

Александр Маратович
КРАВЦОВ,
кандидат технических наук,
доцент кафедры
"Гидравлика и гидравлические
машины"
Белорусского государственного
аграрного технического
университета

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

IMPROVEMENT OF LOCAL STRUCTURES FOR OILY WASTEWATER TREATMENT

В статье анализируются некоторые аспекты в области проектирования и эксплуатации локальных сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод. Представлена усовершенствованная технология и малогабаритная комбинированная установка для очистки дождевых и производственных сточных вод с использованием конкурентоспособного отечественного оборудования.

This paper analyzes some aspects in the area of designing and operation of local structures for oily wastewater treatment. An improved technology and a small-sized combined station for rainwater and industrial wastewater treatment has been developed using competitive domestic equipment.

ВВЕДЕНИЕ

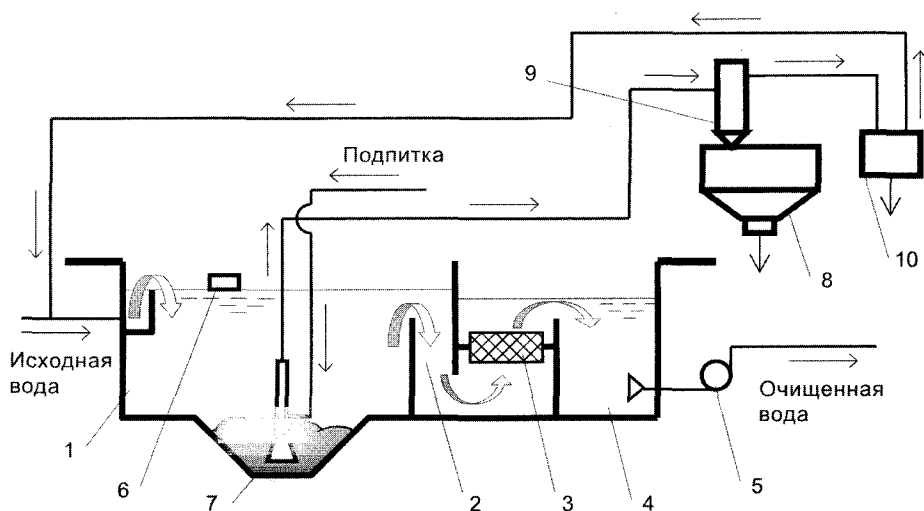
Одними из наиболее распространенных источников загрязнения водной среды являются нефтепродукты, которые попадают в окружающую среду с производственными и дождевыми сточными водами. В последнее время объем нефтесодержащих стоков возрос, что связано, в первую очередь, с развитием средств механизации, автомобильного транспорта и сети обслуживающих предприятий. Такие предприятия являются крупными потребителями чистой воды, 80%–85% которой идет на технологические нужды и, зачастую, при прямоточной системе водопотребления повторно не используется. Полномасштабный переход на оборотную схему водоснабжения сдерживает ряд факторов, и в первую очередь, несовершенство технологий и сооружений очистки нефтесодержащих сточных вод. То же можно сказать и о положении с очисткой дождевых стоков. Для радикального изменения сложившегося положения необходимо внедрение прогрессивных технологий и строительство на их основе эффективных локальных очистных сооружений. Причем, учитывая нехватку оборотных средств у многих предприятий республики, и особенно в условиях экономического кризиса, предпочтение следует отдавать реконструкции существующих сооружений с использованием недорогого и конкурентоспособного оборудования отечественного производства.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ

На сегодняшний день в Республике Беларусь можно выделить два принципиальных подхода к очистке нефтесодержащих сточных вод с применением технологий, в которых:

- используется комбинация процессов отстаивания и фильтрования;
- кроме процессов отстаивания и фильтрования включен процесс коагуляции (как правило, химическими реагентами).

В соответствии с первым подходом очистка сточных вод производится вначале в отстойнике, а затем в



1 — горизонтальный отстойник; 2 — распределительная камера; 3 — кассетный фильтр; 4 — водозаборная камера; 5 — насос; 6 — нефтесборник; 7 — гидроэлеватор; 8 — бункер для осадка; 9 — напорный гидроциклон; 10 — фильтр доочистки сливной воды

Рис. 1. Принципиальная схема очистных сооружений нефтесодержащих сточных вод по типовому проекту ТП 902-2-172

фильтре. В качестве примера можно рассмотреть типовой проект ТП 902-2-172 (рис. 1). На основе указанного проекта или подобных ему построены очистные сооружения многих предприятий. Эти сооружения эксплуатируются до настоящего времени. При этом для того чтобы обеспечить современные требования по предельно допустимым концентрациям (ПДК), необходимо использовать дорогостоящие сорбционные фильтрующие материалы, как правило, синтетические.

В принципе комбинация процессов осаждения и фильтрования может обеспечить приемлемую степень очистки. Однако, как показывает практика, при эксплуатации таких сооружений возникает ряд сложностей. Основная проблема заключается в том, что отстойник не может обеспечить высокой степени очистки и на фильтр приходится слишком большая нагрузка, что приводит к быстрой колюматации верхних слоев фильтрующей загрузки и необходимости частой ее замены вручную. При этом сорбционная способность фильтрующей загрузки далеко не исчерпывается, то есть материал используется неэффективно, что приводит к высоким эксплуатационным затратам. Следует также отметить, что применение таких технологий позволяет извлекать из воды загрязняющие примеси, которые однако все равно попадают в окружающую среду, только уже вместе с отработанным фильтрующим материалом, не поддающимся, как правило, регенерации или утилизации. В лучшем случае отработанную фильтрующую загрузку, пропитанную нефтепродуктами и другими веществами, вывозят на полигоны бытовых и промышленных отходов. Иногда подобные материалы можно обнаружить на несанкционированных свалках. При этом следует заметить, что разложение синтетических материалов может происходить сотни лет. Сжигание же отработанных фильтрующих загрузок приводит к загрязнению атмосферного воздуха продуктами сгорания, содержащими ядовитые и канцерогенные примеси.

Предпринимаются попытки усовершенствовать работу сооружений по рассмотренной выше схеме. Например, в них предлагается размещать модуль тонкослойного отстаивания [1], что, конечно, позволяет снизить нагрузку на фильтр, однако все же не решает проблему принципиально.

На рынке Республики Беларусь предлагаются и другие сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод, например [2]. Эти сооружения имеют свои конструктивные и технологические особенности и преимущества, однако принципиально не отличаются от упомянутых выше и не в полной мере решают основные природоохранные проблемы.

Применение коагуляции, в соответствии со вторым подходом, позволяет извлекать из сточных вод значительную часть примесей, не загоняя их в фильтрующую загрузку. Однако такие технологии также не избавлены от ряда существенных недостатков:

— необходимости содержания реагентного хозяйства, а также применения дозаторов, смесите-

лей и прочего вспомогательного энергоемкого оборудования;

- высокой стоимости реагентов;
- чувствительности к колебаниям концентрации загрязнений в сточных водах, что может приводить к снижению эффективности очистки при концентрациях выше заданного значения или вторичному загрязнению фильтрата в результате неполного гидролиза при низкой концентрации загрязнений;
- большого количества хлопьевидного осадка, нуждающегося в обезвоживании и захоронении.

ПУТИ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНОЙ ПРОБЛЕМЫ И НОВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА

Решение актуальной проблемы может быть обеспечено: во-первых, включением между двумя базовыми процессами осаждения и фильтрования вспомогательных процессов. Перспективными и достаточно изученными являются процессы безреагентной флотации и контактной коалесценции. Эти вспомогательные процессы будут снижать нагрузку на фильтр, вместе с тем не создавая существенных эксплуатационных трудностей. Во-вторых, в качестве фильтрующих загрузок допустимо использовать недорогие регенерируемые экологически безопасные материалы. В-третьих, особо необходимое условие, — организация извлечения и обезвоживания шламов для последующей их утилизации. В-четвертых, перспективным является переход от экстенсивных технологий к интенсивным с применением компактных установок с высокой степенью автоматизации и механизации приемов эксплуатации.

Для решения обозначенных задач предлагается усовершенствованная схема технологической очистки нефтесодержащих сточных вод (рис. 2), которая предусматривает локальную очистку производственных и дождевых вод, загрязненных нефтепродуктами, твердыми веществами и поверхностно активными веществами (ПАВ).

В соответствии со схемой сначала очистка осуществляется в первичном отстойнике, где выделяются грубодисперсные примеси. Осветленная в отстойнике вода подается на доочистку в малогабаритную комбини-

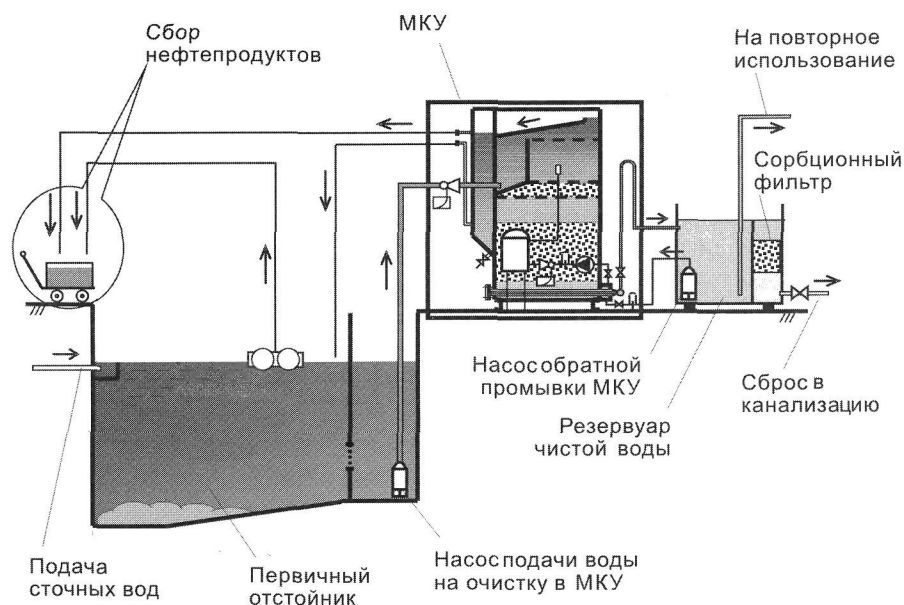


Рис. 2

рованную установку (МКУ), где производится многостадийная обработка с использованием процессов струйной и напорной флотации, коалесценции и фильтрования в скором фильтре с зернистой загрузкой, которая периодически регенерируется обратной промывкой. Очищенная в МКУ вода отводится в резервуар чистой воды, откуда она повторно забирается на производственные нужды, а также на периодическую обратную промывку фильтрующей загрузки. При необходимости доочистки воды перед сбросом ее в канализацию или водные бассейны может быть использован установленный в резервуаре чистой воды кассетный сорбционный фильтр.

Основным звеном технологической схемы является компактная установка, в которой сточные воды перед фильтром проходят многостадийную обработку с использованием процессов контактной коалесценции, струйной и напорной флотации. Процессы флотации являются эффективными и экономичными, так как для их реализации используется атмосферный воздух. Флотация, как никакой другой процесс, эффективна для извлечения из сточных вод ПАВ, что особенно важно при обработке воды, образующейся на мойках транспорта. Применение процессов флотации обеспечивает гибкость технологического процесса к исходным концентрациям загрязнений в воде. Это обусловлено тем, что при повышении концентрации загрязнений повышается эффект очистки. Обработка сточных вод с использованием последовательности процессов осаждения, контактной коалесценции, флотации и фильтрования в скором зернистом фильтре позволяет без применения дорогостоящих методов снизить концентрацию загрязнений в воде до уровня 1–2 мг/л по нефтепродуктам и 6–8 мг/л по взвешенным веществам. Вода такого качества может повторно использоваться на производственные нужды в системах оборотного водоснабжения. При необходимости достижения более глубокой степени очистки до норм ПДК для сброса воды в канализацию или водоемы в технологическую схему включен финишный сорбционный фильтр. При этом нагрузка на фильтр минимальна, что обеспечивает многолетнее и эффективное использование фильтрующей загрузки.

Новая технологическая схема может применяться как на вновь вводимых, так и на реконструируемых объектах.

Опытный и промышленный образцы МКУ внедрены на двух предприятиях Республики Беларусь по проектам реконструкции очистных сооружений дождевых вод базы РУП "Белоруснефть-Брестоблнефтепродукт" и мойки машин автотранспортного цеха РУП "МАЗ". При проектировании МКУ использовались научные разработки по патентам Республики Беларусь [3–5]. Опыт эксплуатации подтвердил эффективность новой разработки. Удельный расход электроэнергии зависит от производительности МКУ и составляет 0,45–0,80 кВт·ч/м³. Производительность установки в различных модификациях — от 3 до 10 м³/ч. Большая производительность может быть достигнута комбинацией двух и более модулей МКУ.

При внедрении и опытной эксплуатации были выявлены некоторые недостатки, для устранения которых в конструкцию МКУ внесены усовершенствования. Основной проблемой оказалась неустойчивая работа системы отвода фильтрата. Система предназначена для отвода фильтрата из коллектора дренажных труб МКУ в резервуар чистой воды. При этом в течение рабочего цикла в установке должен поддерживаться заданный уровень воды.

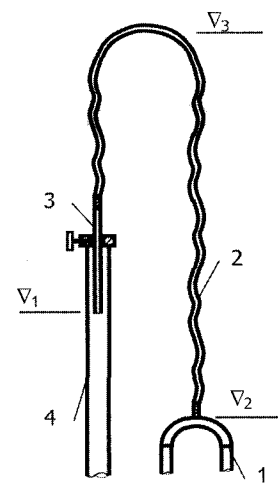


Рис. 3

Усовершенствованная система содержит (рис. 3) U-образную трубу-сифон 1, соединенную гибким шлангом 2 с вертикальной трубкой 3, нижний конец которой зафиксирован в трубе-чехле 4 на отметке заданного уровня воды V_1 в установке. Труба-чехол 4 предназначена для обеспечения спокойной поверхности воды у нижней кромки вертикальной трубки 3.

Система отвода фильтрата с поддержанием заданного уровня работает следующим образом: при запуске МКУ, когда нижний конец трубки 3 сообщен с атмосферой, U-образная труба 1 работает самотеком. Тогда действующий напор в системе определяется разностью отметок уровней воды в МКУ и в U-образной трубе 1 (отметка V_2); при этом расход отводимого фильтрата ниже постоянного расхода жидкости, подаваемой в МКУ. В этом случае уровень воды в установке возрастает до тех пор, пока нижний конец трубки 3 не покроется жидкостью. В этот момент U-образная труба 1 начинает работать как сифон, действующий напор увеличивается и уже определяется разностью отметок уровней воды в МКУ и в резервуаре чистой воды, что приводит к увеличению расхода отводимого фильтрата над расходом подаваемой сточной воды. При этом уровень воды в установке начинает снижаться до тех пор, пока нижний конец трубки 3 опять не сообщится с атмосферой, после чего цикл повторяется. При работе системы отвода фильтрата действительный уровень воды в МКУ незначительно колеблется в пределах заданной отметки.

Гидравлический расчет U-образной трубы 1 производится с учетом того, что действующий напор при работе системы самотеком должен обеспечить расход отводимого фильтрата на 10%–15% меньше расхода поступающей на очистку воды, а при работе системы в режиме сифона расход отводимого фильтрата должен быть на 15%–20% больше расхода поступающей воды. В этом случае система отвода фильтрата обеспечит постоянство уровня воды с учетом прироста потерь напора в фильтрующей загрузке в течение рабочего цикла МКУ.

Диаметр U-образной трубы 1 системы отвода фильтрата определяется по известной методике расчета короткого трубопровода. В режиме сифона действующий напор определяется как разность отметок уровней воды в МКУ и резервуаре чистой воды.

Для того чтобы определить расчетную отметку V_2 верха U-образной трубы 1, при заданной отметке V_1 воды в МКУ необходимо определить действующий напор ΔH_{Φ} в начале фильтроцикла. Зная, что $\Delta H_{\Phi} = V_1 - V_2$, получим:

$$\nabla_2 = \nabla_1 - \Delta H_\Phi \quad (1)$$

Необходимый действующий напор ΔH_Φ в начале фильтроцикла при работе системы самотеком определяется по формуле

$$\Delta H_\Phi = (h_k + h_s + h_{др} + h_d + \Sigma h_m) \cdot k^2, \quad (2)$$

где $h_k, h_s, h_{др}, h_d, h_m$ — потери напора соответственно в коалесцирующей загрузке, в зернистой загрузке чистого зернистого фильтра (в начале фильтроцикла), в дренажно-распределительной системе, по длине на участке от выхода из коллектора дренажно-распределительной системы до верхней точки U-образной трубы 1 (то есть в отводящей трубе), в местных сопротивлениях на том же участке (в отводящей трубе); k — понижающий коэффициент при работе системы самотеком, равный 0,85–0,90.

Коалесцирующая загрузка состоит из крупнокускового материала высотой слоя до 0,4 м свободной укладки. При движении жидкости в такой среде потери напора h_k будут незначительны и ими можно пренебречь.

В качестве зернистой загрузки скорого фильтра МКУ предлагается использовать дробленый керамзит фракции 1,5–2,5 мм. Потери напора h_s можно выразить из формулы (12), приведенной в [6]. Тогда

$$h_s = \frac{3}{4} \cdot \frac{\mu^2 \cdot L \cdot (1-c)}{d_v^3 \cdot \rho^2 \cdot g c} \times \left(\frac{b \operatorname{Re}_\Phi + \sqrt{b^2 \cdot \operatorname{Re}_\Phi^2 + 4a \operatorname{Re}_\Phi \cdot \frac{2-3\beta c}{(\sqrt{2}-\sqrt{3\beta_0 \cdot c})^2}}}{2-3\beta c} \right)^2, \quad (3)$$

где μ — динамический коэффициент вязкости;
 L — высота слоя фильтрующей загрузки;
 c — объемная концентрация частиц, принимаемая 0,45–0,48;
 d_v — фракция зернистого материала;
 ρ — плотность жидкости;
 g — ускорение силы тяжести;
 $\operatorname{Re} = v_\Phi \cdot d_v \cdot \rho / \mu$ — критерий Рейнольдса, где v_Φ — скорость фильтрования;
 a, b, β, β_0 — постоянные коэффициенты (для дробленого керамзита, соответственно, равны 91,5; 1,67; 0,89, 0,315).

Потери напора в дренажно-распределительной системе МКУ определяются по известной формуле

$$h_{др} = \frac{\zeta \cdot v^2}{2g}, \quad (4)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления: $\zeta = 22/K_n + 1$ — для прямолинейной трубы или коллектора с ответвлениями и с круглыми отверстиями, $\zeta = 4/K_n^2 + 1$ — для прямолинейной трубы с ответвлениями и щелями; здесь K_n — коэффициент перфорации, то есть отношение суммарной площади отверстий или щелей к площади поперечного сечения прямолинейной трубы или коллектора ($0,15 \leq K_n \leq 2,00$);

v — средняя скорость движения воды в трубе.

Потери напора в отводящей трубе h_d определяются по известной формуле

$$h_d = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения (определяется по справочным данным); l, d — соответственно длина и внутренний диаметр трубопровода.

Суммарные местные потери напора в отводящей трубе h_m определяются по известной гидравлической формуле

$$h_m = \Sigma \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6)$$

где $\Sigma \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений для каждого вида (колесо, поворот, задвижка и т. д.). Коэффициенты местных сопротивлений определяются на основании справочных данных.

Усовершенствованная система отвода фильтрата позволяет эксплуатировать МКУ с заданными параметрами в автоматическом режиме. Настройки системы отвода фильтрата при необходимости могут изменяться в период эксплуатации сооружений с учетом конкретных производственных условий. Регулировка производится изменением отметки ∇_2 верха U-образной трубы 1 и изменением отметки ∇_1 нижнего конца вертикальной трубки 3 (см. рис. 3). Изменение отметки ∇_2 U-образной трубы 1 приводит к изменению действующего напора, а, соответственно, и расхода отводимого фильтрата при работе системы самотеком. Изменение же отметки ∇_1 нижнего конца трубки 3 влияет на отметку уровня воды в МКУ.

Во избежание подсоса загрязненной воды в поток очищенной воды при работе системы сифоном, разность между верхней отметкой ∇_3 соединительного шланга 2 и отметкой ∇_1 уровня воды в МКУ должна превышать разность между отметкой ∇_2 верха U-образной трубы 1 и минимальной отметкой ∇_{\min} уровня воды в резервуаре чистой воды. В противном случае на нижнем конце трубки 3 необходимо установить клапан, препятствующий подсосу воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Строительство локальных сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод в соответствии с усовершенствованной технологией и с использованием малогабаритной комбинированной установки повысит эффективность работы систем охраны водных ресурсов на стокообразующих предприятиях, что позволит уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.
- 2 Объектами применения новых разработок могут быть автотранспортные и авторемонтные предприятия, нефтебазы и АЗС, локомотивные депо и мойки машин, домостроительные комбинаты и другие предприятия строительной индустрии.
- 3 Главные преимущества предлагаемой технологии и малогабаритной комбинированной установки следующие:

- компактность;
 - гибкость технических параметров;
 - эксплуатация в автоматическом режиме и минимизация ручного труда при обслуживании очистных сооружений;
 - низкие эксплуатационные затраты;
 - использование регенерируемой зернистой загрузки;
 - большой срок службы сорбционной загрузки за счет минимизации концентрации загрязнений в воде, поступающей на фильтр;
 - минимальное количество отходов;
 - отсутствие надобности в использовании химических реагентов и содержании реагентного хозяйства;
 - применение процессов безреагентной флотации не приводит к засаливанию оборотной воды, а большое количество подаваемого воздуха устраняет заторность воды;
 - возможность использования существующих сооружений при реконструкции объектов.
- 4 Предлагаемые подходы могут служить исходным материалом для разработки серии типовых проектов очистных сооружений различной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазовский, С. В. Новая жизнь старых нефтеловушек / С. В. Лазовский, В. А. Сурский // Вода. — 2001. — № 2. — С. 2–3.
2. Локальные комплексы очистки сточных вод фирмы "LABKO" // Водоснабжение и санитарная техника. — 2001. — № 2. — С. 21, 22.
3. Устройство для очистки сточных вод: пат. 67 Респ. Беларусь, МКИ С 02 F 1/24 / М. В. Кравцов, А. М. Кравцов; заявители М. В. Кравцов, А. М. Кравцов. — № u 19990041; заявл. 12.04.1999; опубл. 30.12.1999 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 1999. — № 4. — С. 197.
4. Парциальный расходомер воды: пат. 69 Респ. Беларусь, МКИ С 02 F 1/40 / М. В. Кравцов, А. М. Кравцов; заявители М. В. Кравцов, А. М. Кравцов. — № u 19990043; заявл. 12.04.1999; опубл. 30.12.1999 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 1999. — № 4. — С. 201.
5. Расходомер воздуха: пат. 70 Респ. Беларусь, МКИ С 02 F 1/28 / М. В. Кравцов, А. М. Кравцов; заявители М. В. Кравцов, А. М. Кравцов. — № u 19990044; заявл. 12.04.1999; опубл. 30.12.1999 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. — 1999. — № 4. — С. 202.
6. Кравцов, А. М. Фильтрация воды в слое однородной зернистой загрузки / А. М. Кравцов // Вестник БНТУ. — 2005. — № 1. — С. 26–30.

Статья поступила в редакцию 20.03.2009.