Салимьянов М.Р.

Внедрение инновационных технологий в области очистки сточных вод и их экономическая целесообразность на территории Российской Федерации

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-12-2019-145

idsp: ljjournal-12-2019-145

Аннотация

В данной статье рассмотрены основные современные проблемы в сфере очистки сточных вод на территории Российской Федерации. Установлено, что данная отрасль сопряжена с рядом проблем технического, финансового, организационного, а также правового характера. Установлено, что существенной проблемой «классических» схем очистки сточных вод являются повышенные эксплуатационные расходы. В результате работы был произведен анализ наиболее перспективных направлений в области очистки сточных вод, а также рассмотрен способ экономического обоснования внедрения перспективных инновационных технологий.

Ключевые слова: защита окружающей среды, сточных воды, методы очистки сточных вод, фильтрация, стоимость жизненного цикла.

Введение

Развитие производственных сил в качестве одной из важнейших проблем выдвигает защиту окружающей среды и, в частности, водных источников от загрязнений. В число основных задач по защите водного бассейна входит рациональное использование водных ресурсов, а также очистка стоков до уровня требований к их сбросу в водные объекты.

Государственное нормирование сбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями в городские водоотводящие сети и водные объекты, а также ужесточение требований к содержанию загрязняющих веществ в этих сбросах, обуславливает необходимость обеспечения их эффективной очистки за счет применения наилучших доступных, а также инновационных технологий в этой области. Это касается и хозяйственно-бытовых сточных вод, в которых содержания специфических загрязняющих веществ увеличивается с каждым годом. Следует отметить, что переход к наилучшим технологиям и их поощрение ещё в 2002 году было закреплено в Федеральном законе «Об охране окружающей среды». Однако постепенное внедрение данных технологий началось преимущественно лишь в последние несколько лет.

Таким образом, целью данной работы является анализ инновационных технологий в области очистки сточных вод, а также экономическая целесообразность их внедрения.

Анализ проблемы в сфере водопроводно-канализационного хозяйства на территории Российской Федерации

Анализ данных о современном состоянии предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) в нашей стране свидетельствует о наличии проблем технического, финансового, организационного, а также правового характера. По данным Минстроя России около 95% сельских поселений и 20 городов на сегодня не имеют очистных сооружений [1]. Кроме того, наблюдается износ основных фондов ВКХ на 50-60%, в малых населенных пунктах степень износа сооружений очистки

сточных вод достигает 80%, при этом уровень надежности инженерных коммуникаций в 2-2,5 раза ниже, чем в европейских странах.

Для решения сложившейся проблемы правительством Российской Федерации была разработана Водная стратегия РФ на период до 2020 года, принятая еще в 2009 году, закрепляющая базовые принципы государственной политики в области использования и охраны водных объектов [2]. Данная Стратегия послужила толчком развития Федеральной целевой программы «Чистая вода», главной целью которой являлось обеспечение населения питьевой водой, соответствующей требованиям безопасности и безвредности, согласно санитарно-эпидемиологическим правилам и техническим регламентам. Одной из важнейших задач, возложенных на данную Программу, была модернизация систем очистки сточных вод посредством поддержки региональных программ субъектов Российской Федерации [3].

Для интенсификации процессов в области реконструкции существующих и строительства новых очистных сооружений Минстроем России была разработана концепция ускоренной модернизации очистных сооружений за счет экологических фондов. Согласно данным Минстроя, потребности в инвестициях систем водоотведения и очистки сточных вод составляют не менее 250 млрд. рублей ежегодно на протяжении 5 лет [4].

Анализ проблемы «классических» методов очистки сточных вод

Выделяют два основных пути очистки сточных вод: разбавление сточных вод и очистка их от загрязнений. Разбавление представляет собой паллиативную меру, которая не ликвидирует воздействия сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоема. Основной путь заключается в очистке сточных вод от загрязнений.

Как правило, классические схемы очистки сточных вод основаны на использовании методов механической, физико-химической, химической, термической и биологической очистке. Исходя из анализа отечественного и зарубежного опыта в области очистки сточных вод от тех или иных видов загрязнителей, следует отметить, что определяющим критерием выбора метода очистки являются пути дальнейшего использования очищенных стоков [5]. В виду более специфического и разнообразного состава промышленных сточных вод, применяемые методы для их очистки, чаще всего, отличаются от тех, которые применяются для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Однако, как правило, методы механической и биологической очистки стоков применяются и в тех, и в других случаях.

При разработке проекта строительства очистных сооружений целесообразным является использование методов обработки сточных вод, которые позволили бы извлечь из них все загрязнения. При этом важной задачей является решение вопроса инвестиционного характера: определение капитальных и эксплуатационных затрат, а также экономическая целесообразность проекта.

Важной задачей как для природоохранных органов, так и для собственников предприятий является возможность значительного уменьшения эксплуатационных затрат при незначительном влиянии на конечный результат очистки [6].

В связи с этим реализация проекта очистных сооружений требует достижения баланса между минимизацией использования ресурсов и эффективностью предложенных технологических процессов очистки, что становится возможным благодаря внедрению современных научно-технических достижений и разработок.

Таким образом, экономическая эффективность процесса очистки сточных вод определяется годовыми эксплуатационными затратами, которые складываются из фонда заработной платы, амортизационных отчислений, стоимости производственной, осветительной электроэнергии, топлива и газа, транспорта и реагентов. Как правило, большинство устаревших «классических» схем очистки сточных вод сопряжены с

повышенными эксплуатационными затратами, что обуславливает необходимость поиска более рациональных решений.

В связи с этим важной задачей при внедрении инновационных технологий в области очистки сточных вод является минимизация потребления энергоресурсов и реагентов при высокой эффективности очистки.

Обзор инновационных технологий в области очистки сточных вод

Инновации и технологии в области очистки сточных вод включают в себя:

- микробные топливные элементы, представляющие собой новую технологию, которая позволяет получать энергию из органического вещества при очистке сточных вод путем аккумуляции энергии. Некоторые процессы, использующие эту технологию, могут потенциально снизить затраты на процесс обработки на 30-40%, а также сократить количество оставшегося осадка до 80%;
- мембранные системы фильтрации – технология, которая становится все более распространенной в установках очистки сточных вод, так как процесс разделения работает без нагрева, поэтому использует меньше энергии, чем обычные процессы термического разделения. По мере того, как мембранные системы продолжают совершенствоваться, они становятся критически важными для систем регенерации воды, и разработка этих систем ведет к разработке передовых технологий очистки воды;
- нанотехнологии – это достаточно новая технология для индустрии водоснабжения и водоотведения, имеющая потенциал для очистки загрязненных поверхностных, подземных и сточных вод. Это растущая область, в которой в настоящее время исследуются концепции мембран с более высокими эксплуатационными характеристиками с меньшими характеристиками загрязнения [7].

Современные исследования в области нанотехнологий предлагают возможность разработки технически и экономически жизнеспособных альтернатив обычной обработке сточных вод. Эта технология основана на применении материалов в нанометровом масштабе, так что новые структуры, компоненты и материалы могут быть построены на этом (атомном) уровне. Вся теория фактически основана на том факте, что свойства материалов на наноуровне полностью отличаются от свойств на макроуровне. Благодаря своим свойствам, развитие нанотехнологий было довольно значительным за последние десять лет.

Мембранная фильтрация играет важную роль в удалении различных типов загрязнений и обеспечивает высокий уровень очистки воды. До недавнего времени самой большой проблемой, стоящей на пути внедрения данной технологии, были существенные инвестиционные затраты (около 70% от общей стоимости инвестиций относится к мембранам). Поскольку имеется тенденция к снижению цены, процесс очистки сточных вод при помощи наномембран становится все более и более популярным на рынке, в основном благодаря высокой эффективности удаления твердых загрязнений, одновалентных и двухвалентных ионов, различных патогенов и т. д.

Нанофильтрация производит воду, которая отвечает очень строгим требованиям в отношении повторного использования воды. Поскольку этот процесс очень эффективен при удалении органических и неорганических веществ, бактерий и вирусов, необходимость последующей дезинфекции воды - минимальна. Типичные эффективности удаления некоторых соединений при помощи нанофильтрации представлены в таблице 1 [8].

Таблица 1

Эффективность удаления различных загрязнений при помощи нанофльтрации

Загрязняющее вещество	Эффективность удаления, %
Твердые нерастворимые соединения	40-60
Органический углерод	90-98
Цветность	90-96
Жесткость	80-85
NaCl	10-50
Сульфаты	80-95
Нитраты	80-85
Мышьяк	<40

Исследования в области нанотехнологий позволили также определить, что наночастицы металлов и оксиды металлов оказались очень хорошими катализаторами в реакциях окисления. Они проявляют сильную каталитическую активность, благодаря которой молекулы загрязнения окисляются с образованием менее токсичных веществ или превращаются в экологически приемлемые конечные продукты [9].

Что касается технологии, основанной на микробных топливных элементах, то она заключается в использовании устройств, использующих биологические компоненты в качестве катализаторов для генерации электроэнергии. Их преимуществом является низкая стоимость культивации микроорганизмов, а также высокий выход электронов. Однако к недостаткам следует отнести низкие удельные характеристики микробных топливных элементов в сравнении с характеристиками химических источников тока. При этом существенной проблемой является низкая скорость переноса заряда из клеток на электроды, а также создание эффективных катодов [10].

Экономическое обоснование внедрения инновационных технологий

При выборе наиболее перспективных решений в области очистки сточных вод, как правило, стоит руководствоваться величиной предполагаемого эколого-экономического эффекта, а также величиной капиталовложений и эксплуатационных затрат на протяжении всего срока службы (жизненного цикла). Стоимость жизненного цикла (LCC) как оборудования, так и очистных сооружений в целом определяется соотношением цена-качество-надежность. Основываясь на расчете стоимости жизненного цикла, можно определить наиболее эффективное перспективное решение из ряда предложенных при минимальной суммарной стоимости этапов жизненного цикла за длительный период [11].

В общем случае формула расчета стоимости жизненного цикла оборудования имеет вид:

$$LCC = K_c + K_0 + \sum_1^T \mathcal{E}_t(1+r)^t - A_{ct} - \sum_1^n A_{0t_n} + \sum_1^n K_{0t_n}(1+r)^{t_n} \quad (1)$$

где K_c – сумма капиталовложений в строительство;

K_{0t} – стоимость технологического оборудования на t_n -й год строка эксплуатации;

K_0 – первоначальные инвестиции на оборудование;

$\mathcal{E}_t$ – годовые эксплуатационные затраты в t -году;

T – срок жизненного цикла, лет;

A_{ct} – амортизационные отчисления на строительные сооружения;

A_{0t_n} – амортизационные отчисления на оборудование;

$T=T_c$ – срок эксплуатации строительных конструкций;

$n=T_c/T_0$ – количество периодов замены оборудования за расчетный срок эксплуатации сооружений;

r – процентная ставка, равная ставке рефинансирования.

Стоит отметить, что недостатком расчета по формуле 1 является отсутствие учета эколого-экономического эффекта, имеющего одно из важнейших значений при выборе решений в области очистки сточных вод. При этом важнейшим параметром является значение эколого-экономического эффекта, основанного на выплатах в результате негативного воздействия на окружающую среду.

Согласно «Закону об охране окружающей среды», устанавливающему плату за негативное воздействие на окружающую среду предприятиям, производственная деятельность которых сопряжена с негативным воздействием на окружающую природную среду, расчет платы осуществляется на основании нормативов платы и коэффициентов, учитывающих экологические факторы. Законом предусматривается три вида оплаты, формулы для расчета которых указаны в первоисточнике:

- плата за сбросы загрязняющих веществ в пределах установленных нормативов (P_n);
- плата за сбросы загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов (ВСС) (P_l);
- плата за сверхлимитный сброс загрязняющих веществ ($P_{сл}$).

Таким образом, общая плата за загрязнение поверхностных и подземных водных объектов определяется по формуле:

$$P_{\text{вод}} = P_n + P_l + P_{\text{сл}} \quad (2)$$

Внедрение или же модернизация систем очистки сточных вод собственниками предприятий должна быть направлена на сокращение платы, за негативное воздействие на окружающую среду, то есть свести выплаты лишь к плате за сбросы загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов. Идеальным решением будет внедрение на предприятии замкнутой системы водоснабжения, в результате чего очищенные стоки будут возвращены в технологический цикл, в связи с чем, плата за сброс будет полностью отсутствовать. Исходя из этого, следует стремиться к наилучшим доступным технологиям, способным привести к минимизации платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты.

Таким образом, учитывая величину платы за загрязнение водных ресурсов, формула для расчета стоимости жизненного цикла оборудования или очистных сооружений в целом должна иметь вид:

$$LCC = K_c + K_0 + \sum_1^T \Delta_t (1+r)^t - A_{ct} - \sum_1^n A_{0t_n} + \sum_1^n K_{0t_n} (1+r)^{t_n} - P_{\text{вод}} \quad (3)$$

Исходя из формулы 3, следует, что чем меньше значение LCC, тем рациональней внедрение той или иной технологии очистки сточных вод с экономической точки зрения.

Технологии в области очистки сточных вод не стоят на месте и развиваются с каждым годом. В настоящее время наиболее перспективным направлением, как можно было заметить, является развитие мембранных систем фильтрации и нанотехнологий, способных обеспечить высокоэффективную очистку сточных вод от большого спектра загрязнителей.

Выводы

Обоснование выбора перспективных решений в области очистки сточных вод представляет собой достаточно сложную задачу, основанную на учете большого количества факторов. Однако важнейшим из них является финансовая сторона вопроса. Так, например, для крупных предприятий, имеющих в своем составе нефтепродукты или тяжелые металлы в больших концентрациях при больших объемах сточных вод экономически эффективно внедрять высокоэффективные системы очистки стоков от данного вида загрязнений, так как плата за сброс данных загрязнителей является

высокой. Таким образом, выбор очистного оборудования должен основываться на комплексном подходе, учитывающем все вышеперечисленные критерии. При этом расчет стоимости жизненного цикла позволяет учесть все экономические показатели и продемонстрировать собственнику предприятия или инвестору перспективность наилучшей технологии в этой области.

1. Петрина О.А. Государственная политика в сфере водоснабжения и водоотведения. Вестник ГУУ, 2013, №8, 101-105 [Petrina O.A. State policy in the field of water supply and sanitation. J. State Univ. of Manag., 2013, №8, 101-105 (in Russian)]
2. ФЦП «Чистая вода». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://water-rf.ru/%D0%9E_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B5_%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE/862/%D0%A4%D0%A6%D0%9F_%C2%AB%D0%A7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0%C2%BB – Заглавие с экрана. [FTP «Clean water» [Electronic resource] - Access: https://water-rf.ru/%D0%9E_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B5_%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE/862/%D0%A4%D0%A6%D0%9F_%C2%AB%D0%A7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0%C2%BB]
3. Экосистемный подход к управлению водными ресурсами на примере бассейна реки Луга и рек Южного берега Финского залива. Взгляд общественности на ситуацию и перспективы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ccb.se/wp-content/uploads/2019/06/baseline-report-on-ebm-in-luga-river.pdf> – Заглавие с экрана. [Ecosystem approach to water resources management using the example of the Luga river basin and the rivers of the southern coast of the Gulf of Finland. Public outlook on the situation and prospects. [Electronic resource] - Access: <https://ccb.se/wp-content/uploads/2019/06/baseline-report-on-ebm-in-luga-river.pdf>]
4. Моисеева Е. Проблемы очистки сточных вод. ГИАБ, 2010, №12, 28-30 [Moiseeva O.A. Waste water treatment problems. Mining informational and analytical bulletin, 2010, №12, 28-30 (in Russian)]
5. Ишакова И.О., Ткачева В.И. Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства. Изд-во Казанского национального исследовательского технологического института, 2016, 143-146 [Ishakiva I.O., Tkacheva V.I. Innovative wastewater treatment methods of modern galvanic production. Publ. house of the Nat. Res. Techn. Inst, 2016, 143-146 (in Russian)]
6. Исследование сточных вод промышленных предприятий и методов их очистки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.ekoton.com/articles/issledovanie-stochnyih-vod-promyshlennyih-predpriyatiy-i-metodov-ih-ochistki/> – Заглавие с экрана. [Research of wastewater of industrial enterprises and methods for their treatment. [Electronic resource] - Access: <https://ru.ekoton.com/articles/issledovanie-stochnyih-vod-promyshlennyih-predpriyatiy-i-metodov-ih-ochistki/>]
7. Innovation in Wastewater technology. [Electronic resource] - Access: <http://www.castagra.com/2013/08/innovation-in-wastewater-technologies/> [Инновации в технологии очистки сточных вод. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.castagra.com/2013/08/innovation-in-wastewater-technologies/> - Заглавие с экрана]
8. Application of nanotechnology in wastewater treatment. [Electronic resource] - Access: <https://hrcak.srce.hr/file/296503> [Применение нанотехнологий в очистке сточных вод. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hrcak.srce.hr/file/296503> - Заглавие с экрана]
9. Tchobanoglous, G., Stensel, H.D., Tsuchihashi, R., Burton, F. Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill, 5, 2014. (in English) [Чобаноглус Дж, Стенсел Г.Д., Цучихаши Р, Бартон Ф. Проектирование сточных вод: очистка и восстановление ресурсов, МакГроу Хилл, 5, 2014]
10. Казаринов И.А., Мещерякова М.О., Карамышева Л.В. Конверсия органических отходов в электрическую энергию с помощью микробных электрохимических технологий. Электрохимическая энергетика, 2016, Т.16, №4, 207-225 [Kazarinov I.A., Meshcherkova M.O., Karamysheva L.V. Conversion of solid waste into electrical energy using microbial electrochemical technologies. Electrochemical energy, 2016, Iss.16, №4, 207-225 (in Russian)]
11. Винярская И. В. Метод расчета LCC в технико-экономическом обосновании выбора технологии очистки сточных вод промышленных предприятий. Минск: БНТУ, 2016, 32-38. [Vyniarskaya I.V. The LCC calculation method in the feasibility study of the choice of industrial wastewater treatment technology. Minsk: BNTU, 2016, 32-38 (in Russian)]