



Обзорная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)  
УДК628.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.30

 EDN: [EVMPZM](https://elibrary.ru/EVMPZM)

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДООЧИСТКИ

Евгений Николаевич Неверов <sup>1</sup>, Алёна Константиновна Горелкина <sup>2</sup>,  
Роман Юрьевич Схаплок <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

<sup>1</sup> neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

<sup>2</sup> alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

<sup>3</sup> sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

**Аннотация.** В современном мире промышленность играет ключевую роль в экономическом развитии, однако она также часто становится источником загрязнения окружающей среды и водных ресурсов. Проблема промышленного загрязнения воды стала актуальной и находится под пристальным вниманием исследователей по всему миру. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с загрязнением воды является ее очистка. Данная статья посвящена промышленной водоочистке, а именно современным методам и технологиям удаления загрязнений. В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с загрязнением промышленных сточных вод, а также описаны наиболее эффективные методы и технологии очистки, используемые в современных промышленных процессах. Представлена информация, позволяющая осуществить всестороннее изучение современных методов и технологий промышленной водоочистки, включая подробный анализ и оценку преимуществ и недостатков каждого из этих методов. Результаты исследования свидетельствуют о том, что существует множество методов и технологий очистки воды от загрязнений, однако не каждый метод является универсальным для всех типов загрязнений. Статья подробно описывает каждый метод, приводит его примеры применения и эффективность в удалении определенных типов загрязнений, также содержит новые данные и практические рекомендации, которые могут быть использованы специалистами в области водоочистки для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Информация представляет ценность для всех, кто интересуется проблемами промышленной водоочистки, и включает в себя новые данные и информацию, которые будут полезны для специалистов в этой области.

**Ключевые слова:** промышленная водоочистка, методы очистки воды, технологии водоочистки, сточные воды, эффективность очистки, устранение загрязнений.

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, № соглашения 075-15–2022- 1201 от 30.09.2022 г., при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ

**Для цитирования:** Неверов Е. Н., Горелкина А. Н., Схаплок Р. Ю. Анализ современных методов и технологий промышленной водоочистки. // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 215–225. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.030. EDN: <https://elibrary.ru/EVMPZM>.

Original article

## ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES OF INDUSTRIAL WATER TREATMENT

Evgeny N. Neverov<sup>1</sup>, Alyona K. Gorelkina<sup>2</sup>,  
Roman Yu. Skhaplok<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

<sup>1</sup> neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

<sup>2</sup> alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

<sup>3</sup> sibur-roma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9019-5002>

**Abstract.** *In the modern world, industry plays a key role in economic development, but it also often becomes a source of pollution of the environment and water resources. The problem of industrial water pollution has become urgent and is under the close attention of researchers around the world. One of the most effective ways to combat water pollution is its purification. This article is devoted to industrial water treatment, namely modern methods and technologies of pollution removal. The article discusses the main problems associated with industrial wastewater pollution, and also describes the most effective methods and technologies of purification used in modern industrial processes. Information is provided that allows for a comprehensive and accurate study of modern methods and technologies of industrial water treatment, including a detailed analysis and assessment of the advantages and disadvantages of each of these methods. Results they indicate that there are many methods and technologies for cleaning water from pollution, but not every method is universal for all types of pollution. The article describes each method in detail, gives examples of its application and effectiveness in removing certain types of pollution, also contains new data and practical recommendations that can be used by specialists in the field of water treatment to reduce the negative impact on the environment. The information is valuable for anyone who is interested in the problems of industrial water treatment, and includes new data and information that will be useful for specialists in this field.*

**Keywords:** *industrial water purification, water purification methods, water purification technologies, waste water, purification efficiency, pollution elimination.*

**Acknowledgements:** *The research was carried out within the framework of the comprehensive scientific and technical program of the full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to the life of the population", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation Dated 11.05.2022, No. 1144-r, Agreement No. 075-15-2022-1201 dated 30.09.2022.*

*For citation:* Neverov, E.N., Gorelkina, A.K. & Skhaplok, R.Yu. (2023). Analysis of modern methods and technologies of industrial water treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 215-225. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.030. <https://elibrary.ru/EVMPZM>.

### ВВЕДЕНИЕ

В современном промышленном производстве проблема загрязнения сточных вод стала одной из наиболее актуальных и сложных задач. Устранение загрязнений и обеспечение безопасности окружающей среды требует эффективных и надежных методов и технологий водоочистки. Промышленная водоочистка – это процесс удаления загрязнений и примесей из воды, которая используется в промышленности [1].

Цель данной работы – рассмотреть современные методы и технологии удаления загрязнений в промышленной водоочистке.

Для достижения данной цели ставятся следующие задачи:

1. Изучить основные источники загрязнения промышленных сточных вод.

2. Рассмотреть существующие методы и технологии удаления загрязнений в промышленной водоочистке, их преимущества и недостатки.

3. Описать принципы работы современных методов и технологий удаления загрязнений, таких как мембранные технологии, методы флотации, осаждения, окисления и биологической очистки.

4. Изучить примеры успешной реализации современных методов и технологий уда-

ления загрязнений в промышленной водоочистке на промышленных объектах.

5. Провести анализ эффективности и экономической целесообразности применения современных методов и технологий удаления загрязнений в промышленной водоочистке.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Контроль и регулирование процессов очистки сточных вод осуществляются согласно нормативно-правовым актам, в том числе Постановлением Правительства Российской Федерации от 22 мая 2020 г. № 728 "Об утверждении Правил осуществления контроля состава и свойств сточных вод и о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации". Данные нормы определяют нормативные показатели для общих свойств отводимой воды и концентрации загрязняющих веществ. Для соблюдения данных правил предприятия и организации должны производить контроль процессов очистки. Для обеспечения эффективного анализа необходимо использовать специальное оборудование и технологические комплексы [1–2].

В новых правилах контроля состава и свойств сточных вод, утвержденных последним постановлением, отмечается значительное отличие от прежних правил, заключающееся в отсутствии разделения абонентов на категории "с НДС" и "без НДС". Ранее контроль осуществлялся в соответствии со специальной программой, основанной на Правилах № 525, включавшей перечень абонентов, для которых устанавливались нормативы допустимых сбросов в централизованную систему водоотведения. В настоящее время, контролируются состав и свойства сточных вод, сбрасываемых всеми абонентами в канализацию без разделения на категории.

В новых Правилах № 728 не требуются разработка и согласование программы контроля состава и свойств сточных вод для абонентов, сбрасывающих их в систему канализации. Это означает, что для таких абонентов не устанавливаются требования по НДС. Вместо этого обязательными критериями соответствия сточных вод являются фактические показатели состава и свойств, отраженные в Декларации, и/или нормативы состава и свойств сточных вод, определенные Правилами холодного водоснабжения и водоотведения, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 г. № 644.

Таким образом, для абонентов ЦСВ установлены новые требования к параллельному отбору проб и визуальному осмотру. Старые Правила № 525 полностью отменены, а также упразднены правила взимания платы за сброс сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов. В результате произошли значительные изменения в Правилах холодного водоснабжения и водоотведения [3].

Перед изучением методов очистки воды следует рассмотреть определение понятия "сточные воды" и различные виды, которые могут присутствовать.

Виды сточных вод. Стоками (сточными водами) называются воды, которые попадают в природную среду из различных источников, таких как промышленные объекты и населенные пункты, через системы канализации или естественным путем. Характеристики этих растворов зависят от особенностей технологического процесса, в котором они образовались, и, как правило, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, с которой они взаимодействуют [4].

На основании их состава сточные воды могут быть разделены на три категории, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Виды сточных вод

Figure 1 – Types of wastewaters

Стоки, образующиеся в производственном процессе, являются одними из самых распространенных типов сточных вод. Они могут поступать в канализационную систему предприятия неравномерно, в зависимости от технологических процессов, с различными уровнями загрязнений. Сточные воды могут быть условно-чистыми, нормативно очищенными или сильно загрязненными в зависимости от того, проходили ли они процедуры очистки и какой уровень загрязнения был изначально присутствующим. В состав промышленных сточных вод могут входить органические и минеральные примеси. В зависимости от типа загрязнения, степени загрязнения и специфики производственного процесса, могут применяться различные методы очистки сточных вод. Эти методы могут включать механические, физико-химические, химические и биологические процессы очистки [4].

Хозяйственно-бытовые сточные воды представляют собой один из типов сточных вод, которые характеризуются относительно равномерным поступлением. Они считаются сильно загрязненными и содержат в своем составе органические вещества растительного и животного происхождения, а также отходы жизнедеятельности и моющие средства. По виду загрязнения хозяйственно-бытовые сточные воды содержат механические и биологические примеси. Для очистки такого типа сточных вод могут использоваться различные методы, включая механическую, биологическую, физико-химическую и другие технологии.

Атмосферные, или ливневые, сточные воды являются неоднородными по своим характеристикам. Их поступление на очистные сооружения неравномерно и зависит от количества атмосферных осадков. Как правило, такие сточные воды имеют условно-чистый состав, но могут содержать различные за-

грязнения, включая минеральные вещества и нефтепродукты. Методы очистки ливневых сточных вод включают в себя механические, физико-механические и химические методы. Механические методы используются для удаления твердых частиц и других механических примесей. Физико-механические методы включают в себя фильтрацию, коагуляцию и флокуляцию, которые позволяют удалить различные химические примеси. Химические методы, такие как окисление, используются для удаления загрязняющих веществ, таких как нефтепродукты [4].

Влияние на количество, состав и концентрацию загрязняющих веществ в воде определяется несколькими факторами, включая тип промышленной деятельности, характер технологических процессов, состав используемого сырья, вид производимой продукции, свойства исходной воды и режимы производственных процессов. Оценка этих факторов может помочь в определении наиболее эффективных методов очистки сточных вод и позволит предприятиям соблюдать нормы по загрязнению и сохранять экологическую устойчивость [5–6].

В сточных водах различных производств концентрация загрязняющих веществ может значительно варьировать, а также различаться внутри предприятия как в рамках различных подразделений, так и внутри отдельных технологических процессов. Диапазон значений концентраций загрязняющих веществ может колебаться в пределах от нескольких миллиграмм до десятков граммов на литр воды.

В промышленной воде формируются сложные многокомпонентные смеси, трудно поддающиеся удалению. В качестве иллюстративного примера можно представить таблицу с составом сбросов с различных предприятий [7].

Таблица 1 – Классификация сточных вод различных предприятий

Table 1 – Classification of wastewater from various enterprises

Металлургическая промышленность	Минеральные примеси, пыль, грязь, песок, окалина, масла, тяжёлые металлы, кислоты
Целлюлозно-бумажная промышленность	Волокна, селен, хлор, диоксид серы, скипидар
Машиностроительная промышленность	Нефтепродукты, фенолы, взвешенные вещества
Нефтеперерабатывающая промышленность	Нефтепродукты, сульфаты, взвешенные вещества, хлориды
Птицефабрики и мясокомбинаты	Азот, фосфор, калий, вирусы и бактерии
Рыбная промышленность	Жиры, растительные масла, белки, минеральные вещества
Нефтедобывающая промышленность	Сероводород, парафины, аммиак, меркаптаны, сульфиды, фенолы, нефтепродукты, минеральные соли, аммонийный азот
Производство пластика	Фенолы, пластификаторы
Горно-обогатительная промышленность	Тяжёлые металлы, кислоты, органические растворители

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

Угольная промышленность	Взвешенные вещества (угольная пыль и частицы сопутствующих пород), нефтепродукты в виде минеральных масел
Текстильная промышленность	Минеральные и органические примеси, реагенты, моющие средства, волокна и взвешенные вещества
Производство консервов	Взвешенные вещества, аммонийный азот хлориды, сульфаты, эфирорастворимые вещества, фосфор
Производство сахара и крахмала	Азот, калий, кальций и фосфор
Молочная промышленность	Молочная сыворотка

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 г. № 644 были определены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для сточных вод, выходящих из промышленных предприятий, превышение которых запрещено.

Сброс жидких промышленных отходов запрещен в случае, если они содержат вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации. Помимо этого, запрещено превышение установленных нормативов на объемы сбросов сточных вод и сброс в непредусмотренных для этого местах, а также на прилегающих территориях очистных сооружений. В случае превышения ПДК загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых предприятием, может быть наложен запрет на деятельность продолжительностью до 90 дней [8].

Если предприятие вынуждено сбрасывать загрязненные воды, то для них устанавливаются индивидуальные нормы предельно допустимого сброса (ПДС), которые основаны на качестве воды в источнике сброса и учитывают объемы сброса.

Хозяйственно-бытовые сточные воды возникают в результате деятельности людей в бытовой сфере, включая использование воды для гигиенических целей, мытья посуды, стирки белья, уборки помещений и других бытовых нужд. Также источником таких стоков является канализационный слив. Хозяйственно-бытовые сточные воды содержат различные загрязнители, такие как органические и неорганические вещества, микроорганизмы, взвешенные и растворенные частицы, а также содержат в себе некоторые примеси, такие как масла и жиры, пестициды и другие химические соединения, которые требуют специальной обработки перед их выбросом в окружающую среду. Сброс хозяйственно-бытовых сточных вод без предварительной очистки может привести к загрязнению природных водоемов и почвы, что имеет негативные последствия для здоровья человека и экологии в целом [9].

Хозяйственно-бытовые сточные воды считаются высоко загрязненными, потому что

они содержат большое количество микроорганизмов, более сотни различных видов. Этот тип загрязнения обычно связан с животными или растительными отходами. Из-за наличия патогенных микроорганизмов, которые могут вызвать болезни, хозяйственно-бытовые сточные воды представляют опасность с эпидемиологической точки зрения. В связи с этим, их обезвреживание и удаление контролируются. Для обеспечения безопасности отведения хозяйственно-бытовых сточных вод существуют нормативные показатели, которые контролируются с помощью микробиологических и паразитологических анализов сточных вод.

Существует МУ 2.1.5.800-99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. Методические указания», который содержит ряд стандартов, направленных на обеспечение безопасности при обработке и отведении хозяйственно-бытовых сточных вод.

Атмосферные или ливневые сточные воды – это воды, которые собираются в результате атмосферных осадков, таких как дождь, снег или град. Они могут содержать загрязнения, которые накапливаются на поверхности земли, такие как нефтепродукты, соли, металлы и другие токсичные вещества [10].

В результате ливневых вод могут образовываться опасные потоки, которые могут нанести серьезный ущерб окружающей среде, а также людям и животным.

Для решения этой проблемы необходимо правильно собирать, очищать и утилизировать атмосферные сточные воды. Обычно они собираются в канализационных ливневых коллекторах и затем направляются в очистные сооружения для удаления загрязнений. Это может включать в себя использование фильтров, аэрации и других методов очистки, которые помогают удалять загрязнения из воды и снижать ее вредное воздействие на окружающую среду.

На загрязненность поверхностного стока влияют факторы [11]:

- интенсивность движения;
- частота уборки улиц;
- уровень благоустройства территории;
- плотность населения;

- вид поверхностного покрова;
- наличие промышленных предприятий;
- количество выбросов в атмосферу.

После изучения характеристик и вариаций сточных вод, рассмотрим используемые методы их очистки.

Как правило, первым этапом очистки сточных вод является механическая очистка, которая осуществляется с целью удаления грубых загрязняющих частиц размером более 0,1 мм. Однако механическая очистка может использоваться как самостоятельный метод, если очищенная вода будет задействована в технологических производственных процес-

сах или не окажет вредного воздействия при отведении в водоемы [12].

Классификация методов механической очистки основана на различных физических свойствах и уровне концентрации загрязняющих частиц. Эти методы направлены на удаление нерастворимых частиц, которые могут осесть или находиться во взвешенном состоянии. Однако механическая очистка относится к примитивным методам и может быть недостаточно эффективной для полной очистки сточных вод от всех загрязнений [12].

Существует классификация методов механической очистки по типам, как представлено на рисунке 2 [12].



Рисунок 2 – Методы механической очистки сточных вод  
Figure 2 – Methods of mechanical wastewater treatment

Механическая очистка не всегда способна обеспечить достаточное качество очистки, особенно в случаях с высоким уровнем загрязнения. В таких случаях применяют физико-химические методы очистки, представленные на рисунке 3.

Сорбция – это процесс поглощения одного вещества в поверхностном слое другого вещества, называемого сорбентом. Сорбент может быть твердым, жидким или газообразным, а сорбатом может быть какое угодно вещество, растворенное в газообразной, жидкой или твердой среде. Процесс сорбции происходит за счет притяжения молекул сорбата к поверхности сорбента. Это притяжение может быть вызвано различными механизмами, такими как силы Ван-дер-Ваальса, ионно-дипольное взаимодействие, взаимодействие гидрофобных групп, химические связи и другие. В процессе сорбции сорбат поглощается

на поверхности сорбента и может образовывать слой или пленку на его поверхности. После насыщения сорбента процесс сорбции может прекратиться, что делает его непригодным для дальнейшего использования [13].

Экстракция – метод механической очистки, основанный на растворимости некоторых загрязняющих веществ в жидкости, не смешивающейся со сточными водами. Для проведения экстракции в сточные воды добавляют жидкость, такую как гексан, которая забирает загрязнения. Удаление этой жидкости из сточных вод приводит к снижению загрязненности стоков. Этот метод эффективен для удаления фенолов и жирных кислот [14–15].

Метод аэрации является процессом очистки, в котором происходит окисление загрязняющих веществ с целью перевода летучих компонентов, таких как сероводород и сульфиды, а также поверхностно-активных

веществ (ПАВ), в газообразную фазу для их последующего удаления из сточных вод.

При использовании метода флотации сточные воды очищаются путем насыщения их мельчайшими пузырьками воздуха, которые прикрепляются к загрязняющим частицам, таким как нефтепродукты, жиры и волокна, и вместе с ними поднимаются на поверхность, где их можно удалить.

Коагуляция представляет собой метод очистки сточных вод, основанный на использовании коагулянтов (сернокислого, сернистокислого, хлорного железа, сернокислого алюминия, алюмината натрия), которые приводят к образованию гелеобразных хлопьев гидроокисей железа и алюминия. Эти хлопья связываются с коллоидными взвешенными частицами в сточной воде, которые затем

оседают на дно. Для ускорения процесса коагуляции используются флокулянты, такие как полиакриламид или активированная кремниевая кислота, которые повышают размер хлопьев и делают их более прочными. Для удаления органических примесей можно использовать активный ил, при этом процесс получает название биокоагуляции [16].

Применяется и метод ионного обмена, который основан на взаимодействии ионов в сточной воде с ионами, находящимися на поверхности ионита – твердого материала. Этот процесс позволяет удалить ценные примеси, включая ионы металлов (цинк, хром, медь, свинец, ртуть), фосфорные и мышьяковые соединения, поверхностноактивные вещества и радиоактивные вещества.



Рисунок 3 – Химические и физико-химические методы очистки сточных вод  
 Figure 3 – Chemical and physico-chemical methods of wastewater treatment

Эвапорация. В данном методе загрязнения извлекаются путем совместного увлечения их циркулирующим паром. Затем загрязненный пар смешивают с раствором щелочи для дальнейшей изоляции загрязнений. Этот метод используется для удаления летучих веществ.

Кристаллизация является методом очистки, который основывается на образовании кристаллических фаз из растворов, рас-

плавов или газов. Для этого процесса используется изменение температуры загрязненной воды, которая создает перенасыщенные растворы загрязняющих веществ, которые затем переходят в кристаллы [17–18].

Электролиз – это метод очистки воды, основанный на использовании электрохимических процессов. Он предполагает пропускание электрического тока через загрязненную воду,

при котором происходит окисление органических веществ на аноде и восстановление кислот, щелочей и металлов на катоде. В процессе электролиза происходит электролитическое разложение воды на кислород и водород, что также способствует очистке воды. Данный метод эффективен для удаления различных загрязнений, включая тяжелые металлы, органические вещества и радиоактивные вещества. Однако для его использования необходимо высокое напряжение и мощность [19].

Химическая очистка воды заключается в применении реагентов, которые образуют химические соединения с загрязняющими веществами в воде, либо связывают их в нерастворимые комплексы, что делает их безопасными для окружающей среды. Такие процессы происходят быстро и равномерно в объеме жидкости, что делает этот метод очистки воды эффективным. Химическая очистка воды имеет важное значение на предприятиях, где применяется повторное использование воды и необходимо обезвреживать промышленные стоки [20].

Виды химической обработки [21].

Нейтрализация – данный метод заключается в регулировании кислотно-щелочного баланса путем проведения реакции нейтрализации между кислотой и щелочью с образованием солей. Это позволяет оптимизировать процесс, чтобы достичь необходимого уровня кислотности и щелочности в растворе.

Окисление – механизм изменения химической структуры целевых веществ обусловлен действием окислительных свойств хлора и его соединений. В результате окисления токсичные органические вещества претерпевают изменения и превращаются в менее

вредные. Кроме того, происходит уничтожение патогенных микроорганизмов.

Метод восстановления заключается в преобразовании окисленных форм токсичных веществ, в молекулярное состояние, что позволяет их дальнейшую обработку при использовании различных методов очистки воды, таких как коагуляция, флотация, отстаивание и связывание на фильтрах. Это достигается путем введения веществ, способных восстанавливать токсичные элементы в более нейтральные формы, обладающие меньшей токсичностью и более легким удалением из сточных вод.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристики сброса сточных вод в промышленности нефтепереработки.

Нефтесодержащие сточные воды могут стать серьезным источником долгосрочного загрязнения водных систем. Содержащиеся в нефти углеводороды и органические кислоты образуют на поверхности воды пленку, которая мешает газообмену между водой и атмосферой, что может привести к дефициту кислорода и гибели водных организмов [23].

Для регулирования качества и состава сточных вод, происходящих на объектах нефтепереработки, существуют нормативные документы, которые устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) нефтепродуктов, а также минеральных и органических соединений [23].

Нефтеперерабатывающие предприятия используют комплексную очистку стоков, предусматривающую извлечение не только нефтепродуктов, различные этапы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика методов механической очистки сточных вод

Table 2 – Characteristics of methods of mechanical wastewater treatment

Этап очистки	Группа методов	Удаляемые загрязнения	Методы / оборудование
1	Механическая очистка	Грубодисперсные примеси и нефтешленки	Нефтешелушки, песколовки, гидроциклоны, отстойники дополнительного отстоя
2	Физико-химическая очистка	Коллоидные и растворенные соединения	Флотация, адсорбция, коагуляция и флокуляция
3	Биохимическая очистка	Растворенные органические соединения	Аэротенки и отстойники
4	Обеззараживание	Патогенные организмы	Озонирование, ультрафиолетовое обеззараживание

Характеристики сброса сточных вод на производстве текстильных материалов.

Стоки, производимые на текстильных предприятиях, содержат значительное количество загрязняющих веществ, таких как красители, реагенты, примеси, соединения

тяжелых металлов, СПАВ, волокна и другие вредные органические соединения. Эти загрязняющие вещества могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Поэтому очистка сточных вод от таких загрязнений является важ-



ной задачей для текстильных предприятий [24].

На текстильных предприятиях используются методы механической, химической и биологической очистки для удаления загрязнений из сточных вод. В зависимости от характера производства механическая и химическая очистка могут применяться как для первичной, так и для окончательной очистки перед сбросом в водные объекты.

В процессе очистки применяется флотационная очистка с предварительной химической обработкой сточных вод. Это позволяет выделять 90–95 % взвешенных веществ, снижать биохимическое потребление кислорода (БПК) на 20–50 % и уменьшать цветность воды на 50 % и более [25].

Характеристика сточных вод прачечных предприятий и автомоек.

На прачечных хозяйствах и автомойках образуется большое количество сточных вод, которые содержат ПАВ, включая АПАВ и СПАВ (моющие средства, детергенты, отбеливатели), взвешенные вещества (в том числе эмульгированная грязь), соли жесткости, красители, нефтепродукты, механические частицы и волокна ткани. Концентрация загрязнений в сточных водах превышает в два–три раза уровень загрязнения в городских канализационных стоках. Смешивание сточных вод из прачечных хозяйств и автомоек с городскими канализационными стоками приводит к появлению стойкого пенообразования, что затрудняет работу очистных сооружений и снижает степень очистки хозяйственно-бытовых стоков. Технологии очистки стоков автомоек и прачечных подбираются с учетом специфики загрязняющих веществ [26].

Характеристики процесса очистки сточных вод на животноводческих и птицеводческих фермах.

Сельское хозяйство использует около 30 % водных ресурсов на снабжение фермерских хозяйств, орошение земель и другие нужды. Однако сельскохозяйственные сточные воды содержат опасные химические компоненты в количестве до 10 граммов на литр, а также частицы грунта [27–28].

В состав таких сточных вод входят как неорганические компоненты, так и органические вещества: удобрения, пестициды, фунгициды, гербициды и инсектициды, которые могут быть токсичными и даже летальными. Воды, отводимые животноводческими и птицеводческими комплексами, характеризуются микробным и органическим загрязнением, что требует проведения микробиологического и паразитологического анализа [29–30].

Для обеззараживания таких сточных вод предварительно проводят отстаивание с последующей очисткой. Регулирование процесса очистки воды подразумевает соблюдение МУ 2.1.5.800-99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. Методические указания».

### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует широкий спектр методов для очистки сточных вод, которые доступны предприятиям и организациям. Очистка сточных вод является важным шагом для поддержания экологической устойчивости и соблюдения нормативов по загрязнениям. Выбор наиболее эффективных методов очистки очень важен для предотвращения негативного влияния на окружающую среду [31].

Однако выбор метода очистки не должен ограничиваться только его эффективностью по отношению к конкретным загрязнителям, необходимо учитывать сложность составов стоков, степень достаточности извлечения загрязнителей, возможность рекуперационного извлечения ценных компонентов. Необходимо осуществлять разработку технологии очистки сточных вод с учетом индивидуальных особенностей предприятия, места его расположения и характеристик водного объекта – приемника стоков.

Помимо этого, для обеспечения эффективности и эффективного контроля за процессом очистки необходимо регулярно отслеживать показатели, такие как уровень загрязнения и степень очистки, регулировать процессы очистки в зависимости от нормативных требований и предельно допустимой нагрузки на экосистемы [32–35].

Рациональный подход к очистке позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду без глубоких изменений производственных процессов и значительных экономических затрат.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайцель А.А. Механические методы очистки сточных вод // Наука, образование и культура. 2019. № 3(37). С. 13–14.
2. Дружинская О.И. Анализ технологий и методов очистки сточных вод текстильного производства // В сборнике: Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (инновации-2018). Сборник материалов международной научно-технической конференции. 2018. С. 109–111.
3. Иванов Д.Б., Уралева А.И. Методы очистки нефтесодержащих сточных вод // Наукосфера 2021. № 71. С. 175–180.
4. Роствинская В.С. Изучение методов

очистки сточных вод // Трибуна ученого. 2020. № 7. С. 78–84.

5. Постановление Правительства РФ от 29 июля 2013 г. № 644 "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями) // СПС «Гарант».

6. Карпухин М.М. "Сточные воды предприятия: как их очищают" // MSULab. URL : <https://www.msulab.ru/knowledge/water/stochnyevodyu-predpriyatiya/> (дата обращения: 26.03.2023).

7. Бузин И.С. "Современные методы очистки сточных вод" // MSULab. URL : <https://www.msulab.ru/knowledge/water/sovremennyye-metody-ochistki-stochnykh-vod/> (дата обращения: 26.03.2023).

8. Методы очистки сточных вод, виды очистных сооружений и инновации в области очистки сточных вод / В.Е. Дудоров, Д.Н. Хисматулина, Э.Р. Исхакова // Наука среди нас. 2019. № 4(20). С. 43–48. EDN PREGZQ.

9. Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод на компактных установках / Ф.А. Афанасьева, А.П. Иванов, А.Е. Ловцов // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 11. С. 34–39.

10. Федотова Ю.В., Спицын А.А. Очистка сточных вод лесохимических производств // Евразийский союз ученых. 2019. № 12–5(69). С. 46–51. EDN EAOORJ.

11. Когановский А.М., Кульский Л.А., Сотникова Е.В. Очистка промышленных сточных вод / Под ред. В.Л. Шмарук. М. : Техника, 1974. С. 257.

12. Очистка природных и сточных вод = Water and wastewater treatment : учеб. пособие : в 2 ч : Watertreatment. Treatment of drinking and service water : учеб. пособие для магистерской программы "Комплексное использование водных ресурсов" / В.И. Аксенов ; Аксенов В.И., Мигалатий Е.В., Никифоров А.Ф. Тамбов : Изд-во ИП Чесноков А.В., 2011. 172 p. ISBN 978-5-903435-90-6. EDN QNPUTL.

13. Хуррамов М.Г., Шойназаров Р.М. Способ очистки недостаточно очищенных сточных вод // Экологическое благополучие и здоровый образ жизни человека в 21 веке: политико-правовые, социально-экономические и психолого-гуманитарные аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Новороссийск–Ставрополь, 23–24 ноября 2017 года / Под общей редакцией В.В. Пономарева, Т.А. Куткович. Новороссийск–Ставрополь : Новороссийский институт (филиал) АНО ВО "Московский гуманитарно-экономический университет", Центр научного знания "Логос", 2017. С. 143–146. EDN YNLGFU.

14. Обратное водоснабжение обогатительных фабрик. Методы очистки и кондиционирования сточных и оборотных вод : учеб. пособие / В.П. Мязин, О.В. Литвинцева ; В.П. Мязин, О.В. Литвинцева ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Читинский гос. ун-т" (ЧитГУ). Чита : РИК ЧитГУ, 2011. С. 153. ISBN 978-5-9293-0624-2. EDN QMZERF.

15. Application of Modified Sorption Material for Efficient Wastewater Treatment of Galvanic Production / O.G. Dubrovskay, V.A. Kulagin, T.A. Kurilina, F.Ch. Li // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2017. Vol. 10, No. 5. P. 621–630. DOI 10.17516/1999-494X-2017-10-5-621-630. EDN ZCDQPD.

16. Очистка природных и сточных вод = Water and wastewater treatment : учеб. пособие : в 2 ч : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 280700 "Техносферная безопасность" / В.И. Аксенов ; Аксенов В.И., Мигалатий Е.В., Никифоров А.Ф. Тамбов : Изд-во ИП Чесноков А. В., 2011. С. 167. ISBN 978-5-903435-89-0. EDNQNPUTV.

17. Hasanov A.A., Shikhiyev R.A. Adsorption treatment of textile wastewater contaminated with synthetic dyes // Azerbaijan Chemical Journal. 2022. No. 3. P. 70–74. DOI 10.32737/0005-2531-2022-3-70-74. EDN XSQKSL.

18. Wastewater treatment using natural zeolite materials / S.K. Myrzaliev, G.N.I.P. Pratama, A.G. Khamidulla // Complex Use of Mineral Resources. 2021. № 2(317). P. 64–68. DOI 10.31643/2021/6445.19. EDN AYQITV.

19. Vysotina A.A. Waste water treatment of timber industry enterprises by flotation method. 2022. № 21. P. 205–207. EDN BVAUYK.

20. Sorption purification of wastewater from organic dyes using granulated blast-furnace slag / E.B. Khobotova, I.V. Hraivoronska, Iu.S. Kaliuzhna, M.I. Ilnatenko // Chem Chem Tech. 2021. Vol. 64, № 6. P. 89–94. DOI 10.6060/ivkkt.20216406.6302. EDN PUXWPW.

21. Pervov A.G., Tikhonov K.V. A new technique to purify biologically treated wastewater by reverse osmosis: utilization of concentrate // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15, № 5. P. 688–700. DOI 10.22227/1997-0935.2020.5.688-700. EDN EMYDAU.

22. Grakova A.G. Optimization of the structure decisions in designing a membrane bioreactor to increase the efficiency of treatment waste water of the dairy industry // Modern Science and Innovations. 2020. № 3(31). P. 121–131. DOI 10.37493/2307-910X.2020.3.15. EDN BNXCBL.

23. Study of the possibility of using zeolite and diatomite in the treatment of oil – contaminated wastewater / S.K. Myrzaliev, Zh.T. Bagasharova, Sh.K. Akilbekova // Complex Use of Mineral Resources. 2022. № 3(322). P. 33–42. DOI 10.31643/2022/6445.26. EDN THCTSU.

24. Arshidinov M.M., Ospanova G.Sh. Ozonization purification of industrial plants wastewater // Вестник алматинского университета энергетики и связи. 2020. № 3(50). P. 90–95. DOI 10.51775/1999-9801\_2020\_50\_3\_90. EDN UWBKBF.

25. Sabliy L.E., Zhukova V. Effective technology of pharmaceutical enterprises wastewater local treatment from antibiotics // BIOTECHNOLOGIA ACTA. 2020. Vol. 13, № 3. P. 81–88. DOI 10.15407/bio-tech13.03.081. EDN HSVGBN.

26. Development of measures for purification of waste water from harmful substances of dairy production / M.T. Berdieva, B.O. Toktubakiev, U.M. Kalybek // Наука, новые технологии и инновации Кыргыз-

стана. 2021. № 4. P. 164–166. DOI 10.26104/NNTIK.2019.45.557. EDN GZXLQP.

27. Novel ion exchange fibers for wastewater treatment from heavy metal ions / M.K. Abdulkhaimov, I.T. Garipov, R.A. Khaydarov [et al.] // Management of the Technosphere. 2021. Vol. 4, № 1. P. 88–97. DOI 10.34828/UdSU.2021.81.56.002. EDN HRAMRA.

28. Physico-chemical study of the adsorption properties of natural minerals for the sorption treatment of wastewaters / M.G. Murzagalieva, N.S. Ashimkhan, A.A. Tanybayeva, A.A. Rysmagambetova // Химический журнал Казахстана. 2022. № 4(80). P. 15–25. DOI 10.51580/2022-3/2710-1185.90. EDN CMRYPP.

29. Mammadov H.N., Sadigova A.A. On the development of environmentally sound methods of wastewater treatment of petrochemical complexes // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022. Vol. 14, № 4. P. 120–128. DOI 10.52171/2076-0515\_2022\_14\_04\_120\_128. EDN HARESK.

30. Development of technology for biological treatment of oily wastewater with a consortium of microorganisms, microalgae and aquatic plants / G.I. Yernazarova, Zh.M. Bukharbayeva, B.K. Zayadan [et al.] // Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography Series. 2021. Vol. 102, № 2. P. 30–36. DOI 10.31489/2021BMG2/30-36. EDN VRCOYB.

31. Krasnova T.A., Timoschuk I.V., Gorelkina A.K., Dugarjav J. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. № 2. P. 189–196. doi: 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196.

32. Краснова Т., Горелкина А., Кирсанов М. Использование адсорбции для снижения загрязнения водных ресурсов. Экология и промышленность России. 2018; 22(1): 44–49. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-1-44-49>.

33. К вопросу об использовании отходов от водообессоливающих ионообменных установок электростанций / А.Ю. Просеков, И.В. Тимощук,

А.К. Горелкина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 127–132. DOI 10.25750/1995-4301-2021-4-127-132.

34. Перспективные направления декарбонизации промышленного производства с высокой составляющей углеродного следа в выпускаемой продукции / Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, П.С. Коротких, Н.С. Голубева // Ползуновский вестник. 2022. № 4/2. С. 54–65.

35. Салищева О.В., Неверов Е.Н. Исследование эффективности процесса адсорбционной очистки сточных вод с использованием природных материалов в качестве адсорбентов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 3. С. 87–97.

### **Информация об авторах**

*Е. Н. Неверов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.*

*А. К. Горелкина – профессор кафедры техносферной безопасности Кемеровского государственного университета.*

*Р. Ю. Схаллок – магистрант Кемеровского государственного университета.*

### **Information about the authors**

*E.N. Neverov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.*

*A.K. Gorelkina - Professor of the Department of Technosphere Safety of Kemerovo State University.*

*R.Yu. Skhaplok - Master's student of Kemerovo State University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.*

*The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.*