



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 628.16

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.027



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

Светлана Владимировна Степанова ¹, Ильдар Гильманович Шайхиев ²,
Владимир Александрович Сомин ³

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

¹ ssvkan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-313X>

² ildars@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9160-0412>

³ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

³ vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

Аннотация. Окрашенные сточные воды образуются в промышленном производстве на многих предприятиях из-за попадания в их состав различных красителей. Особенно большой объем окрашенных стоков наблюдается при крашении тканей и кожи на предприятиях легкой промышленности. Сточные воды, содержащие красители, имеют высокие значения ХПК из-за значительного содержания в них органических веществ и не могут быть сброшены на биологические очистные сооружения из-за угрозы гибели биоценоза микроорганизмов активного ила. Данное обстоятельство требует локальной очистки окрашенных сточных вод в местах образования. Нами исследована возможность очистки интенсивно окрашенных стоков ООО «Эгида» г. Казань с использованием различных методов. Первоначально проводилось разбавление окрашенных стоков технической водой в соотношении 1:50 и последующая окислительная деструкция органических соединений реактивом Фентона. Определены оптимальные соотношения реагентов, при которых достигается наибольшее снижение значений ХПК: 40 см³ 10 %-ного раствора FeSO₄ и 200 см³ 30 %-ного раствора H₂O₂ на 1 дм³ очищаемой сточной жидкости. Проведена нейтрализация окисленной сточной жидкости 5 %-ным раствором гидроксида натрия и последующей фильтрацией образующегося осадка гидроксида железа. Выявлено, что использование суспензии гидроксида кальция технологически не оправдано из-за большого объема образующегося трудноутилизуемого осадка. Доочистка нейтрализованного стока проводилась под действием биоценоза микроорганизмов активного ила, позволившая обесцветить сточную жидкость и использовать ее в качестве технической воды для разбавления исходной окрашенной жидкости. Предложена технологическая схема разработанного процесса комбинированной очистки сильноокрашенных сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, красители, окисление, нейтрализация, биологическая доочистка, технологическая схема очистки.

Благодарности: автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

Для цитирования: Степанова С. В., Шайхиев И. Г., Сомин В. А. Усовершенствование технологии реагентной очистки сточных вод от красителей // Ползуновский вестник. 2025. № 1, С. 220–224. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.027. EDN: <https://elibrary.ru/IJMIJH>.

Original article

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR REAGENT TREATMENT OF WASTEWATER FROM DYES

Svetlana S. Stepanova ¹, Ildar G. Shaikhiev ², Vladimir A. Somin ³

^{1,2} Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia

¹ ssvkan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4831-313X>

² ildars@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9160-0412>

³ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia,

³ vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

Abstract. Colored wastewater is formed in industrial production at many enterprises due to the ingress of various dyes into their composition. A particularly large volume of colored effluents is observed in the dyeing of fabrics and leather at light industry enterprises. Wastewater containing dyes has high COD values due to the significant content of organic substances in them and cannot be discharged to biological treatment plants due to the threat of death of the biocenosis of microorganisms of activated sludge. This circumstance requires local treatment of colored wastewater in the places of formation. We have investigated the possibility of cleaning intensely colored wastewater from Egiда LLC, Kazan using various methods. Initially, the dilution of colored wastewater with industrial water in a ratio of 1:50 was carried out and the subsequent oxidative degradation of organic compounds with Fenton's reagent. The optimal ratios of reagents have been determined, at which the greatest reduction in COD values is achieved: 40 cm³ of a 10% FeSO₄

© Степанова С. В., Шайхиев И. Г., Сомин В. А., 2025

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

solution and 200 cm³ of a 30% H₂O₂ solution per 1 dm³ of the treated wastewater. The oxidized wastewater was neutralized with a 5% sodium hydroxide solution and subsequent filtration of the resulting iron hydroxide precipitate. It was revealed that the use of a suspension of calcium hydroxide is technologically unjustified due to the large volume of the resulting difficult-to-recycle sludge. After-treatment of the neutralized runoff was carried out under the action of a biocenosis of microorganisms of activated sludge, which allowed the wastewater to discolor and use it as process water to dilute the original-colored liquid. The technological scheme of the developed process of combined purification of highly colored wastewater is proposed.

Keywords: wastewater, dyes, oxidation, neutralization, biological post-treatment, technological scheme of purification.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

For citation: Stepanova, S. V., Shaikhiev, I. G. & Somin, V. A. (2025). Improvement of technology for reagent treatment of wastewater from dyes. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 220-224. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.01.027. EDN: <https://elibrary.ru/IJMIJH>.

ВВЕДЕНИЕ

Окрашенные сточные воды (СВ) образуются в промышленном производстве на многих предприятиях из-за попадания в их состав различных красителей. Особенно большой объем окрашенных стоков наблюдается при крашении тканей и кожи на предприятиях легкой промышленности [1, 2]. Отличительной чертой таких сточных вод является наличие в их составе кроме красителей также различных химических соединений, таких как кислот и щелочей, детергентов и др. Кроме того, отличительной чертой окрашенных сточных вод является неравномерность образования последних и значительные колебания концентрации растворителей.

В этой связи при отведении таких вод в городскую канализацию, как правило, требуется их предварительная локальная очистка на сооружениях, имеющих на предприятиях с целью снижения концентрации при подаче на биологические очистные сооружения.

Все известные в литературе методы физико-химической очистки рассматриваемой категории СВ можно разделить на три основные группы [3–5].

Первая группа методов обеспечивает извлечение загрязнений переводом их в осадок или флотошлам путем сорбции на хлопьях гидроксидов металлов, образующихся при коагуляционной обработке сточных вод [6, 7]. Методам этой группы (коагуляции, реагентной напорной флотации, электрокоагуляции и др.) присущи следующие недостатки: невысокая степень очистки, особенно по обесцвечиванию; необходимость эмпирического подбора реагентов или материала электродов, что усложняет обработку смеси стоков с часто изменяющимся составом; сложность в автоматизации дозировки реагентов; образование значительного количества влажных осадков или флотошлама; необходимость складирования или захоронения, что не исключает загрязнения почвы и подземных водоносных слоев [3].

Вторая группа включает сепаративные методы, такие, как адсорбция на активных углях [8, 9] и макропористых ионитах [10], мембранные технологии [11, 12], пенная сепарация [13], электрофильтрация [14]. Данные методы, за исключением двух последних, обеспечивают высокую степень очистки сточных вод, но требуют предварительной механико-химической обработки с целью удаления нерастворимых примесей. Кроме того, они сложны в аппаратном оформлении и имеют высокую себестоимость очистки. Применение их оказывается рента-

бельным в технологических системах замкнутого водоснабжения промышленных предприятий [13].

Третья группа объединяет деструктивные методы, основанные на глубоких превращениях органических молекул в результате редокс-процессов. Эти методы обладают рядом преимуществ по сравнению с вышерассмотренными группами методов. Их отличительной чертой является высокая эффективность очистки, технологичность, компактность и простота автоматизации и управления процессами. Из деструктивных методов наиболее широкое применение находит очистка сточных вод от красителей с использованием различных окислителей (O₂, O₃, H₂O₂, H₂SO₄ и др.) [15–18]. Также высокую эффективность разложения красителей показали методы реагентной восстановительной окислительной [19], электрохимической [20, 21] и электрокаталитической деструкции [22].

Вышеназванные методы очистки, как правило, находят применение для предварительной очистки окрашенных стоков. К недостаткам относятся относительно высокая стоимость обработки СВ, большой расход реагентов и объем образующихся осадков, трудность регулирования процесса [23].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения исследований по разработке технологии очистки окрашенных сточных вод, применялась сточная жидкость, образующаяся на ООО «Эгида». Исследуемая сточная вода содержала большое количество взвешенных веществ и имела темно-синюю окраску.

Таблица 1 – Параметры исходной разбавленной сточной воды

Table 1 – Parameters of initial wastewater

Параметр, размерность	Показатели
pH	4,17±0,05
Сухой остаток, мг/дм ³	12,0±0,09
ХПК, мгО/дм ³	418,88±1,21
Содержание, мг/дм ³ :	
ионов NO ₂ ⁻	0,96±0,01
ионов NO ₃ ⁻	2,40±0,05
ионов NH ₄ ⁺	1,11±0,05
ионов SO ₄ ²⁻	0,18±0,01
ионов Cl ⁻	20,84±0,05
Железа общего	1,02±0,01

В силу того, что исходный сток очень мутный и имеет интенсивный темно-синий окрас, для проведения экспериментов он разбавлялся в 50 раз. Некоторые параметры разбавленного стока приведены в таблице 1.

Методы исследования, применяемые при анализе компонентов сточных вод: титриметрический, гравиметрический, ионометрический, спектрофотометрический.

По данным таблицы 1, очевидно, что исходная неразбавленная сточная жидкость имеет высокие показатели значений ХПК, содержания нитрит-, нитрат- сульфат- хлорид-ионов и ионов аммония, а также общего железа, что не позволяет ее даже в общезаводской коллектор. Высокое значение ХПК разбавленного стока объясняется наличием в стоке большого количества органических соединений (красители, ПАВ).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Первоначально предполагалось провести деструктивное окисление органических соединений, содержащихся в стоке, с использованием озono-воздушной смеси. Озон, являясь самым сильным окислителем, эффективно окисляет и разлагает красители, обесцвечивая окрашенные стоки [24–26]. Однако, как показали предварительные исследования, метод озонирования оказался непригоден ввиду интенсивного пенообразования из-за содержащихся в сточной жидкости ПАВ.

В этой связи в последующем исследовалась возможность окислительного разложения органических красителей и других реагентов, содержащихся в сточной жидкости с использованием процесса Фентона. Последний осуществляется введением в очищаемые сточные жидкости раствора перекиси водорода и сульфата железа (II) в качестве катализатора [27–29].

Ход проведения экспериментов заключался в следующем:

В шесть мерных цилиндров наливали разбавленную сточную воду объемом по 50 см³, в которые далее вводилось по 1 см³ 30 % раствора H₂O₂, а также по 1–

Таблица 3 – Результат очистки промышленных сточных вод в условиях процесса Фентона с варьированием раствора перекиси водорода

Table 3 – The result of industrial wastewater treatment under the conditions of the Fenton process with varying hydrogen peroxide solution

Объем 10 % раствора FeSO ₄ ·7H ₂ O, см ³ /50 см ³	Объем 30 % раствора H ₂ O ₂ , см ³ /50 см ³	ХПК, мгО/дм ³	pH
Исходный сток	–	418,88±1,21	4,17±0,05
2	1	363,76±1,21	3,27±0,05
2	2	288,96±1,21	2,45±0,05
2	5	150,40±1,01	2,44±0,05
2	10	125,60±1,01	2,55±0,05

Как следует из приведенных в таблице 3 данных, оптимальным видится использование 100 см³/дм³ сточной воды 30 % раствора H₂O₂. Двойное увеличение дозировки раствора перекиси водорода не способствует значительному снижению значений ХПК, но повышает стоимость очистки, что в реальных производственных условиях не всегда приемлемо.

Кроме того, как следует из приведенных в таблице 3 данных, величина pH очищаемой жидкости снизилось с pH = 4,17 до pH = 2,44. Для подачи на дальнейшую переработку возникает необходимость нейтрализации очищаемой сточной жидкости до нейтральной среды. Проведенными впоследствии экспериментами отклонена обработ-

3 см³ 10 % раствора FeSO₄·7H₂O. Наблюдалось постепенное обесцвечивание содержимого сосудов с одновременным повышением температуры, что свидетельствовало о протекании окислительного процесса. Через 60 минут после начала эксперимента осветленные сточные воды отфильтровывались от образующегося осадка и определялись значения pH и ХПК раствора. Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты очистки промышленных сточных вод по реакции Фентона

Table 2 – Results of industrial wastewater treatment using the Fenton reaction

Количество введенного 30 % раствора H ₂ O ₂ , см ³ /50 см ³	Объем 10 % раствора FeSO ₄ ·7H ₂ O, см ³ /50 см ³	Значение ХПК, мгО/дм ³	pH
исходный	–	418,88±1,21	4,17±0,05
1	1	318,76±1,52	2,10±0,05
1	2	122,60±1,15	2,01±0,05
1	3	143,28±1,24	1,99±0,05

Как следует из приведенных в таблице 2 данных, наибольшее снижение значений ХПК наблюдалось при введении в очищаемую воду 40 см³/дм³ 10 %-ного раствора FeSO₄. Для определения оптимальной дозировки 30 %-ного раствора H₂O₂ в последующем также проводилась серия экспериментов с варьированием количества названного реагента в объеме 20–200 см³/дм³ сточной жидкости. Дозировка 10 % раствора сульфата железа (II), как отмечалось выше, составила 40 см³/дм³ в каждом эксперименте. Также наблюдалось обесцвечивание сточной жидкости с повышением температуры, причем с увеличением дозировки перекиси водорода конечное значение температуры также становилось более высоким, достигая значения 55 °С. Полученные значения ХПК и pH приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результат очистки промышленных сточных вод в условиях процесса Фентона с варьированием раствора перекиси водорода

Table 3 – The result of industrial wastewater treatment under the conditions of the Fenton process with varying hydrogen peroxide solution

Объем 10 % раствора FeSO ₄ ·7H ₂ O, см ³ /50 см ³	Объем 30 % раствора H ₂ O ₂ , см ³ /50 см ³	ХПК, мгО/дм ³	pH
Исходный сток	–	418,88±1,21	4,17±0,05
2	1	363,76±1,21	3,27±0,05
2	2	288,96±1,21	2,45±0,05
2	5	150,40±1,01	2,44±0,05
2	10	125,60±1,01	2,55±0,05

ка сточной жидкости суспензией Ca(OH)₂ ввиду образования большого объема осадка. В этой связи в дальнейшем проводилась нейтрализация сточной воды 5 %-ным раствором NaOH до достижения значений pH ~ 8–9. При этом наблюдалось выпадение в осадок суспензии Fe(OH)₃, которая удалялась фильтрованием. В результате процесса нейтрализации содержание общего железа в сточной жидкости уменьшилось с 1,02 мг/дм³ до 0,16 мг/дм³, а значение ХПК незначительно уменьшилось до pH = 135,2 мг/дм³.

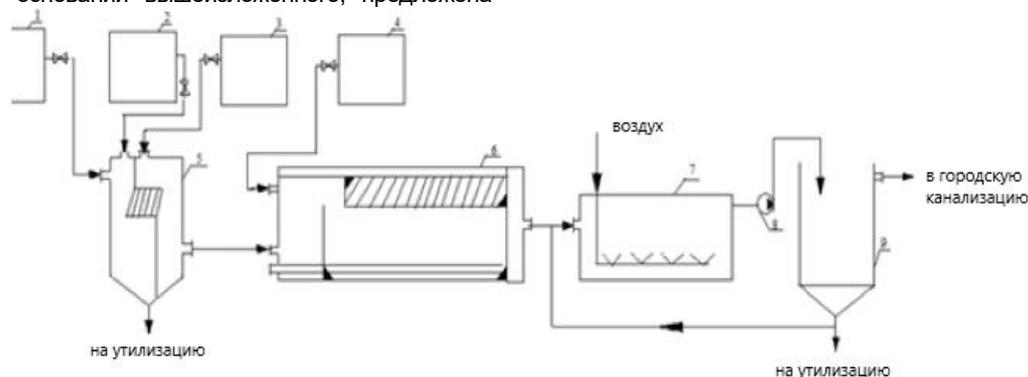
С целью дальнейшей очистки сточной жидкости ООО «Эгида» решено использовать биологическую доочистку для уменьшения содержания органических соединений. В качестве источника

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

микроорганизмов была взята суспензия активного ила с биологических очистных сооружений ПАО «Казаньоргсинтез». Исследование проводилось путем внесения в колбу объемом 250 см³ очищаемой сточной жидкости и суспензии активного ила в соотношении 1:1. Перемешивание проводилось на шейкере в течение 16 часов. По окончании указанного периода времени активный ил отфильтровывался, а в очищаемой сточной жидкости определялись некоторые показатели. Результаты анализов представлены в таблице 4.

Исходя из результатов таблицы 4, определено, что биологическая стадия очистки дала значительный результат в части снижения значений ХПК. Степень очистки с учетом разбавления исходной сточной воды составила 99,9 % по значению ХПК.

На основании вышеизложенного, предложена



1 – емкость с предварительно разбавленной СВ; 2 – емкость с раствором $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 3 – емкость с раствором H_2O_2 ; 4 – емкость с щелочным реагентом; 5 – камера усреднения и отстаивания; 6 – камера хлопьеобразования; 7 – аэротенк; 8 – центробежный насос; 9 – вторичный отстойник

Рисунок 1 – Принципиальная схема технологии комплексной очистки сточной воды от красителей текстильного производства

1 - container with pre-diluted SW; 2 - container with $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ solution; 3 - container with H_2O_2 solution; 4 - container with alkaline reagent; 5 - averaging and settling chamber; 6 - flocculation chamber; 7 - aeration tank; 8 - centrifugal pump; 9 - secondary settling tank

Figure 1 – Schematic diagram of the technology for complex treatment of wastewater from textile dyes

Согласно принципиальной схемы, представленной на рисунке 1, предварительно разбавленная сточная вода, содержащая текстильные красители, поступает в камеру усреднения и отстаивания 5, куда с помощью дозатора из емкости 2 направляется 10 % раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, дозатором из емкости 3 направляется 34 % раствор H_2O_2 . В камере 5 проходит процесс Фентона с выделением тепла, максимальная температура системы при этом достигает 55 °С. Далее сточная вода отстаивается и направляется на стадию очистки в камеру хлопьеобразования 6, а образовавшийся осадок – на утилизацию.

В зону смешения камеры хлопьеобразования 6 из емкости 4 с помощью дозатора поступает щелочной реагент. Пройдя зону хлопьеобразования, обрабатываемая вода поступает в зону осаждения, где происходит выпадение на дно сформированных хлопьев. Осветленная вода выводится системой слива из сооружения, а выпавшие на дно взвешенные вещества удаляются системой сбора за пределы сооружений.

Пройдя аппарат 6, сточная жидкость поступает на биологическую очистку – аэротенк 7, где происходит аэробная доочистка сточной воды.

принципиальная технологическая схема очистки окрашенных сточных вод ООО «Эгида» (рисунок 1).

Таблица 4 – Результат анализа после биологической стадии очистки сточных вод

Table 4 – The result of the analysis of the field of the last biological stage of wastewater treatment

Наименование параметра	Показатели
pH	8,59
ХПК, мгО/дм ³	58,8
Содержание, мг/дм ³ :	
- ионов NO_2^- ,	1,37
- ионов NO_3^- ,	1,51
- ионов NH_4^+	2,10
- ионов SO_4^{2-}	208,38
- ионов Cl^-	19,85
- общего железа	0,163

После отстаивания в отстойнике 8 часть ила идет на рециркуляцию, а очищенная вода направляется в начало процесса для разбавления исходной сточной жидкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью выявления эффективных средств очистки окрашенных сточных вод на примере предприятия ООО «Эгида» изучена и разработана технология очистки сточных вод текстильного производства путем использования нескольких стадий: разбавления СВ, окисления реактивом Фентона, реагентной очисткой, нейтрализацией и биологической доочисткой с использованием консорциума микроорганизмов активного ила. Степень очистки после последней стадии с учетом разбавления исходной сточной воды составила 99,9 % по значению ХПК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Removal of colorants from wastewater: A review on sources and treatment strategies / K.G. Pavithra, P.S. Kumar, V. Jaikumar, P.S. Rajan // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2019. Vol. 75. P. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.02.011>.
2. Mokif L.A. Removal methods of synthetic dyes from industrial wastewater: a review // Mesopotamia Environmental Journal.

2019. Vol. 5. No 1. P. 23-40. <https://doi.org/10.31759/mej.2019.5.1.0040>.
3. Katheresan V., Kansedo J., Lau S.Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2018. Vol. 6. No 4. P. 4676-4697. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>.
4. A review on recent advances in the treatment of dye-polluted wastewater / M. Shabir, M. Yasin, M. Hussain [et al.] // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2022. Vol. 112. P. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.05.013>.
5. A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater / T. Shindhal, P. Rakholiya, S. Varjani [et al.] // Bioengineered. 2021. Vol. 12. No 1. P. 70-87. <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034>.
6. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater / J. Dotto, M.R. Fagundes-Klen, M.T. Veit [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 208. P. 656-665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>.
7. Verma A.K., Dash R.R., Bhunia P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters // Journal of Environmental Management. 2012. Vol. 93. No 1. P. 154-168. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012>.
8. Ho S. Removal of dyes from wastewater by adsorption onto activated carbon: Mini review // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2020. Vol. 8. No. 5. P. 120-131. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.85008>.
9. A review on activated carbon modifications for the treatment of wastewater containing anionic dyes / K. Azam, N. Shezad, I. Shafiq [et al.] // Chemosphere. 2022. Vol. 306. Article 135566. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135566>.
10. Нестерова Л.А., Кондратюк Л.Н., Сарибеков Г.С. Разработка технологии очистки сточных вод после процесса крашения текстильных материалов активными красителями // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 5. № 6(47). С. 35-37.
11. Moradilamedani P. Recent advances in dye removal from wastewater by membrane technology: a review // Polymer Bulletin. 2022. Vol. 79. No. 4. P. 2603-2631. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03603-2>.
12. Ezugbe E.O., Rathilal S. Membrane technologies in wastewater treatment: a review // Membranes. 2020. Vol. 10. No. 5. Article 89. P. 1-28. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>.
13. Сатыбалдиева Ж.К., Садыгалиева Г.К. Очистка промышленных сточных вод от красителей // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2011. № 1. С. 140-144.
14. Meertens W. Wastewater treatment using a novel combined electro-oxidation, electro-coagulation, and electro-filtration process. A thesis for the degree of master of applied science. Concordia University, Montreal, Canada. 2020. 62 p.
15. Shikuku V.O., Nyairo W.N. Advanced oxidation processes for dye removal from wastewater // Impact of textile dyes on Public Health and the Environment. 2020. P. 205-238.
16. Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater // A. Ahmad, S.H. Mohd-Setapar, C.S. Chuong [et al.] // RSC Advances. 2015. No. 5(39). P. 30801-30818.
17. Ануфриев В.Н. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности // Экология. 2015. № 1(43). С. 87-96.
18. Roy M., Saha R. Dyes and their removal technologies from wastewater: A critical review // Intelligent Environmental Data Monitoring for Pollution Management, (2021). 127-160.
19. Liu X., Wang J. Decolorization and degradation of various dyes and dye-containing wastewater treatment by electron beam radiation technology: an overview // Chemosphere. 2024. Vol. 351. Article 141255. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141255>.
20. Мирзалимова С.А., Киршина Е.Ю., Мухамедиев М.Г. Использование метода электрохимической деструкции для очистки сточных вод от активного красителя Red SPD // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 4. С. 86-99.
21. Электрохимическое окисление красителей на оксидно-свинцовом аноде с участием активных форм кислорода // Г.В. Корниенко, Т.А. Кенова, В.Л. Корниенко [и др.] // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90. № 8. С. 1001-1006.
22. Деструкция красителя дисперсного синего 56 электрокаталитическим и фотокаталитическим методами и обнаружение промежуточных продуктов реакции // H. Zhao, L. Sun, H. Zhong [et al.] // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 8. С. 63-69.
23. Галафеев В.А. Разрушение органических красителей в сточных водах деструктивными методами // Вестник КГТУ им. Н.А. Некрасова. 2007. № 2. С. 13-17.
24. Юсупов А.А., Алибекова М. Характеристики и методы очистки сточных вод текстильной полиграфической и красильной промышленности в городе Андижан // Universum: технические науки. 2024. № 6(123). С. 38-43.
25. Исаев А.Б. & Магомедова А.Г. Новые технологии очистки сточных вод от красителей на основе окислительных процессов // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2022. Т. 63. № 4. С. 247-268.
26. Tehrani-Bagha A.R., Mahmoodi N.M., Menger F.M. Degradation of a persistent organic dye from colored textile wastewater by ozonation // Desalination. 2010. Vol. 260. No 1-3. P. 34-38.
27. Методы удаления пигментов из сточных вод / Д.М. Кадер, Н.В. Алексеева, Б.Г. Ибрахим, Т.В. Саад // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 7. С. 54-64.
28. Nidheesh P.V., Gandhimathi R., Ramesh S.T. Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review // Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20. P. 2099-2132.
29. A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes / M.D.N. Ramos, C.S. Santana, C.C.V. Velloso [et al.] // Process Safety and Environmental Protection. 2021. Vol. 155. P. 366-386.
30. Комарова Л.Ф., Полетаева М.А. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности: учеб. пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2010. 174 с.

Информация об авторах

С. В. Степанова – д.т.н., профессор кафедры «Инженерная экология» Казанского национального исследовательского технологического университета.

И. Г. Шайхиев – д.т.н., профессор кафедры «Инженерная экология» Казанского национального исследовательского технологического университета.

В. А. Сомин – д.т.н., доцент, заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология» Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

Information about the authors

S. V. Stepanova – Doctor of Technical Sciences, Professor - Department of "Engineering Ecology" of Kazan National Research Technological University.

I. G. Shaikhiev - Doctor of Technical Sciences, Professor – Department of "Engineering Ecology" of Kazan National Research Technological University.

V. A. Somin is a Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of UNESCO International Department of Engineering Ecology of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02 мая 2024; одобрена после рецензирования 28 февраля 2025; принята к публикации 05 марта 2025.

The article was received by the editorial board on 02 May 2024; approved after editing on 28 Feb 2025; accepted for publication on 05 Mar 2025.