testing equipment designed for the treatment of surface wastewater contaminated with oil products is considered. The current level of development of installations for testing treatment equipment is shown. The possible methods of treatment of surface wastewater from oil products are highlighted, and the features of the treatment process depending on their phase state are described. The main requirements for the technical device and characteristics of the testing equipment for the treatment of surface wastewater contaminated with oil products are identified. The design of the developed full-size FOPS® filter test bench is presented, the procedure for working on it is described, the results of studies on modeling the process of treatment surface runoff contaminated with emulsified and truly dissolved oil products are presented.

Keywords: FOPS® filter, surface runoff, test bench, oil products, wastewater treatment from oil products

DOI: 10.18412/1816-0395-2020-4-4-9

В настоящее время гидросфера на большинстве урбанизированных территорий нашей страны подвергается постоянному техно- и антропогенному воздействию [1, 2]. Поверхностный сток, основным загрязнителем которого в городах является автотранспорт [3, 4], оказывает негативное влияние не только на придорожные ландшафты, но и вносит значительный вклад в загрязнение различных водных объектов.

Водным законодательством Российской Федерации категорически запрещается сброс без должной очистки поверхностного стока в водные объекты и канализационную сеть с селитебных и промышленных территорий [5].

Очистка больших объёмов поверхностных вод, содержащих высокие концентрации загрязняющих веществ, до низких концентраций, разрешённых к сбросу в ливневую канализационную сеть и особенно в рыбохозяй-

ственные водоёмы, представляет собой крайне сложную задачу. Основной проблемой при решении этой задачи является совмещение в одном технологическом подходе трёх оптимизированных составляющих: высокой эффективности очистки, длительного ресурса работы и низкой цены, и хороший результат в очистке стока при применении только одного метода (устройства, материала) не может быть достигнут.

Известно, что сорбционно-фильтрационные технологии

как технологии глубокой доочистки позволяют получать необходимые низкие концентрации загрязняющих веществ перед сбросом очищенных вод [6–9]. Наиболее удобной при очистке поверхностного стока формой использования сорбционно-фильтровальных материалов является применение их в виде фильтрующих патронов [10–13]. Фильтрующие патроны устанавливаются в большинстве случаев в канализационные колодцы и эксплуатируются в них в течение заданного времени [14]. Это время (т.е. ресурс работы) определяют, как правило, либо по аналогии с другими объектами, либо по опыту предшествующей эксплуатации, что в ряде случаев (например, при проектировании объектов водочистки с другими характеристиками загрязнения) вообще невозможно корректно использовать.

Нормативная база на проведение испытаний оборудования для очистки поверхностного стока в Российской Федерации практически отсутствует. Единственный действующий стандарт (ГОСТ 31952-2012) содержит требования к испытанию устройств для очистки питьевых вод, главным образом в плане рекомендаций по приготовлению модельных растворов — имитантов загрязнителей, отбора проб и т.д., но совершенно не затрагивает требования к испытываемому/испытательному оборудованию.

Для моделирования различных условий эксплуатации фильтрующих патронов и оценки качества очистки ими модельных растворов на базе лаборатории поверхностного стока Инженерно-строительного института ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого" был создан уникальный гидротехнический стенд, позволяющий испытывать полноразмерные образцы промышленно выпускаемых изделий. Внешний вид стенда представлен на рис. 1. В качестве объектов исследования применяли совместно разработанные с ООО "Аква-Венчур" и промышленно выпускаемые под торговой маркой ФОПС®

фильтрующие патроны различного назначения [14].

Для очистки ливневого стока в стандартных канализационных колодцах (диаметр люка колодца — 600 мм) используют фильтрующие патроны с внешним диаметром корпуса 500 мм. Фильтры ФОПС® [14] имеют такой диаметр и рассчитаны на рабочую производительность не более 2,0 м³/ч. Испытательный стенд, на котором проводилось изучение работы фильтров ФОПС®, позволяет создавать модельные сточные воды, содержащие широкий набор загрязнителей, и подавать их на фильтры производительностью до 3,0 м³/ч в течение заданного времени.

Гидравлическая схема части стенда для испытаний фильтров ФОПС® в натуральную величину по очистке вод от истинно растворенных и истинно эмульгированных нефтепродуктов (НП) представлена на рис. 2.

Основным элементом стенда является испытательный пластиковый колодец — цилиндрическая ёмкость 1 диаметром 0,7 м и высотой 2,3 м, в которую на опорное кольцо 2 устанавливается с помощью подъёмного устройства испытываемый фильтр 3 (серийно выпускаемые фильтры



Рис. 1. Внешний вид гидротехнического стенда для испытаний промышленно выпускаемых фильтрующих патронов

Fig. 1. The appearance of the hydraulic test bench for testing industrially produced filter cartridges

марки ФОПС®-0,58 или аналогичные по размеру фильтрующие патроны). На фильтр 3 с помощью распределителя потока 4 подаётся исходный модельный раствор, который готовится на основе дополнительно очищенной воды из сети холодного водоснабжения (ХВС).

Ёмкость — колодец 1 снабжена водомерным стеклом 5 для контроля уровня воды над испы-

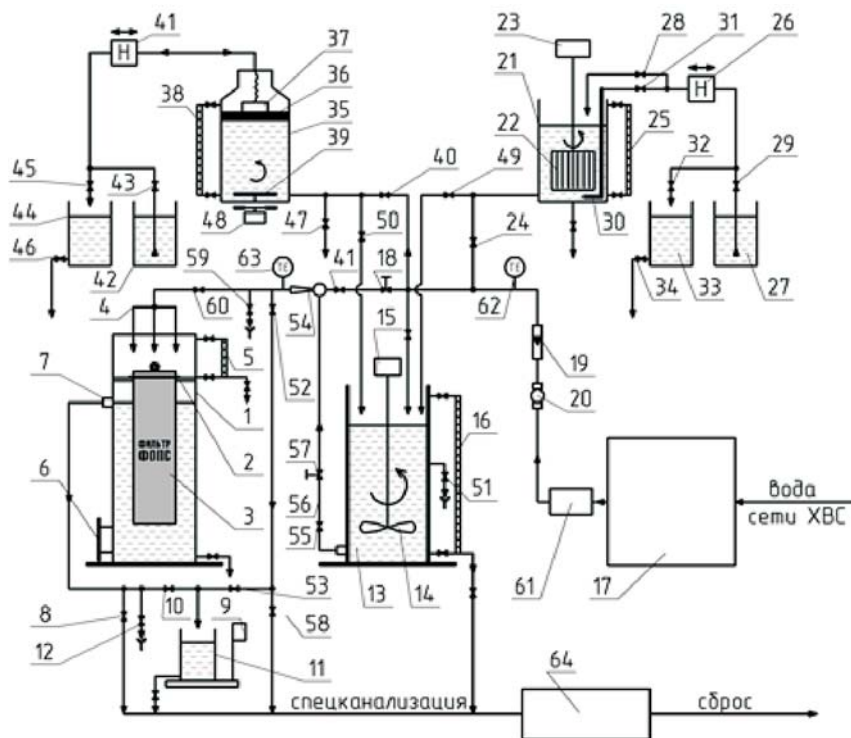


Рис. 2. Гидравлическая схема гидротехнического испытательного стенда

Fig. 2. The hydraulic circuit of the hydraulic test bench

Таблица 1. Характеристики очищенной воды из сети ХВС, используемой для приготовления модельных растворов при проведении испытаний
Table 1. Characteristics of purified water from the CWS network used for the preparation of model solutions during testing

Показатель	Значение	Показатель	Значение
pH	5,9–6,4	Хлориды, мг/дм ³	10–12
Мутность, мг/дм ³	<0,2	НП, мг/дм ³	<0,01
Цветность, мг/дм ³	<2	АПВ, мг/дм ³	<0,05
Взвешенные вещества, мг/дм ³	<3	Фенолы, мг/дм ³	<0,001
ПО*, мгО/дм ³	2,0 ± 0,2	Алюминий, мг/дм ³	<0,01
ОВП*, мВ	168±20	Железо (общее), мг/дм ³	<0,05
Жёсткость, мг-экв/дм ³	0,7 ± 0,1	Аммоний-ион, мг/дм ³	<0,1
Остаточный хлор, мг/дм ³	<0,1	Марганец, мг/дм ³	<0,005

*ПО – перманганатная окисляемость; ОВП – окислительно-восстановительный потенциал.

туемым фильтром и люком 6 для мойки и чистки колодца.

Вода после фильтра (т.е. после очистки) через сливной штуцер 7 поступает в спецканализацию (при открытом кране 8), либо на весовую установку контроля производительности по воде, состоящую из платформенных весов 9, крана 10 и калиброванной ёмкости 11. В этой же зоне проводится и отбор проб воды после очистки при открытом кране 12.

Модельные растворы истинно эмульгированных НП готовят на основе очищенной сетевой воды ХВС и турбинного масла (ТП-22С, марка 1), а истинно растворённых — на основе бензинов марок АИ-98, АИ-95 и АИ-92, а также чистых ароматических углеводородов (бензол, толуол) в ёмкости 13 объёмом 1000 дм³, снабжённой лопастной мешалкой 14 (с соответствующим приводом 15 и водомерным стеклом 16). Сетевая вода из се-

ти ХВС проходит дополнительную четырехступенчатую очистку (сорбционно-каталитический и угольный фильтры, а также механическая очистка 5 мкм и 1 мкм) на установке 17 производительностью до 3,0 м³/ч. Расход воды, поступающей на фильтр 3, регулируется вентилем тонкой регулировки 18 и контролируется ротаметром 19 и расходомером 20.

Исходная эмульсия турбинного масла (концентрат) готовится в ёмкости 21 путем дозирования в неё заданного количества масла и диспергирования его в течение определенного времени высокооборотной турбомешалкой 22 (с соответствующим приводом 23). В ёмкость 21 заливается заданное количество воды при открытом кране 24, контролируемое по водомерному стеклу 25. Турбинное масло в ёмкость 21 подается с помощью перистальтического реверсивного насоса 26 из ёмкости с маслом 27

(при открытых кранах 28 и 29). Остаток неиспользованной эмульсии из ёмкости 21 откачивается насосом 26 при помощи донного скиммера 30 (при открытых кранах 31 и 32) в ёмкость 33, где накапливается и далее сбрасывается в спецканализацию (при открытом кране 34).

Исходный (маточный) раствор истинно растворённых НП готовится в ёмкости 35 в течение длительного контакта (до 3 сут) слоя плавающих НП 36 с водой. Ёмкость 35 снабжена плавающим скиммером 37, водомерным стеклом 38 и магнитоуправляемым перемешивающим элементом 39. Заданное количество (контролируется по водомерному стеклу 38) сетевой очищенной воды подается в ёмкость 35 при открытом кране 40 (кран 41 закрыт). По достижении необходимого уровня воды в ёмкости 35 в нее сверху через плавающий скиммер 37 из ёмкости 42 при открытом кране 43 подается заданное количество НП (см. выше) при помощи перистальтического реверсивного насоса 41. Остаток НП (слой в верхней части ёмкости 35) после проведения испытаний удаляется при помощи скиммера 37 и насоса 41 в ёмкость 44 (при открытом кране 45). Отработанные НП из ёмкости 44 при открытом кране 46 сливаются на утилизацию. Остаток маточного раствора НП из ёмкости 35 сливается в спецканализацию при открытом кране 47. Для перемешивания слоя воды (под слоем НП в ёмкости 35) используют низкооборотное (~5 об/мин) периодическое перемешивание (без отрыва капель из плавающего слоя НП 36) при помощи магнитоуправляемого элемента 39, который имеет точку опоры в центре ёмкости 35 и управляется через её днище при помощи низкооборотного привода 48 со стержневыми постоянными магнитами.

Маточный раствор из ёмкости 21 (эмульсия) в заданном количестве подается в рабочую ёмкость 13 с водой при работающей мешалке 14 и открытом кране 49, а раствор из ёмкости 35 — при открытом кране 50.

После получения заданной рабочей концентрации НП (контроль проб — с помощью крана 51) в ёмкости 13 установ-

Таблица 2. Характеристики стенда в условиях непрерывных испытаний фильтров ФОПС®-0,58

Table 2. Bench characteristics in the conditions of continuous testing of FOPS-0.58 filters

Относительный расход q	Рабочая концентрация, мг/дм ³			Время работы***, ч						
	Т. М.*	АИ-98**	АИ-92**	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	32,0
0,01	1	0,4	0,25	+	+	+	+	+	+	+
0,02	2	0,8	0,5	+	+	+	+	+	+	-
0,05	5	2	1	+	+	+	+	+	-	-
0,10	10	4	2	+	+	+	+	-	-	-
0,20	20	8	4	+	+	+	-	-	-	-
0,40	40	16	8	+	+	-	-	-	-	-

*По эмульгированному турбинному маслу марки ТП-22с (исходная концентрация – 100 мг/дм³).

**По истинно-растворённым компонентам бензина АИ-98 (исходная концентрация – 40 мг/дм³) и бензина АИ-92 (исходная концентрация – 20 мг/дм³).

***Максимальное время непрерывных испытаний фильтра за 1 цикл (объём пропущенного раствора – 1 000 дм³).

Примечание. "+" – обеспечивается; "-" – не обеспечивается.

ливается необходимый расход чистой воды или раствора требуемого состава (весовой контроль по заполнению ёмкости 11 на весах 9 при открытых кранах 52 и 53). Создание требуемой концентрации НП для подачи её на испытуемый фильтр проводится включением в работу эжектора 54 при открытом кране 55 и точной регулировкой сопротивления на его всасывающем трубопроводе 56 задвижкой 57. При этом раствор нефтепродуктов сливается в спецканализацию (при открытом кране 58 и закрытом 53). После отбора пробы исходного раствора до очистки (при помощи крана 59) этот раствор через распределитель потока 4 (при открытом кране 60) подаётся на испытуемый фильтр.

Вода, используемая для приготовления рабочих растворов, после очистки на установке 17 термостатируется (температура 22 ± 2 °C) при помощи проточного электрического водонагревателя 61 и системы автоматики с датчиками температуры 62 и 63.

Все воды, содержащие НП, сливаются через спецканализацию в сборную ёмкость и после глубокой очистки на установке 64 сбрасываются в общесплавную канализационную сеть.

Характеристики качества исходной очищенной воды из сети ХВС, используемой для приготовления модельных растворов при проведении испытаний, представлены в табл. 1.

В описываемой установке использовались водо-водяные эжекторы центрального типа со съёмным соплом и камерой смешения, которые подавали жидкие среды (эмульсии, суспензии, истинные растворы) со значениями относительного расхода q от 0,01 до 0,40. Внешний вид такого универсального эжектора представлен на рис. 3.

Характеристики стенда по созданию воспроизводимых концентраций НП для испытаний фильтров ФОПС® в непрерывном режиме представлены в табл. 2.

На рис. 4 представлены рабочие зависимости расхода эжектируемой среды (эмульсия трансформаторного масла) от расхода рабочей среды (очищенная сетевая вода) для эжекторов



Рис. 3. Внешний вид водо-водяного эжектора центрального типа со съёмным соплом и камерой смешения (габаритные размеры эжектора (ДхШхВ, мм) – 430х60х160)

Fig. 3. The appearance of a central-type water-water ejector with a removable nozzle and a mixing chamber (overall dimensions of the ejector (LxWxH, mm) – 430x60x160)

с различными значениями q , которые имеют выраженный линейный характер.

Нефтепродукты в водных средах находятся в плёночном, эмульгированном и истинно растворённом состоянии. Если удаление растворённых НП наиболее эффективно адсорбционным методом (как правило, с применением активированных углей), то для эмульгированных форм применяют коалесцентно-адгезионный метод с использованием волокнистых фильтрующих материалов.

В реальных фильтрующих патронах (например, в фильтрах ФОПС®) используют оба метода в одном изделии, когда сначала (по ходу движения воды) волокнистым фильтрующим материалом удаляют капельно-эмульгированные НП, а затем доочищают воду от истинно растворённых НП адсорбентами.

Для достоверного изучения работы как отдельных материалов, так и их комбинаций в модельных растворах или средах, близких по составу к реальным сточным водам, необходимо создавать спектр воспроизводимых концентраций как истинно растворённых, так и эмульгированных НП. Экспериментальный стенд (см. рис. 2) позволяет решать эти задачи.

На рис. 5, а представлено изменение концентраций эмульгированных НП (турбинное масло) во времени, получаемых при дозировании их эжектором из ёмкости 13 без перемешивания (см. рис. 2). Видно, что в этом случае концентрация НП постоянно уменьшается.

На рис. 5, б представлено изменение аналогичных концентраций эмульгированных НП во времени, получаемых при дози-

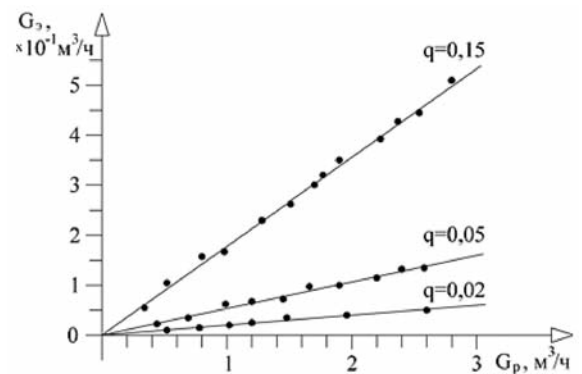


Рис. 4. Зависимости расхода эжектируемой жидкой среды G_e от расхода рабочей среды G_r для применявшихся водо-водяных эжекторов центрального типа

Fig. 4. Dependences of the flow rate of the ejected liquid medium G_e on the flow rate of the working medium G_r for the applied central-type water-water ejectors

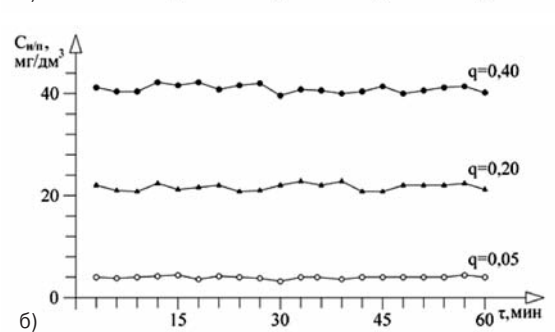
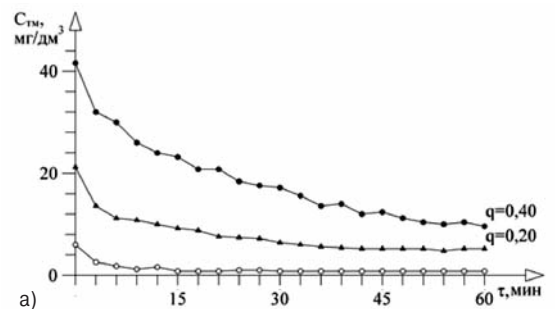


Рис. 5. Зависимость концентрации эмульгированных НП в модельном растворе от времени при дозировании эжектором из ёмкости без перемешивания (а) и ёмкости с мешалкой (б)

Fig. 5. The dependence of the concentration of emulsified OP in the model solution on time when dosing with an ejector from a tank without mixing (a) and a tank with a stirrer (b)

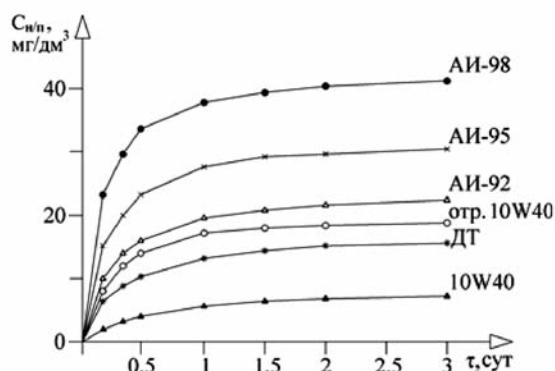


Рис. 6. Зависимость концентрации истинно растворённых НП в воде от времени при использовании различных видов моторных топлив и масел

Fig. 6. The dependence of the concentration of truly dissolved OP in water on time when using various types of motor fuels and oils

ровании их эжектором из ёмкости с постоянно работающей лопастной мешалкой (скорость вращения — 65 об/мин). Видно, что при перемешивании концентрации чисто эмульгированных НП на протяжении 60 мин непрерывного дозирования имели постоянное значение со стандартным отклонением, не превышающем 8,5 % их средневзвешенных величин.

Концентрации истинно растворённых НП готовились по вышеописанной процедуре в условиях длительного статического контакта с водой бензинов марок АИ-98, АИ-95 и АИ-92, а также дизельного топлива.

На рис. 6 показано изменение концентраций истинно растворённых НП во времени для этих видов моторного топлива, а

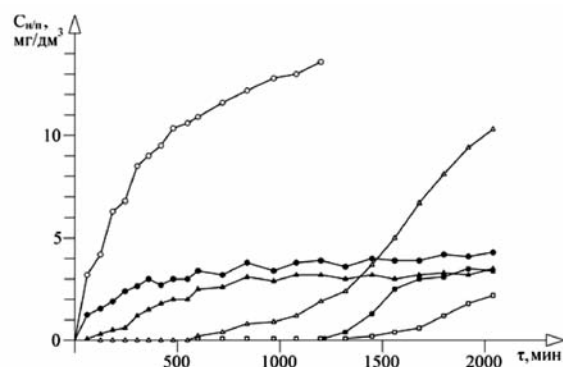


Рис. 7. Зависимость концентрации НП за слоем сорбционных материалов от времени:

(-○-; -●-) – шунгита; (-Δ-; -▲-) – активированного угля; (-□-; -■-) – фильтра ФОПС-МУ-0,58-1,2; (-●-; -▲-; -■-) – эмульгированные НП; (-○-; -Δ-; -□-) – растворённые НП

Fig. 7. The dependence of the concentration of the OP behind the layer of sorption materials on time:

(-Δ -; -● -) – shungite; (-Δ -; -Δ -) – activated carbon; (-□ -; -Δ -) – filter FOPS-MU-0.58-1.2; (-● -; -Δ -; -Δ -) – emulsified OP; (-Δ -; -Δ -; -□ -) – dissolved OP

также полусинтетического моторного масла "Shell 10W40" (в исходном и отработанном виде). Из рисунка следует, что насыщение воды истинно растворёнными НП до постоянных концентраций происходит довольно медленно (не менее 2 сут), причём низкооктановые сорта бензинов, содержащие меньше ароматических соединений, дают более низкое содержание и растворённых НП, а отработанное полусинтетическое масло значительно обогащается растворёнными НП по сравнению с исходным.

На рис. 7 представлены результаты динамической работы слоя засыпной зернистой шихты (размер частиц 1–3 мм), находящейся в корпусе фильтрующего патрона диаметром 500 мм и высотой 1200 мм, а также промышленного серийного фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,2.

В качестве материалов зернистой загрузки внутри корпуса фильтрующего патрона использовали шунгит III и древесный активированный уголь.

Модельные растворы НП с исходной концентрацией 20 ± 2 мг/дм³ подавали на фильтрующий патрон в соответствии со схемой на рис. 2 и готовили из концентрированной эмульсии турбинного масла ТП-22с ($C_0 = 100 \pm 8$ мг/дм³), а также трёхсуточного настоя бензина марки АИ-98 ($C_0 = 40 \pm \pm 1,5$ мг/дм³).

При рассмотрении изменения содержания НП за слоем шунгита во времени для водных сред, содержащих чисто эмульгированные и чисто растворённые НП (см. рис. 7), видно, что очистки воды от растворённых НП шунгитом практически не происходит (выходная концентрация НП резко возрастает в течение короткого времени) ввиду его низкой сорбционной способности и пористости. Эмульгированные НП отделяются зернистой загрузкой шунгита в режиме коалесценции с эффективностью 80 ± 2 % в течение всего времени испытаний. При этом отсепарированное турбинное масло собирается в виде плавающей пленки в верхней части ёмкости I (см. рис. 2) непосредственно над фильтрующим патроном.

Для слоя активированного угля выходная кривая сорбции

истинно растворённых НП имеет пологий вид, и их концентрация за слоем нарастает медленнее, чем для шунгита. Выходная кривая для эмульгированных НП близка по виду к кривой для шунгита, но немного более растянута во времени (из-за впитывания части расслоившегося турбинного масла развитой пористой структурой угля). При этом, как и в случае шунгитовой загрузки, крупные капли турбинного масла покидают шихту, всплывают и накапливаются в верхней части емкости I (см. рис. 2) в виде плавающей плёнки.

Для испытуемого серийного фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,2 выходная кривая сорбции истинно растворённых НП ещё более пологая и имеет время динамического проскока до концентрации $0,1$ мг/дм³ вдвое больше, чем для слоя активированного угля. Остаточная концентрация НП за слоем для испытуемого фильтра ФОПС®-МУ на этом участке составляет менее $0,05$ мг/дм³. Выходная кривая по чисто эмульгированным НП в этом случае более "поджата", чем в двух предыдущих, и имеет время динамического проскока до концентрации $0,1$ мг/дм³ в 8 раз больше, чем для слоя активированного угля. В случае применения фильтра ФОПС®-МУ всплытия капель турбинного масла и накопления их в верхней части ёмкости I (см. рис. 2) в виде плавающей плёнки не наблюдалось.

Таким образом, разработанный гидротехнический стенд для разносторонних испытаний фильтров очистки поверхностного стока типа ФОПС® или аналогичных им сорбционно-фильтрующих изделий в натуральную величину позволяет проводить испытания в отношении НП как в чисто эмульгированном, так и в истинно растворённом в воде состояниях. Подобные исследования дают возможность не только более широко оценивать реальные возможности удаления всех форм НП из вод индивидуальными материалами, но и создавать оптимальные комбинации их применения, а также корректировать эксплуатационные мероприятия.

Литература

1. Мануйлов М.Б., Московский В.М. Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах. Вода и экология. 2016. № 2. С. 35–47.
2. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов. Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
3. Веремеев А.М., Томилов А.А., Ручникова О.Н. Поверхностные сточные воды с автомобильных дорог. Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. 2016. № 6. С. 393–402.
4. Huber M., Welker A., Helmreich B. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. Science of the Total Environment. 2016. V. 541. P. 895–919.
5. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон РФ от 03 июня 2006 №74-ФЗ. Собрание законодательства Российской Федерации — 05 июня 2006. № 23. Ст. 2381.
6. Венецианов Е.В., Графова Е.О. Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохранных зон автотрасс от загрязнения. Вода: Химия и экология. 2012. № 12. С. 32–41.
7. Корчевская А.М., Чечевичкин В.Н. Характеристики сорбционного модуля гидротехнического сооружения очистки ливневых сточных вод кладбищ. Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 43–45.
8. Примин О., Варюшина Г. Проблемы и пути эффективной очистки поверхностных сточных вод в современных условиях. Вода Magazine. 2017. № 8 (120). С. 24–27.
9. Гаврилов Т.А., Евстигнеев В.Д., Зайцев М.И., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В. Применение отходов лесопиления для очистки поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры. Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 2. С. 87–94.
10. Верещагина Е.М., Виткофская Р.Ф. Модернизация технологической схемы очистки стоков АЗС комплексного типа. Вестник молодых ученых СПГУТД. 2017. № 4. С. 13–18.
11. Винокуров К.И., Крестьянинова А.Ю. Локальные очистные сооружения поверхностного стока на автомобильных дорогах и мостовых переходах. Экология и строительство. 2019. № 4. С. 43–53. doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.
12. Стрелков А., Теплых С. Применение комбинированных фильтрующих патронов на железнодорожных мостах. Вода Magazine. 2017. № 5 (117). С. 20–22.
13. Ватин Н.И., Греков М.А., Леонов Л.В., Пробрский М.Д., Рублевская О.Н., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Опыт всесезонной эксплуатации фильтра ФОПС® при очистке поверхностного стока с техногенной нагруженной селитебной территории. Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 40–50.
14. Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. СПб., Любавич, 2017. 176 с.

References

1. Manuilov M.B., Moskovskii V.M. Vliyanie poverkhnostnogo stoka (dozhdevykh i talykh vod) na ekologicheskuyu i tekhnogennuyu situatsiyu v gorodakh. Voda i ekologiya. 2016. № 2. S. 35–47.
2. Chechevichkin V.N., Vatin N.I. Osobennosti sostava i ochistki poverkhnostnogo stoka krupnykh gorodov. Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. 2014. № 6. S. 67–74.
3. Veremeev A.M., Tomilov A.A., Ruchnikova O.N. Poverkhnostnye stochnye vody s avtomobil'nykh dorog. Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennye tekhnologii. 2016. № 6. S. 393–402.
4. Huber M., Welker A., Helmreich B. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. Science of the Total Environment. 2016. V. 541. R. 895–919.
5. Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii: Federal'nyi zakon RF ot 03 iyunya 2006 №74-FZ. Sobranie zakonodatel'stva Rossiiskoi Federatsii — 05 iyunya 2006. № 23. St. 2381.
6. Venetsianov E.V., Grafova E.O. Mnogosloinnye sorbtionnye fil'try na zashchite vodookhrannykh zon avtotrass ot zagryazneniya. Voda: Khimiya i ekologiya. 2012. № 12. S. 32–41.
7. Korchevskaya A.M., Chechevichkin V.N. Kharakteristiki sorbtionnogo modulya gidrotekhnicheskogo sooruzheniya ochistki livnyvykh stochnykh vod kladbishch. Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal. 2009. № 2. S. 43–45.
8. Primin O., Varyushina G. Problemy i puti effektivnoi ochistki poverkhnostnykh stochnykh vod v sovremennykh usloviyakh. Voda Magazine. 2017. № 8 (120). S. 24–27.
9. Gavrilov T.A., Evstigneev V.D., Zaitsev M.I., Kolesnikov G.N., Nikonova Yu.V. Primenenie otkhodov lesopileniya dlya ochistki poverkhnostnykh stokov na ob'ektakh transportnoi infrastruktury. Lesnoi vestnik. 2018. T. 22. № 2. S. 87–94.
10. Vereshchagina E.M., Vitkofskaya R.F. Modernizatsiya tekhnologicheskoi skhemy ochistki stokov AZS kompleksnogo tipa. Vestnik molodykh uchenykh SPGUTD. 2017. № 4. S. 13–18.
11. Vinokurov K.I., Krest'yaninova A.Yu. Lokal'nye ochistnye sooruzheniya poverkhnostnogo stoka na avtomobil'nykh dorogakh i mostovykh perekhodakh. Ekologiya i stroitel'stvo. 2019. № 4. S. 43–53. doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-005.
12. Strelkov A., Teplykh S. Primenenie kombinirovannykh fil'truyushchikh patronov na zheleznodorozhnykh mostakh. Voda Magazine. 2017. № 5 (117). S. 20–22.
13. Vatin N.I., Grekov M.A., Leonov L.V., Probrskii M.D., Rublevskaya O.N., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Opyt vsezonnoi ekspluatatsii fil'tra FOPS® pri ochistke poverkhnostnogo stoka s tekhnogennogo nagruzhennoi selitebnoi territorii. Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2018. № 8. S. 40–50.
14. Chechevichkin A.V. Proektirovanie i primenenie lokal'nykh ochistnykh sooruzhenii poverkhnostnogo stoka na osnove fil'trov FOPS®. SPb., Lyubavich, 2017. 176 s.

М.П. Фёдоров – Академик РАН, президент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Политехническая 29, e-mail: m.fedorov@spbstu.ru • В.И. Масликов – д-р техн. наук, профессор, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 195251 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, e-mail: maslikov_vi@spbstu.ru • А.В. Чечевичкин – инженер, e-mail: chechevichkin_av@spbstu.ru • Л.А. Якунин – инженер, e-mail: yakunin_la@spbstu.ru

M.P. Fedorov – Academician of RAS, Dr. Sci. (Eng.), President, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 195251 Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya Str. 29, e-mail: m.fedorov@spbstu.ru • V.I. Maslikov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction Institute of Civil Engineering of Sankt-Petersburg, 195251 Russia, Sankt-Petersburg, Polytechnicheskaya Str. 29, e-mail: maslikov_vi@spbstu.ru • A.V. Chechevichkin – engineer, e-mail: chechevichkin_av.spbstu.ru • L.A. Yakunin – engineer, e-mail: yakunin_la@spbctu.ru