

УДК 628.543

РАЗРАБОТКА, ВНЕДРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО  
СОРБЦИОННОГО АППАРАТАУрецкий Е.А.<sup>1</sup>, Николенко И.В.<sup>2</sup>, Мороз В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Республиканское унитарное предприятие Белорусский государственный проектный институт «БелГПИ»  
210602, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Пушкина, 6,  
e-mail: euretsky@yandex.by

<sup>2</sup>Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181  
e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>3</sup>Брестский государственный технический университет  
224017 Республика Беларусь г. Брест, ул. Московская, 267

**Аннотация.** В статье показано, что основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Изучение систем очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения, позволили считать сорбционный метод доочистки сточных вод перспективным. Применение природных материалов в очистке промышленных сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения. Выполнена разработка, внедрение и исследование многоцелевого сорбционного аппарата доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров на основе торфа. Определены оптимальные параметры их работы. При испытании опытно-промышленной установки определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования и промывки сорбционной загрузки, продолжительность фильтроцикла, а также расход промывной воды от объёма фильтрата. Достигнута эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений, которая обеспечивает эффект очистки от взвешенных веществ - 92%; от общего содержания органических веществ по ХПК - 68%, от железа общего - 62%. Проведен анализ полученных результатов, а также даны рекомендации по возможности доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров.

**Предмет исследования.** Эффективность очистки промышленных сточных вод предприятиях машино- и приборостроения от основных загрязнений с применением намывных сорбционных фильтров с использования пылевидного торфа в качестве сорбента.

**Материалы и методы исследования:** В работе проведены экспериментальные исследования на многоцелевом сорбционном аппарате доочистки промышленных сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров на основе торфа. При проведении экспериментальных исследований определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования и промывки сорбционной загрузки, продолжительность фильтроцикла, а также расход промывной воды от объёма фильтрата.

**Результаты.** Для разработки многоцелевых сорбционных аппаратов, работающих в технологических процессах реального производства выполнены экспериментальные исследования технологических процессов доочистки производственных сточных вод сорбцией с применением пылевидного торфа. Достигнута эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений, которая обеспечивает эффект очистки от взвешенных веществ - 92%; от общего содержания органических веществ по ХПК - 68%, от железа общего - 62%.

**Выводы.** По результатам выполненных опытно-экспериментальных исследований на многоцелевом сорбционном аппарате доочистки установлено, что системы очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения с применением сорбционного метода доочистки, с загрузкой сорбента, в виде пылевидного торфа являются перспективными, так как позволяет максимально реализовать сорбционный резерв материала, а также обеспечить гарантированную экологическую безопасность при минимальном его расходе.

**Ключевые слова:** опытно-промышленная установка, многоцелевой сорбционный фильтр, фильтр-сорбер, фильтрат, фильтрующая загрузка, скорость фильтрования, сточная вода, фильтроцикл, эффективность очистки.

## ВВЕДЕНИЕ

В различных отраслях промышленности на обеспечение технологических процессов приходится более 20% всего мирового водопотребления. Вода обеспечивает жизненно важные для человечества функции - производство промышленной продукции и энергии. Производство практически любого вида продукции включает передачу воды в технологических процессах и включение в нее разнообразных компонентов. Индустриальное загрязнение создает значительное разнообразие загрязнений в природных водах - от самых опасных, до практически нейтральных [1]. Чем больше возобновляемых водных ресурсов

используется в индустрии страны, тем больше образуется промышленных сточных вод. Распространение химических загрязнений техногенного происхождения и их специфика в источниках водоснабжения хорошо коррелируют с расположением промышленных объектов различных отраслей. При этом в относительно небольшом количестве индустриально развитых стран основными потребителями водных ресурсов являются промышленные предприятия, на долю которых приходится 50...80% общего спроса. В большинстве развивающихся стран, в настоящее время, промышленное производство использует только 10...30% от общего водопотребления, из которого большая часть водных ресурсов

потребляется сельским хозяйством. При этом, из всей массы воды, потребляемой в сельском хозяйстве, 60 % идет на непродуктивное испарение и возвращается в реки и подземные воды в виде загрязненной воды. По мере индустриализации развивающихся стран их потребности в воде для производства электроэнергии, добычи, обогащения полезных ископаемых и обработки материалов будут увеличиваться.

Рост объемов и темпов мирового промышленного производства приводит к увеличению его антропогенного влияния, в том числе на водные ресурсы. Промышленные стоки, могут содержать химические соединения различного состава и широкого спектра действия, сильно повышают вероятность антропогенного загрязнения водных объектов, а также увеличивают риски и масштабность аварийных утечек в окружающую среду токсичных для окружающей среды и человека соединений. Очистные сооружения для обработки воды и стоков на многих индустриальных предприятиях по различным причинам не могут обеспечить высокий уровень очистки промышленных сточных вод. Поэтому многие водные объекты, куда сбрасываются промышленные сточные воды или попадают их «аварийные» сбросы, снижают способность к самоочищению поверхностных источников водоснабжения.

В отличие от воды, используемой в сельском хозяйстве, в промышленных технологических процессах фактически потребляется лишь небольшая часть воды. Большая ее часть используется для охлаждения, очистки, обработки и других видов технологических процессов, которые могут нагревать или загрязнять воду, но не сохранять ее в готовой продукции, то есть не потреблять ее. В большинстве индустриально развитых стран мира действуют жесткие экологические законы, правила и нормативы, чтобы промышленность и городское хозяйство обеспечивали определенные стандарты качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. Наиболее эффективным и экономичным способом соблюдения требований по загрязнению окружающей среды является многократная переработка и повторное использование воды. Законы о борьбе с загрязнением не только помогли в индустриально развитых странах снизить антропогенную нагрузку на водные объекты, но и способствовали сохранению и более эффективному использованию водных ресурсов. Это создает потенциальную выгоду от рециркуляции воды в технологических процессах или во всем промышленном производстве, обеспечивая больше продукции с каждого используемого кубометра воды.

## ПОСТАНОВКА И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В различных производствах и технологических процессах индустриально развитых стран давно применяется рециркуляция воды, то есть повторное и обратное водоснабжение в ответ на все более строгие законодательные нормы и правила борьбы с загрязнением водных объектов. Законодательные нормы в большинстве богатых стран мира требуют, чтобы промышленность отвечала определенным стандартам качества воды, прежде чем выпускать сточные воды в окружающую среду. В результате, в США в промышленном секторе со второй половины прошлого века за счет внедрения рециркуляции в среднем каждый кубический метр воды в настоящее время используется в среднем не менее 20 раз [1]. При этом шесть отраслей в вопросах промышленного водосбережения превзошли остальные — авиастроение, производство компьютерной техники и электронных компонентов, пищевая промышленность, переработка фруктов и овощей, производство автомобилей, химические производства и нефтепереработка [2]. Меры по рециркуляции охлаждающей и технологической воды стали основной инвестиций в промышленное водосбережение, сделанных этими отраслями. Они охватывают широкий диапазон технологических решений, инженерных конструкций и затрат, что представляет собой как некоторые из наименее затратных, простейших мер, так и самые сложные и дорогостоящие. Многие предприятия вкладывают средства в водосбережение даже больше того, что является финансово оправданным, в основном в качестве страхового полиса против будущего нормирования воды, которое может потенциально угрожать их производству.

Сопоставление показателей качества воды с ее целевым использованием в конкретном технологическом процессе открывает способ управления водой, который превращает промышленные стоки из проблемы утилизации в ценный источник водоснабжения, а также экономический стимул для внедрения оборотных циклов. При принятии решения о рециркуляции воды на предприятиях сравниваются затраты на получение свежей воды и ее очистку перед сбросом в канализацию или водные объекты с затратами на добавление оборудования для очистки и повторного использования сточных вод внутри предприятия. В большинстве отраслей промышленности вторичная переработка также частично компенсирует свои затраты за счет извлечения ценных материалов, таких как никель и хром из гальванических операций, волокно из производства текстиля и бумаги. По мере роста затрат на водоснабжение и очистку сточных вод переработка отходов становится все более рентабельной. А в водodefицитных регионах, промышленное производство все чаще прибегает к рециклингу, чтобы защититься от возможного сокращения

поставок воды. Реакция наиболее инновационных компаний на эти различные стимулы ясно показывает, что дальнейшее значительное сокращение потребностей промышленности в воде возможна [2]. Внедрение в промышленное производство рециклинга воды не только технически возможно, но и имеет все больший экономический и экологический смысл.

В водной стратегии Российской Федерации поставлена задача 2-кратного сокращения негативного воздействия на водные объекты, которая может быть решена посредством реализации инвестиционных проектов по модернизации комплексов очистных сооружений этих крупнейших предприятий. Значительное повышение рациональности водопользования может быть достигнуто за счет перехода крупных предприятий на использование систем оборотного водоснабжения, которые обеспечат сокращение негативного антропогенного воздействия и экологическую реабилитацию водных объектов [3, 4]. Возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, неадекватность используемых технологий водоочистки от загрязняющих компонентов обуславливают приоритетную значимость экологических аспектов в решении проблем обеспечения безопасности водопользования [5].

Основной задачей преодоления рисков от техногенных и антропогенных загрязнений является обеспечение требований законодательного нормирования при минимизация дополнительной химизации воды, которые могут быть преодолены только технологически с учётом современных технологических достижений. Не менее важным при внедрении современных технологических процессов оборотного водоснабжения обеспечение его высокой технико-экономической эффективности. Неспособность внедрения и стимулирования оборотного водоснабжения может приводить к быстрому росту потребностей промышленности в воде и потенциальному увеличению антропогенного воздействия.

Оценивая сложившуюся ситуацию в современных условиях промышленного водопользования необходима разработка и внедрение методов модернизации существующих очистных сооружений таким образом, чтобы усовершенствовать их работу и увязать качество воды после очистки с требованиями технологических процессов по показателям ее качества либо с нормативами безопасности жизнедеятельности, создав максимально возможный барьер для наибольшего, в каждом конкретном производстве, числа загрязнений. Совершенствование технологических процессов очистки воды и оборудования, позволяют многократно снизить потребление воды на технологические нужды, при одновременном повышении степени ее очистки, значительно уменьшить вынос загрязнений и вместе с тем ценных материалов.

Методы очистки воды основаны на принципах отделения загрязнений либо на их химических превращениях. Каждый из методов имеет области наибольшего эффективного применения, которые могут быть взаимно перекрывающимися. К одним из широко применяемых в практике очистки воды относится метод сорбционного извлечения примесей [6]. Одним из главных достоинств сорбционных методов извлечения из воды примесей является отсутствие их деструкции или физико-химической трансформации. Существенно повысить технико-экономическую эффективность очистки воды можно за счет использования местных сорбентов и фильтрующих природных материалов, в качестве которых активно применяются природные глины, глинистые минералы, диатомиты и торф. Природные сорбенты различных классов (цеолиты, глины, кремнеземы, перлиты, монтмориллониты и др.), полученные на их основе модифицированные и полусинтетические сорбенты, успешно используются для удаления из воды не только дисперсионных примесей, но и молекулярно и ионно растворенных веществ. Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Сложившаяся в настоящее время ситуация в этой области исследований вызвала необходимость совершенствования сорбционных технологий и селективных процессов очистки загрязненных растворов и технологических жидкостей для комплексного решения ресурсосберегающих и экологических проблем. В результате направленных исследований широкого спектра сорбционных материалов применительно к очистке сточных вод получили дальнейшее развитие процессы адсорбции на природных сорбентах и их аналогах [7].

Лабораторные исследования узла сорбционной доочистки промышленных сточных вод гальванического и покрасочного производства, ранее проведенные авторами, показали возможность использования пылевидного торфа в качестве амфотерного ионообменного материала без специальной предварительной подготовки, в связи с содержанием в нём карбоксильных и аминокрупп, которые обуславливают как катионный, так и анионный обмен [8]. Результаты этих исследований оказалось недостаточно для разработки многоцелевых сорбционных аппаратов, работающих в технологических процессах реального производства [9, 10]. Поэтому в данной работе рассмотрены проблемы обоснования технологической схемы доочистки промышленных сточных вод в фильтрах-сорберах на основе принципа нанесения на инертную подложку мелкодисперсного сорбента, в качестве которого применяется пылевидный торф. С учетом вышеизложенного целью данной работы является получение практических рекомендаций к

проектированию технологических схем доочистки промышленных сточных вод в фильтрах-сорберах, а также определение основных технологических параметров её работы.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды вод гальванического и покрасочного производства прошедших предварительную обработку. Для решения задачи по ее доочистке с

учётом предварительно проведенных лабораторных исследований разработана конструкция многоцелевого сорбционного аппарата. В качестве фильтрующей загрузки такого аппарата предлагается использование дешёвых природных материалов. Загрузка фильтра предназначается не только для осветления сточных вод, т.е. удаления механических примесей, но и для извлечения из промышленных сточных вод органических веществ, в том числе и растворённых. Качество воды, прошедшей узел доочистки, должно соответствовать требованиям технологической службы предприятия, указанным в табл. 1.

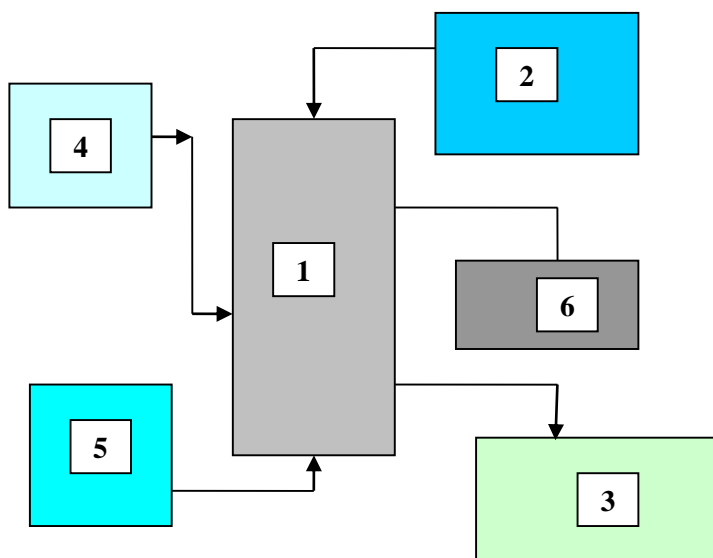
**Таблица.1.** Характеристика качества воды, используемой для приготовления растворов технологических ванн защитных покрытий

**Table.1.** Characteristics of the quality of water used for the preparation of solutions of technological baths of protective coatings

№№ п/п	Показатели качества воды	Единица. измерения.	Требования ОСТ 420054.076
1	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	10
2	Твёрдые вещества	мг/дм <sup>3</sup>	20
3	Цветность	градус	20
4	Жёсткость	мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,0
5	Железо	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,3
6	Окисляемость	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,0

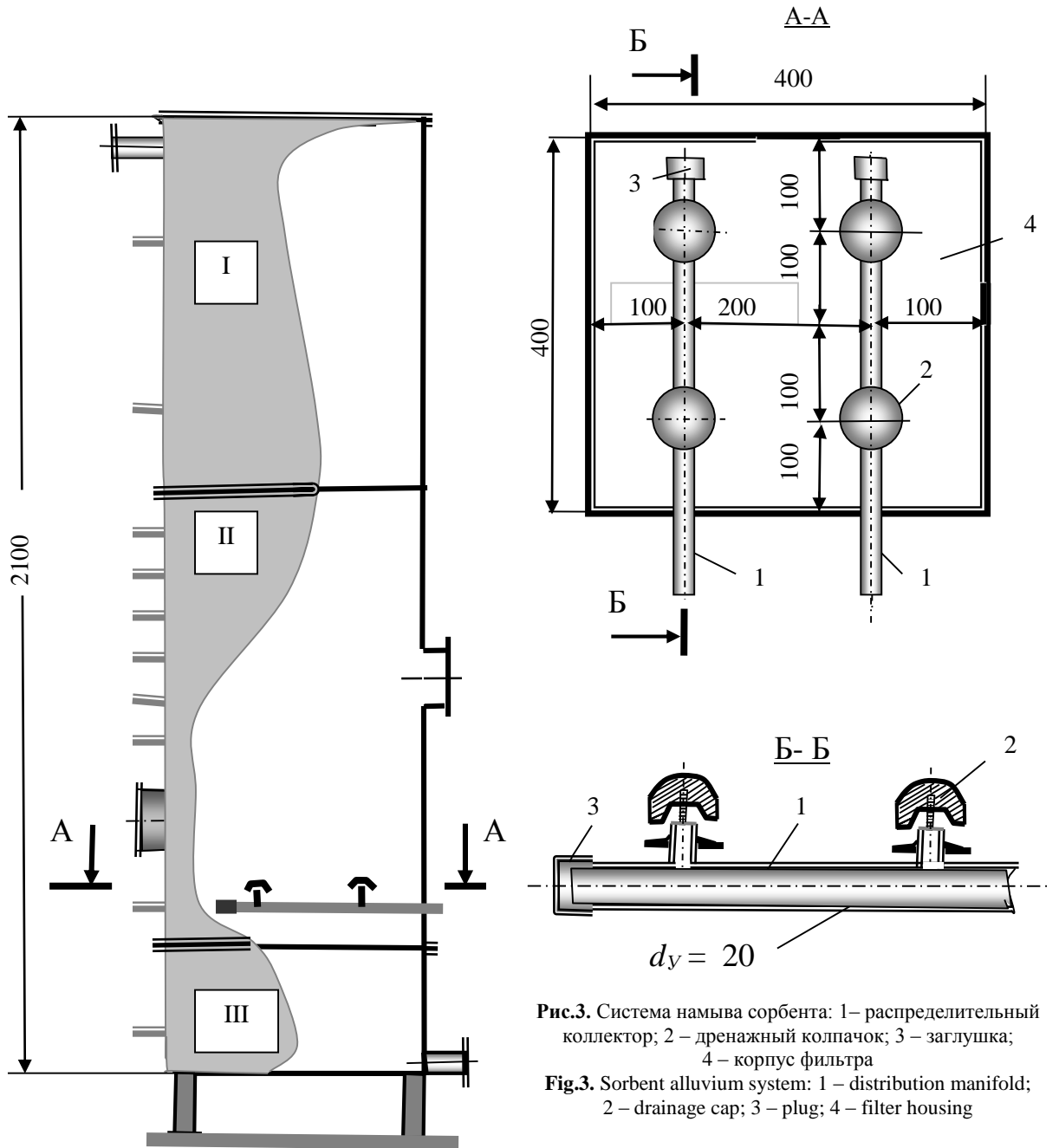
Для обеспечения этих показателей требуется установить технологический режим работы многоцелевого сорбционного фильтра и определить

эффективность очистки производственных сточных вод на аппарате исследуемой конструкции.



**Рис. 1.** Блок-схема опытно-промышленной установки: 1 – фильтр-сорбер; 2 – узел предварительного осветления сточных вод; 3 – ёмкость фильтрата; 4 – узел приготовления суспензии сорбента; 5 – ёмкость промывной воды; 6 – сборник промывной воды

**Fig. 1.** The block scheme of the pilot setting: 1 – filter sorber; 2 – sewage pre-clarification unit; 3 – filtrate tank; 4 – sorbent suspension preparation unit; 5 – washing water tank; 6 – washing water collector

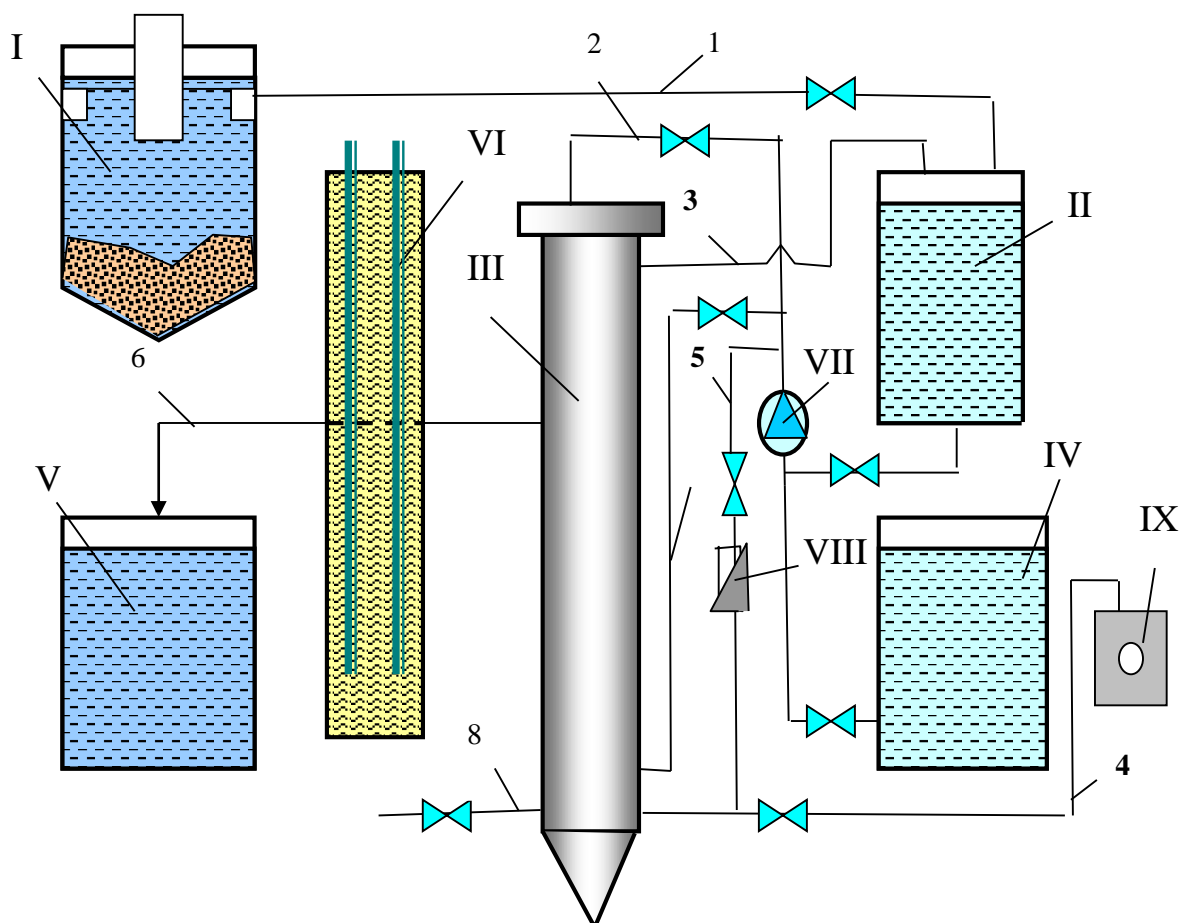


**Рис. 2.** Схема фильтра-сорбера в сборе  
 I – верхний элемент; II – средний элемент;  
 III – нижний элемент

**Fig. 2.** The scheme of the filter-sorber assembly  
 I – upper element; II – middle element;  
 III – lower element

**Рис.3.** Система намыва сорбента: 1– распределительный коллектор; 2 – дренажный колпачок; 3 – заглушка; 4 – корпус фильтра

**Fig.3.** Sorbent alluvium system: 1 – distribution manifold; 2 – drainage cap; 3 – plug; 4 – filter housing



**Рис. 4.** Технологическая схема работы опытно-промышленной установки: I – отстойник; II – ёмкость осветлённой воды; III – фильтр-сорбер; IV – сборник фильтрата; V – сборник промывной воды; VI – пьезометрический щит; VII – насосная установка; VIII – водомер; IX – измерительное устройство; 1 – осветлённая жидкость; 2 – подача сточной жидкости; 3 – переливной трубопровод; 4 – фильтрата; 5 – подача промывной воды; 6 – отвод промывной воды; 7 – подача суспензии сорбента; 8 – опорожнение

**Fig. 4.** Technological scheme of operation of the pilot setting: I – settling tank; II – clarified water tank; III – filter sorber; IV – filtrate collector; V – washing water collector; VI – piezometric shield; VII – pumping unit; VIII – water meter; IX – measuring device; 1 – clarified liquid; 2 – sewage liquid supply; 3 – overflow pipeline; 4 – filtrate; 5 – supply of washing water; 6 – discharge of washing water; 7 – supply of sorbent suspension; 8 – emptying

**Конструкция опытно-промышленной установки.** Опытная промышленная установка рассчитана на доочистку сточной воды вод гальванического и покрасочного производства производительностью 1,0 до 1,5 м<sup>3</sup>/ч. Принципиальная блок-схема опытно-промышленной установки представлена на рис.1. Установка состоит из следующих основных узлов: фильтра-сорбера; узла предварительного осветления сточных вод; ёмкости фильтрата; ёмкости приготовления суспензии сорбента; ёмкости промывной воды; сборника промывной воды; насосного агрегата.

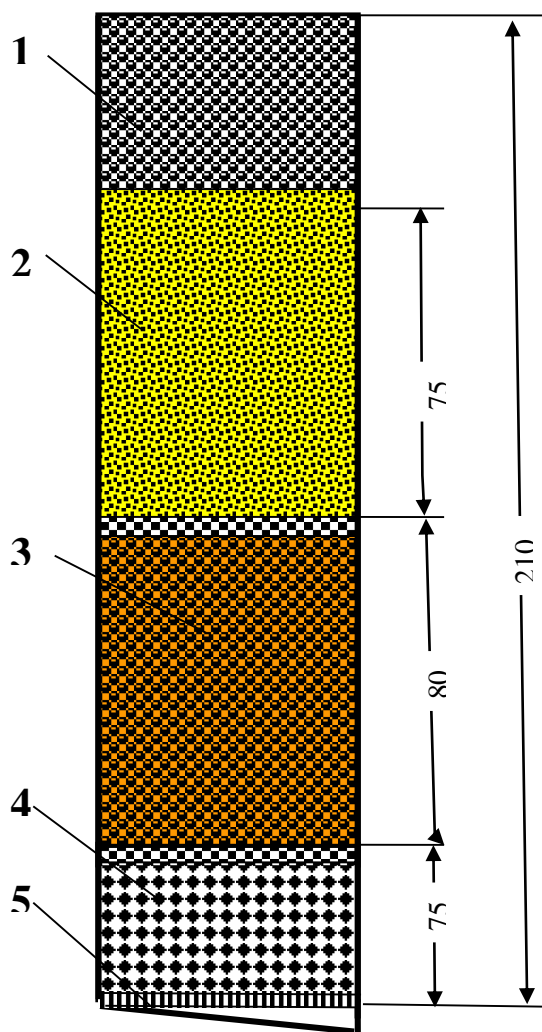
Основным элементом опытно-промышленной установки доочистки промышленных сточных вод является фильтр-сорбер. Схема фильтра-сорбера в сборе показана на рис. 2., а система намыва сорбента на рис.3. Корпус фильтра-сорбера изготовлен из нержавеющей стали толщиной 4 мм. Фильтр состоит из трёх отдельных секций, имеющих фланцевые соединения. Общая высота фильтра

составляет 2700 мм. Площадь фильтрующей поверхности 0,16 м<sup>2</sup>. Все три секции оборудованы пробоотборниками и штуцерами для подключения пьезометров. Фильтр имеет патрубок для подачи исходной жидкости сборный коллектор промывной воды, патрубки для загрузки и выгрузки сорбента, устройства для ввода сорбента, коллектор для подачи промывной воды и отвода фильтрата. Коллектор отвода промывной воды и фильтрата выполнен из стальных труб с отверстиями диаметром 10 мм и шагом 25 мм.

Система подачи сорбента выполнена из трубопроводов диаметром 20 мм и снабжён четырьмя распределительными колпачками. Фильтр-сорбер оборудован устройством для измерения скорости фильтрации. Все основные элементы установки соединены стальными трубопроводами диаметром 40 мм и оборудованы запорно-регулирующей арматурой. Технологическая схема работы опытно-промышленной установки на рис. 4

Перед рассевом фильтрующий материал высушивался на воздухе. Рассев фильтрующего материала производился с использованием стандартного набора сит при загрузке корпуса фильтра производилась послойная укладка фильтрующего слоёв и их гидросортировка [11, 12]. Горизонтальность укладки слоёв контролировалась по уровню. В качестве фильтрующих материалов использованы: щебень, кварцевый песок, дроблённый керамзит, гранитный гравий. Конструкция фильтрующих слоёв представлена на рис. 5.

При работе установки в режиме фильтрования осуществлена тарировка системы пьезометров и устройства для измерения скорости фильтрации. Для определения диапазона интенсивности подачи промывной воды использовалась водопроводная вода, а контроль параметров промывки производился по показаниям водомера ВТ-50, установленного на трубопроводе подачи промывной воды, а также по показаниям пьезометров.



**Рис. 5.** Принципиальная схема загрузки фильтра-сорбера: 1 – щебень крупностью 25...50 мм; 2 – кварцевый песок крупностью 0,8...1,2 мм; 3 – керамзит крупностью 3...5 мм; 4 – гранит крупностью 5...7 мм; 5 – поддерживающая сетка

**Fig. 5.** Schematic diagram of the sorber filter loading: 1 – crushed stone with a size of 25...50 mm; 2 – quartz sand with a size of 0.8...1.2 mm; 3 – expanded clay with a size of 3...5 mm; 4 – granite with a size of 5...7 mm; 5 – supporting mesh

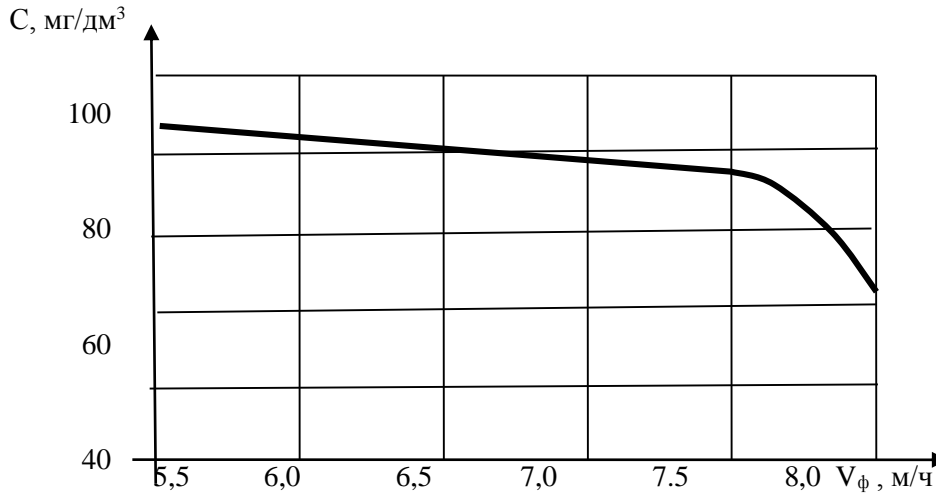
**Испытание установки в качестве узла доочистки сточных вод БЭМЗ.** После завершения пуско-наладочных работ опытно-промышленная установка испытывалась в качестве узла доочистки сточных вод гальванического и покрасочного

производства Белорусского электромеханического завода (БЭМЗ).

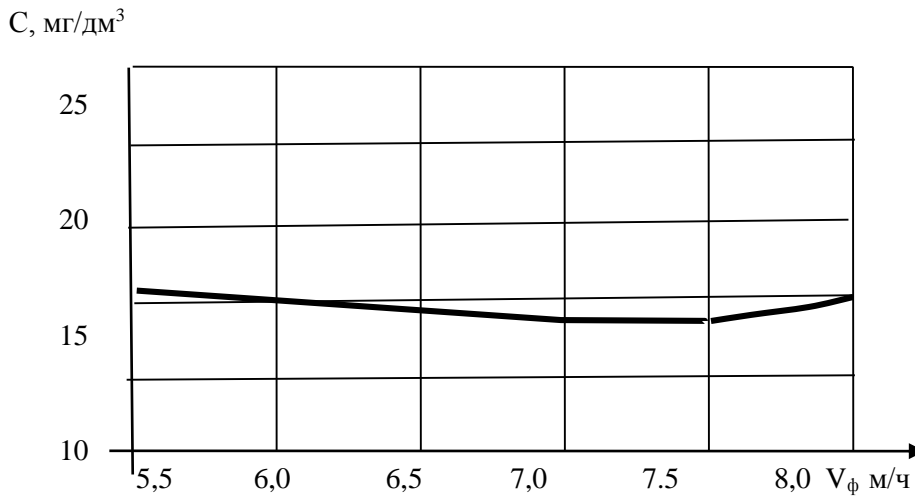
На экспериментальную установку подавалась сточная вода, прошедшая реагентную обработку и осветлённая в отстойнике. В первой серии опытов

ставилась задача уточнить оптимальную скорость фильтрации при очистке натуральных сточных вод предприятия. Был определён эффект удаления

взвешенных веществ при различной скорости фильтрации. Результаты этих экспериментальных исследований представлены на рис. 6 и 7.



**Рис. 6.** Изменение концентрации взвешенных веществ в исходной воде при различных скоростях фильтрации  
**Fig. 6.** Change in the concentration of suspended substances in the source water at different filtration rates



**Рис. 7.** Изменение концентрации взвешенных веществ в фильтрате при различных скоростях фильтрации  
**Fig. 7.** Change in the concentration of suspended substances in the filtrate at different filtration rates

Полученные данные свидетельствуют о том, что выбор диапазона скоростей произведён правильно, так при всех сериях опытов содержание взвешенных веществ в фильтрате не превышало ПДК согласно действующих нормативных требований. Следует отметить, что приведенные данные не учитывают продолжительность

фильтрационного цикла, так как продолжительность фильтрации в этих сериях составляла 3 часа. Тем не менее не рекомендуется устанавливать скорость фильтрации выше 7,5 м/ч, так как в этом случае резко падает эффект осветления жидкости с 91% до 76 % (участок IV -V) на рис. 8.

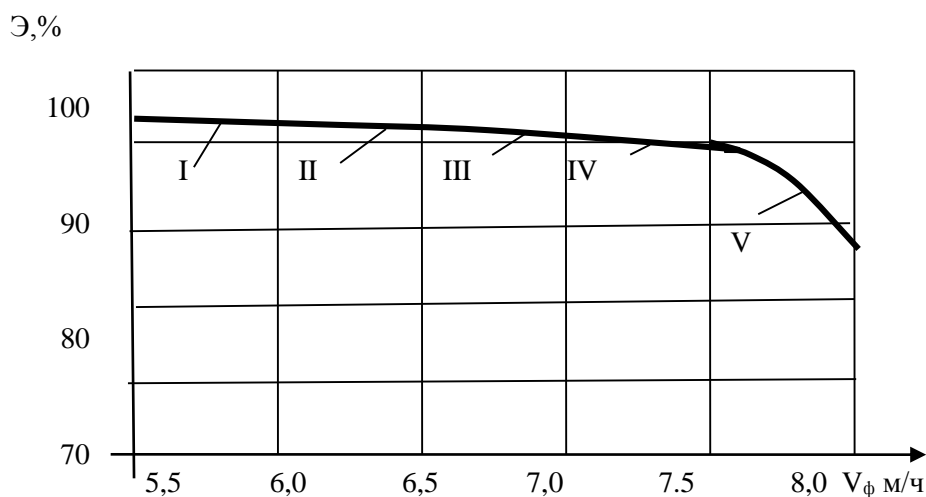


Рис. 8. Эффект удаления взвешенных веществ опытно-промышленной установкой при различных скоростях фильтрации

Fig. 8. The effect of purification by a pilot setting at different filtration rates

После каждой серии опытов производилась промывка фильтра технической водой. Время составляло 8...12 минут, а расход промывной воды при интенсивности её подачи  $16 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$ , составлял  $1500...1600 \text{ дм}^3$ . После промывки потери напора соответствовали начальным, что свидетельствует об эффективности выбранного режима промывки фильтрующих слоёв.

Определяющими загрязнителями промышленных сточных вод исследуемого типа являются взвешенные вещества, железо и растворённые

органические соединения. Поскольку задачей на данном этапе ставилась исследование возможности использования многослойного фильтра в качестве узла доочистки, была проведена отдельная серия опытов для определения эффективности удаления основных загрязнений опытной установкой.

В этой серии были приняты оптимальные параметры технологического режима фильтра, установленные в результате предшествующих экспериментов. Результаты работы установки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты работы опытно-промышленной установки по доочистке промышленных сточных вод

Table 2. The results of a pilot setting for the post-treatment of industrial wastewater

№№ п/п	Наименование загрязнений	Ед. измерения	Концентрация загрязнений в исходной сточной жидкости	Концентрация загрязнений в фильтрате фильтра-сорбера	Эффект очистки %
1.	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	38 - 43	3 - 3,2	92%
2.	Органические вещества	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	48 - 51	14,2 - 16	68%
3.	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	2,36 - 2,8	0,73 - 0,92	62%

При проведении опытов сохранились следующие условия: - скорость фильтрации - 6 м/ч; - интенсивность промывки -  $16 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$ ; - начальная потеря напора - 22 м; - время промывки - 10 мин. Сточная жидкость подавалась на фильтр после предварительного 1,5 часового оттаивания. После проведения исследований на реальных сточных водах на разработанном и внедрённом на БЭМЗ многослойном намывном фильтре-сорбере были сделаны следующие выводы.

## ВЫВОДЫ

Основной проблемой современных технологических систем применения сорбционных методов доочистки является разработка экологически безопасных технологий с максимально замкнутым циклом и минимальным количеством отходов. Системы очистки сточных вод на предприятиях машино- и приборостроения с применением сорбционного метода доочистки являются перспективным. В условиях Беларуси возможно использование в качестве сорбционного материала природного, пылевидного торфа.

Используя принцип нанесения мелкодисперсного сорбента на инертную подложку,

сконструирован новый тип фильтра-сорбера, где в качестве сорбента выбран пылевидный торф, а сорбционный слой защищён каркасно-засыпным фильтром. Изучение сорбционных свойств торфа показало, что этот природный материал обладает достаточной ёмкостью по отношению к загрязнениям промышленных сточных вод БЭМЗ.

Проведенные исследования, направленные на разработку основного элемента узла доочистки промышленных сточных вод БЭМЗ позволили разработать и внедрить технологическую схему доочистки в опытно-промышленной установке.

При испытании опытно-промышленной установки определены основные технологические параметры её работы: скорость фильтрования 4-5 м/ч; промывка загрузки с интенсивностью подачи 16-17 дм<sup>3</sup>/см<sup>2</sup>; намыв сорбента производится в осушенную загрузку с концентрацией суспензии торфа 60 и 80 см<sup>3</sup> в 1000 см<sup>3</sup> воды; крупность торфа не более 0.5 мм; продолжительность фильтроцикла не менее 18 часов; расход промывной воды 3...5 % от объёма фильтрата.

Установлена эффективность очистки промышленных сточных вод от основных загрязнений. Снижение содержания взвешенных веществ до 92%; общего содержания органических веществ по ХПК до 68%, железа общего до 62 %.

Удаление отработанного сорбента осуществляется на узле механического обезвреживания осадка. По разработанной технологии осадок из отстойника после обезвоживания может быть использован в производстве керамической продукции (рядовой кирпич, керамзит, стеновая плитка). При этом происходит полное выгорание органических загрязнений в т.ч. и торфа. При этом безопасность в экологическом отношении полученной продукции гарантирована.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с.
2. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р. Электронный ресурс: режим доступа <http://government.ru/docs/10049/>(дата обращения 07.03.2021 г.)
4. Постановление Правительства РФ от 19.04.2012 N 350 (ред. от 31.05.2017) "О Федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах". Электронный ресурс: режим доступа: <http://government.ru/docs/37156/>(дата обращения 07.03.2021 г.)

5. Говорова Ж.М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 2004.

6. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

7. Климов Е. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е. С. Климов, М. В. Бузаева. – Ульяновск: УЛГТУ, 2011. – 201 с.

8. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. Исследование работы узла сорбционной доочистки сточных вод с использованием намывных сорбционных фильтров// Строительство и техногенная безопасность. 2021. – вып. 23 (74). – С. 147 – 160.

9. Брестский инженерно-строительный институт: Отчет по НИР. Разработка элементов безотходной технологии и их исследование на сооружениях БЭМЗ. № гос. регистрации 80028756. Брест. 1983 г.

10. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография. - Брест, изд-во БГТУ, 2007. - 396 с.

11. Гогина Е.С. Гуринович А.Д., Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и вол отведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов РФ, 2012. – 312 с.

12. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография- изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 – 360 с.

## REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I., Khranovich I.L. Water resources management. Coordination of water use strategies. - M.: Scientific world, 2010. – 232 p.
2. S. Postel. The last oasis. Facing water scarcity. London: Earthscan Publications Ltd., Worldwatch Institute, 1992. – 226 p.
3. Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020. Order of the Government of the Russian Federation of August 27, 2009 N 1235-R. Electronic resource: access mode [http://government.ru/docs/10049](http://government.ru/docs/10049/) //(accessed 07.03.2021).
4. Decree of the Government of the Russian Federation of 19.04.2012 N 350 (ed. of 31.05.2017) "On the Federal target program "Development of the water management complex of the Russian Federation in 2012-2020". Electronic resource: access mode: [http://government.ru/docs/37156](http://government.ru/docs/37156/) //(accessed 07.03.2021).
5. Govorova Zh.M. Justification and development of technologies for the purification of natural waters containing anthropogenic impurities: Abstract. dis. ... doct. technical Sciences. – М., 2004.
6. Smirnov A.D. Sorption water purification. – L.: Chemistry, 1982. – 168 p.

7. Klimov E. S. Natural sorbents and complexes in wastewater treatment / E. S. Klimov, M. V. Buzaeva. - Ulyanovsk: UISTU, 2011. – 201 p.

8. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. Investigation of the operation of the sorption wastewater treatment unit using alluvial sorption filters// Construction and technogenic safety. – 2021. – vol. 23 (74). – Pp. 147-160.

9. Brest Institute of Civil Engineering: Research Report. Development of waste-free technology elements and their research at the BEM facilities. State registration no. 80028756. Brest, 1983

10. Uretsky E.A. Resource-saving technologies in water management of industrial enterprises.

Monograph. - Brest, publishing house of BSTU, 2007. – 396 p.

11. Gogina E.S. Gurinovich A.D., Uretsky E.A. Resource-saving technologies of industrial water supply and drainage: A reference manual. - M.: Publishing House of the Association of Construction Universities of the Russian Federation, 2012. – 312 p.

12. Uretsky, E.A. Resource-saving technologies in the water sector of industrial enterprises. Monograph - publishing house of LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2014 – 360 p.

## DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF MULTI-PURPOSE SORPTION APPARATUS

Uretsky E.A.<sup>1</sup>, Nikolenko I.V.<sup>2</sup>, Moroz V.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Republican Unitary Enterprise Belarusian State Design Institute "BelGPI"  
210602, Republic of Belarus, Vitebsk, Pushkin str., 6,  
e-mail: euresky@yandex.by

<sup>2</sup>Institute «Academy of Construction and Architecture» of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky  
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str. 181  
e-mail: energia-09@mail.ru

<sup>3</sup>Brest State Technical University  
224017 Republic of Belarus Brest, Moskovskaya str., 267

**Abstract.** The article shows that the main problem of modern technological systems for the application of sorption post-treatment methods is the development of environmentally friendly technologies with the maximum closed cycle and the minimum amount of waste. The study of wastewater treatment systems at machine- and instrument-making enterprises made it possible to consider the sorption method of wastewater after treatment promising. The use of natural materials in the treatment of industrial wastewater is acceptable from an environmental and economic point of view. The development, implementation and research of a multi-purpose sorption apparatus for post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters based on peat has been carried out. The optimal parameters of their operation have been determined. When testing a pilot plant, the main technological parameters of its operation were determined: the rate of filtration and washing of sorption loading, the duration of the filter cycle, as well as the flow rate of washing water from the volume of the filtrate. The efficiency of industrial wastewater treatment from the main pollutants has been achieved, which provides the effect of purification from suspended solids - 92%; from the total content of organic substances by COD - 68%, from total iron - 62%. The analysis of the obtained results is carried out, and recommendations are given on the possibility of post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters.

**Subject of research:** Efficiency of industrial wastewater treatment at machinery and instrument-making enterprises from the main contaminants using alluvial sorption filters with the use of pulverized peat as a sorbent.

**Materials and methods of research:** Experimental studies have been carried out on a multipurpose sorption apparatus for post-treatment of industrial wastewater using alluvial sorption filters based on peat. During the experimental studies, the main technological parameters of its operation were determined: the rate of filtration and washing of sorption loading, the duration of the filter cycle, as well as the flow rate of washing water from the volume of the filtrate.

**Results:** To develop multi-purpose sorption devices operating in the technological processes of real production, experimental studies of technological processes of post-treatment of industrial wastewater by sorption using pulverized peat have been carried out. The efficiency of industrial wastewater treatment from the main pollutants has been achieved, which provides the effect of purification from suspended solids - 92%; from the total content of organic substances by COD - 68%, from total iron - 62%.

**Conclusions.** According to the results of experimental studies performed on a multi-purpose sorption after treatment apparatus, it was found that wastewater treatment systems at machine and instrument manufacturing enterprises using the sorption method of after treatment, with sorbent loading, in the form of pulverized peat are promising, as it allows to maximize the sorption reserve of the material, as well as to ensure guaranteed environmental safety with minimal consumption.

**Key words:** pilot plant, multipurpose sorption filter, filter-sorber, filtrate, filter loading, filtration rate, waste water, filter cycle, purification efficiency.