

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**¹Б.С. Ксенофонов, ¹А.С. Козодаев, ¹Р.А. Таранов,
¹М.С. Виноградов**

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Представлена усовершенствованная схема физико-химической очистки сточных вод. Показано, что использование в основе технологии очистки сточных вод реагентной флотации с финишной ультрафиолетовой обработкой дает возможность достигать нормативного качества очищенных сточных вод, допускающего сброс их в канализацию. Важное значение при этом имеет эффективность и доза используемых реагентов. Сформулированы рекомендации использования предлагаемой технологии.

Ключевые слова: физико-химическая очистка сточных вод, реагентная флотация, ультрафиолетовая обработка, реагенты, озонирование

Статья поступила в редакцию 25.10.2020, доработана 26.11.2020, принята к публикации 04.03.2021

Improvement of the Technological Scheme of Physical and Chemical Wastewater Treatment

¹B.S. Ksenofontov, ¹A.S. Kozodaev, ¹R.A. Taranov, ¹M.S. Vinogradov

¹Bauman Moscow State Technical University, 105005 Moscow, Russia

An improved scheme of physical and chemical wastewater treatment is considered. It is shown that the use of reagent flotation with final ultraviolet treatment as the basis for the physicochemical technology of wastewater treatment makes it possible to achieve the standard quality of treated wastewater, which allows it to be discharged into the sewer. In this case, the efficiency and dose of the reagents used are of great importance. Recommendations for the use of the proposed technology are formulated.

Keywords: physicochemical wastewater treatment, reagent flotation, ultraviolet treatment, reagents, ozonation

Received 25.10.2020, revised 26.11.2020, accepted for publication 04.03.2021

DOI: 10.18412/1816-0395-2021-4-10-13

Анализ работы очистных сооружений сточных вод показывает, что современные технологии, обеспечивающие удаление азота и фосфора, применяются только на небольшом количестве объектов России. При переходе на технологическое нормирование перед многими водоканалами встает вопрос не только модернизации очистных сооружений для внедрения современных технологий,

но и эффективности этих мероприятий для обеспечения достижения нормативов. При этом под эгидой государства повышены требования к сточным водам, сбрасываемым в канализацию (Постановление Правительства РФ от 22.05.2020 №728). Особенно ужесточение требований касается сложных органических веществ, в том числе полициклических ароматических углеводов (ПАУ).

Многими разработчиками показано, что адаптированные бактериоценозы способны утилизировать до безопасных соединений нефть и нефтепродукты, ПАУ — нафталин, фенантрен, бифенил, фенол и его производные, цианиды. Эффективность использования традиционных очистных сооружений для удаления органических поллютантов напрямую связана с возможностью адаптации к ним сообщества

активного ила (АИ). На сооружениях биологической очистки происходит автоселекция бактериоценоза под влиянием поступающих стоков. Адаптация микробных ценозов к органическим поллютантам может происходить в течение длительного времени. Так, время адаптации к разным концентрациям фенола бактериоценоза АИ очистных сооружений, на которые поступали фенолсодержащие промышленные отходы, составило не менее 40 суток. Вопрос изменения структуры бактериального сообщества в процессе разложения ксенобиотиков становится важной научной проблемой, так как позволяет оценить функционирование сообщества как единой системы.

Следует отметить, что хотя принципиально сложные органические вещества в ряде случаев и могут быть окислены биохимическим путем, но в настоящее время требования к качеству сточных вод, сбрасываемых в канализацию, ужесточаются. Это приводит к необходимости использования новых технологий, преимущественно физико-химического направления [1–10], в частности с использованием озонирования.

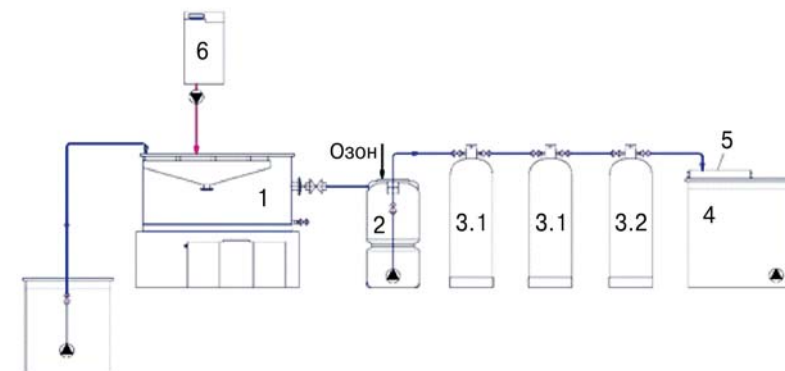


Рис. 1. Принципиальная схема физико-химической очистки сточных вод с озонированием:

1 – флотокомбайн; 2 – промежуточный резервуар; 3.1 – зернистые фильтры; 3.2 – угольные фильтры; 4 – резервуар с очищенной водой; 5 – ультрафиолетовый обеззараживатель; 6 – узел приготовления и подачи раствора реагента

Fig. 1. Schematic diagram of physical and chemical wastewater treatment with ozonation:

1 – flotation harvester; 2 – intermediate tank; 3.1 – granular filters; 3.2 – carbon filters; 4 – reservoir with purified water; 5 – ultraviolet disinfectant; 6 – unit for reagent solution preparation and supply

Схема физико-химической очистки сточных вод с использованием озонирования, разработанная авторами, представлена на рис. 1 (принципиальная) и на рис. 2 (аппаратурно-технологическая).

Достоинствами предлагаемой схемы являются высокая эффективность при достаточно простом аппаратурном оформлении.

Аппаратурно-технологическая схема предлагаемой технологии, представленная на

рис. 2, включает резервуар для приема сточных вод, флотокомбайн типа "КБС", резервуары промежуточные, фильтры механические и сорбционные для очистки сточных вод и резервуар для накопления очищенной воды (РЧВ).

По мере наполнения водой канализационной насосной станции (КНС) автоматически включается погружной насос Н1, который перекачивает стоки в здание очистных сооружений. При этом в резервуаре за-

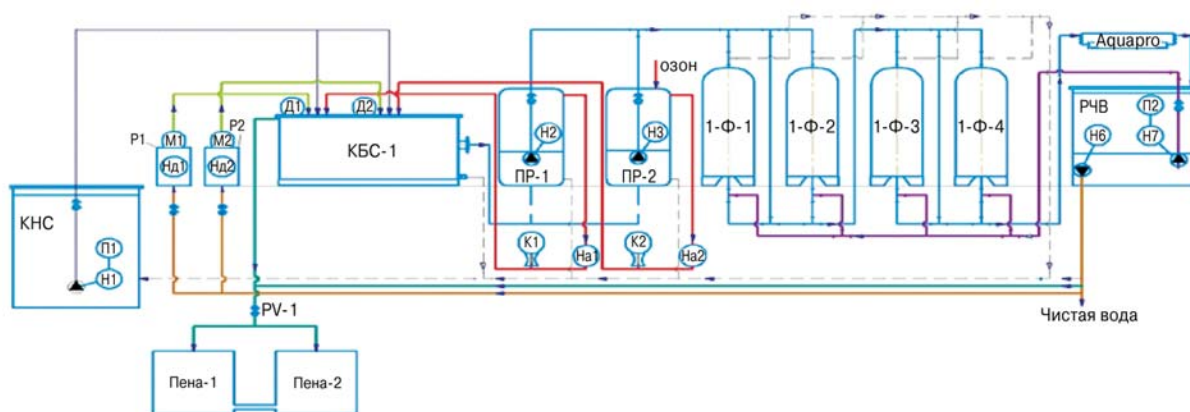


Рис. 2. Усовершенствованная схема физико-химической очистки сточных вод с озонированием:

КНС – канализационно-насосная станция; Н1 – насос; П1 – датчик уровня; Нд1 и Нд2 – насосы-дозаторы; 11 и 12 – линии подачи коагулянта и флокулянта; P1 и P2 – регуляторы потока; Д1 и Д2 – дозаторы; КБС-1 – флотокомбайн типа КБС; ПР-1 и ПР-2 – промежуточные резервуары; Н2 и Н3 – насосы; На1 и На2 – насосы аэрации; К1 и К2 – регуляторы уровня; 1-Ф-1 и 1-Ф-2 – механические фильтры; 1-Ф-3 и 1-Ф-4 – сорбционные фильтры; Н6 и Н7 – насосы; П2 – датчик уровня; РЧВ – резервуар чистой воды; Пена-1 и Пена-2 – сборники флотопены

Fig. 2. Improved scheme of physical and chemical wastewater treatment with ozonation:

SPS – sewerage pump station; H1 – pump; P1 – level sensor; DP1 and DP2 – dosing pumps; 11 and 12 – coagulant and flocculant supply lines; P1 and P2 – flow regulators; D1 and D2 – dispensers; KBS-1 – KBS type flotation combine; PR-1 and PR-2 – intermediate tanks; H2 and H3 – pumps; Pa1 and Pa2 – aeration pumps; K1 and K2 – level regulators; 1-F-1 and 1-F-2 – mechanical filters; 1-F-3 and 1-F-4 – sorption filters; H6 and H7 – pumps; P2 – level sensor; PWR – pure water reservoir; Foam-1 and Foam-2 – flotation foam collections

Результаты экспериментальных испытаний физико-химической очистки сточных вод

Results of experimental testings of physical and chemical wastewater treatment

Показатель	Концентрация, при превышении которой сброс запрещен, мг/дм ³	Фактические концентрации, мг/дм ³	
		в исходной (грязной) воде	в очищенной воде
pH	Менее 4,5 или более 12	7,94	8,55
Нитробензол	0,04	0,06	<0,0002
Анилин (аминобензол, фениламин)	0,0004	0,0009	<0,0002
Бенз(а)пирен	0,00002	0,011	<0,004
Нафталин	0,016	0,19	<0,1
1,1,2,2-тетрахлорэтан	0,2	0,05	<0,003
Тетрахлорэтилен (перхлорэтилен)	0,02	0,07	<0,001
2-дихлорпропан	0,08	0,12	<0,01
2-дихлорэтан	0,012	0,11	<0,01
Бромдихлорметан	0,12	0,18	<0,001
Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод)	0,004	0,021	<0,0002
Трихлорэтилен	0,02	0,16	<0,001
Цис-1,3-дихлорпропен, транс-1,3дихлорпропен	0,02	0,17	<0,0001
Трихлорбензол (сумма изомеров)	0,004	0,22	<0,0002
Метилакрилат	Отсутствие	0,015	0,001
Дибутилфталат	0,004	0,01	<0,0002
О-диметилфталат (диметилбензол-1,2дикарбонат)	1,2	0,023	<0,0002
Метил-третбутиловый эфир	Отсутствие	0,011	<0,0001
*Вещества, определяемые в целях проведения контроля за сбросом запрещенных веществ.			

держивается песок и крупные включения. По трубопроводу сточные воды подаются во флотатор комбинированного типа флотокомбайн "КБС-1". Сюда же дозируется коагулянт из бака "Реагент" с помощью насосов-дозаторов Нд.1 и Нд.2. На данной стадии из воды извлекаются взвешенные вещества, СПАВ и нефтепродукты, органические вещества, жиры и другие вещества, в том числе частично ПАУ.

Для реализации процесса флотационного разделения во флотокомбайн с помощью насосов аэрации На.1 и На.2 подается рабочая жидкость (смесь воздуха и очищенной воды из промежуточных резервуаров "ПР-1" и "ПР-2" соответственно). Воздух в рабочую жидкость подается во всасывающую магистраль насосов аэрации.

В результате флотационного разделения в верхней части аппаратов скапливается флотошлам, который периодически

ски сбрасывается в баки для сбора шлама (Пена-1 и Пена-2). Из флотокомбайна вода самотеком поступает в промежуточные резервуары "ПР-1" и "ПР-2", куда также подается озон в количестве поддержания его концентрации в воде порядка 1 мг/л. Когда уровень воды в промежуточных резервуарах достигает максимального значения, автоматически включаются погружные насосы Н2 и Н3, перекачивающие воду на механические ("1-Ф-1" и "1-Ф-2") и сорбционные ("1-Ф-3" и "1-Ф-4") фильтры. В качестве загрузки механических фильтров используется зернистый материал "Сорбент АС", а в качестве загрузки сорбционного фильтра — активированный уголь марки АГ-3. Эти фильтры предназначены для доочистки воды от взвешенных веществ и растворенных примесей. Все фильтры могут быть подключены как параллельно, так и последовательно.

Очищенная после фильтров вода поступает на ультрафиолетовый стерилизатор "Aquapro", где происходит обеззараживание воды и разрушение органических соединений, в том числе ПАУ. После ультрафиолетового стерилизатора вода собирается в резервуаре чистой воды "РЧВ", откуда самотеком отводится в канализацию или откачивается насосами Н6 и Н7 для специального использования.

Очистные сооружения работают в полуавтоматическом режиме. Погружной насос Н1 в КНС оснащен поплавковым датчиком уровня П1. По мере наполнения водой канализационной насосной станции по сигналу поплавкового датчика уровня П1 автоматически включается погружной насос Н1. На трубопроводе подачи сточных вод во флотокомбайн "КБС-1" установлен датчик протока Д-1. Когда вода начинает подаваться во флотокомбайн "КБС-1", то датчик протока Д-1 дает сигнал на включение насоса аэрации На.1, а также на насос-дозатор коагулянта Нд.1, установленный на емкости "Реагент". После отключения насоса Н1 и, соответственно, прекращения подачи воды во флотаторы насосы аэрации, компрессоры и насосы-дозаторы также отключаются в автоматическом режиме.

Из флотокомбайна КБС-1 вода самотеком поступает в промежуточные резервуары "ПР-1" и "ПР-2". В промежуточных резервуарах установлены погружные насосы Н2 и Н3, оснащенные поплавковыми датчиками уровня. Когда уровень воды в промежуточных резервуарах достигает максимального значения, по сигналу поплавковых датчиков уровня автоматически включаются эти погружные насосы, перекачивающие воду на стадию фильтрации.

Очищенная после фильтров вода поступает на ультрафиолетовый стерилизатор "Aquapro", где происходит обеззара-

живание воды и разрушение органических соединений, в том числе ПАУ. После ультрафиолетового стерилизатора вода собирается в резервуаре чистой воды "РЧВ", откуда самооттеком отводится в заводскую систему канализации.

Приготовление реагентов и промывка фильтров ведется оператором в ручном режиме.

Эффективность работы очистных сооружений подтверждается данными анализа проб (см. таблицу). Полученные данные свидетельствуют о вы-

полнении нормативов качества очистки сточных вод.

Отсутствуют какие-либо серьезные замечания, касающиеся эксплуатации очистных сооружений.

В таблице указаны фактические концентрации загрязнений в исходной (грязной) и очищенной воде.

Анализ представленных в таблице данных показывает, что по всем параметрам качества очищенной воды практически достигаются нормативные значения. Это свидетельствует об

эффективности предлагаемой технологии доочистки сточных вод и позволяет рекомендовать разработанную схему очистки для широкого использования в промышленной практике.

Следует также отметить, что представленные данные указывают на высокую эффективность использования физико-химических методов, заложенных в предложенную технологическую схему на основе флоатомбайнов типа КБС, озонирования и ультрафиолетовой обработки.

Литература

1. Разумовский Э.С., Медриш Г.Л., Казарян В.А. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. 2-е изд., перераб. и доп. М., Стройиздат, 1986. 174 с.
2. Серебряков Д.В. Почему не работают комплекты установки для очистки сточных вод. Вода и экология: Водоотведение. 2014. № 2. С. 45–55.
3. [Электронный ресурс] URL: <https://www.mk.ru/social/2019/08/20/chernomorskiy-otdykh-rossiyan-tonet-v-fekaliyakh-kupanie-v-zagazhennoy-vode.html> (дата обращения 07.03.2021).
4. Колесников В.П., Ксенофонтов Б.С., Худокормов А.А., Кочетов А.Н. Технологические процессы очистки сточных вод, получения кормовых белков, химического синтеза: монография. Новочеркасск, Лик, 2016. 198 с.
5. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод. Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) Интернет-журнал "Науковедение". № 3. 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukovedenie.ru/?p=issue-3-13-RGSU> (дата обращения 21.03.2021).
6. Вильсон Е.В., Полякова А.В., Исмаилова Д.Н., Серпокрьлов Е.Н. Особенности формирования биосенноза в сооружениях биологической очистки сточных вод, содержащих высокие концентрации азота аммонийного и восстановленных соединений серы. Научное обозрение. 2014. № 8. С. 896–905.
7. Хенце М., Армоэс Л., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. Пер. с англ. М., Мир, 2006. 480 с.
8. Сироткин А.С., Семенова Е.Н., Шагинурова Г.И. Биологическая трансформация соединений азота в процессе биофильтрации сточных вод. Биотехнология. 2008. №3. С. 77–85.
9. Ксенофонтов Б.С. Биологическая очистка сточных вод. М., Инфра-М, 2020. 255 с.
10. Ксенофонтов Б.С. Охрана окружающей среды: биотехнологические основы. М., ИД "Форум" – Инфра-М., 2016. 200 с.

References

1. Razumovskii E.S., Medrish G.L., Kazaryan V.A. Ochistka i obezzarazhivanie stochnykh vod malykh naselennykh punktov. 2-e izd., pererab. i dop. M., Stroizdat, 1986. 174 s.
2. Serebryakov D.V. Pochemu ne rabotayut komplektnye ustanovki dlya ochistki stochnykh vod. Voda i ekologiya: Vodootvedenie. 2014. № 2. S. 45–55.
3. [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.mk.ru/social/2019/08/20/chernomorskiy-otdykh-rossiyan-tonet-v-fekaliyakh-kupanie-v-zagazhennoy-vode.html> (data obrashcheniya 07.03.2021).
4. Kolesnikov V.P., Ksenofontov B.S., Khudokormov A.A., Kochetov A.N. Tekhnologicheskie protsessy ochistki stochnykh vod, polucheniya kormovykh belkov, khimicheskogo sinteza: monografiya. Novocherkassk, Lik, 2016. 198 s.
5. Vil'son E.V. Issledovaniya v oblasti udaleniya vosstanovlennykh soedinenii sery iz stochnykh vod. Institut Gosudarstvennogo upravleniya, prava i innovatsionnykh tekhnologii (IGUPIT) Internet-zhurnal "Naukovedenie". № 3. 2013. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://naukovedenie.ru/?p=issue-3-13-RGSU> (data obrashcheniya 21.03.2021).
6. Vil'son E.V., Polyakova A.V., Ismailova D.N., Serpokrylov E.N. Osobennosti formirovaniya biosennoza v sooruzheniyakh biologicheskoi ochistki stochnykh vod, soderzhashchikh vysokie kontsentratsii azota ammoniynogo i vosstanovlennykh soedinenii sery. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 8. S. 896–905.
7. Khentse M., Armoes L., Lya-Kur-Yansen I., Arvan E. Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie i khimicheskie protsessy. Per. s angl. M., Mir, 2006. 480 s.
8. Sirotkin A.S., Semenova E.N., Shaginurova G.I. Biologicheskaya transformatsiya soedinenii azota v protsesse biofiltratsii stochnykh vod. Biotekhnologiya. 2008. №3. S. 77–85.
9. Ksenofontov B.S. Biologicheskaya ochistka stochnykh vod. M., Infra-M, 2020. 255 s.
10. Ksenofontov B.S. Okhrana okruzhayushchei sredy: biotekhnologicheskie osnovy. M., ID "Forum" – Infra-M., 2016. 200 s.

Б.С. Ксенофонтов – д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: kbsflot@mail.ru • А.С. Козодаев – канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана • Р.А. Таранов – канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана • М.С. Виноградов – канд. техн. наук, ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана

B.S. Ksenofontov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Bauman Moscow State Technical University, e-mail: kbsflot@mail.ru • A.S. Kozodayev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, BMSTU • R.A. Taranov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, BMSTU • M.S. Vinogradov – Cand. Sci. (Eng.), Assistant, BMSTU