

С. З. КАЛАЕВА
С. В. ХАТЮШИН
М. А. ЖАРОВ

ОЧИСТКА ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОЖЕВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

PURIFICATION OF HIGHLY CONCENTRATED WASTEWATER FROM TANNERIES

Актуальность проведения исследования обусловлена необходимостью очистки производственных сточных вод, образующихся от обработки шкур животных, до показателей ПДК, позволяющих принимать такие воды в городскую канализационную сеть. В последние годы технологизация производственных процессов кожевенных предприятий претерпела значительные изменения, что привело к образованию сточных вод с более высокими концентрациями загрязняющих показателей, включая хром. Целью исследования является определение эффективности методов и технологии обработки сточных вод кожевенного производства. В работе рассматриваются методы и процессы очистки, позволяющие обеспечить нормативные результаты, а также опыт эксплуатации очистных сооружений предприятий кожевенного производства. Рассмотрен вариант разделения стоков с процесса зольения, с последующим окислением сульфидов перед сбросом в канализационную насосную станцию. Сбор данных производился на кожевенном заводе в г. Ярославле. Изучена технология производства, осуществлялся отбор проб стоков и проводились лабораторные испытания на различных этапах процесса обработки кож. Рассмотрена схема очистных сооружений, выполнен забор проб поступающих стоков на очистку и стоков очищенных вод. Проведён анализ результатов обработки стоков, представлены данные исследования, на их основе сформулированы выводы по результативности применяемого способа обработки сточных вод кожевенного производства.

Ключевые слова: состав сточных вод, технология обработки, окисление сульфидов, биологический метод очистки

Постановка проблемы

Проект стратегии развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года [1] предполагает переход на новую технологическую базу, основанную на развитии малоотходных и безотходных технологических процессов, совершенствовании организации производства и управления, а также экологизацию производства кож

The relevance of the study is due to the need to purify industrial wastewater generated from the treatment of animal skin to the MPC indicators that allow such water to be taken into the city's general sewage network. In recent years, the technology of the production processes of tanneries has undergone significant changes, which has led to the formation of wastewater with higher concentrations of pollutants, including chromium. The purpose of the study is to determine the effectiveness of methods and technology of wastewater treatment of leather production. The paper studies the methods and processes of cleaning, allowing to provide regulatory results, as well as the experience of operating treatment facilities of tanneries. A variant of separation of effluents from the process of ashing, followed by oxidation of sulfides before discharge into the CNS, is considered. Data collection was carried out at a tannery in Yaroslavl. The production technology was studied, wastewater sampling was carried out and laboratory tests were carried out at various stages of the leather processing process. The scheme of treatment facilities is considered, sampling of incoming wastewater for treatment and wastewater of treated waters is carried out. The analysis of the results of wastewater treatment is carried out, the research data are presented, on their basis conclusions are formed on the effectiveness of the applied method of wastewater treatment of leather production.

Keywords: the composition of wastewater, processing technology, oxidation of sulfides, biological method of purification

и применение бесхромовых методов дубления, что должно заметно отразиться на технологии обработки и очистки сточных вод кожевенных предприятий. Наибольший урон экологической составляющей от кожевенного производства наносится от образующихся в значительном количестве сточных вод.

В Российской Федерации на настоящий момент располагается 25 основных предприятий по переработке шкур животных, где для

обработки 1 т сырья (сырых шкур) используется 57–78 м³ воды, расходуется до 400 кг химических материалов и энергии в пределах 40–60 кДж. Наиболее крупные предприятия из списка [2] представлены табл. 1.

Количественный и качественный состав сточных вод кожевенного производства, представляющий собой гетерогенные системы, характеризующиеся дисперсностью, содержащие: белки, жиры, шерсть, грязь, части мездры, а также применяемые химические реагенты, зависит от перерабатываемой продукции, ее выпускаемого ассортимента, технологического процесса (применяемого оборудования, количества стоков на единицу выпускаемой продукции, вида ее переработки), режима работы, что обуславливает необходимость в поиске эффективных методов и технологий обработки. Производственные стоки на предприятии смешиваются с хозяйственно-бытовыми и подвергаются обработке по единой схеме. В табл. 2 представлены обобщённые данные о характе-

ристике сточных вод при различных технологических операциях кожевенных производств.

В настоящее время имеется достаточно исследований в области очистки сточных вод от различных примесей, а также известны и успешно применяются способы биологической очистки производственных загрязнений [3–5]. Для очистки сточных вод кожевенных производств на территории Российской Федерации широкое применение получили схемы, включающие механические способы (процеживание, отстаивание), физико-химические способы (коагуляция, флотация, адсорбционная очистка, ионный обмен, экстракция, обратный осмос и ультрафильтрация) и биологические способы (деятельность многочисленных групп микроорганизмов) очистки.

Полнота изучения микробиологической трансформации металлов и их соединений позволяет продвигать исследования вопроса интенсификации процесса такой очистки от ионов тяжелых металлов, содержащихся в сточ-

Таблица 1. Основные кожевенные заводы с долей выпуска продукции со средним объёмом годового стока

Table 1. The main tanneries with a share of production with an average annual flow volume

Предприятие	Годовой объём выпускаемой продукции, тыс.м ²	Средний годовой объём стока, тыс.м ³
Вяземское кожевенное производство (ООО «ВКП ЛТ»), г. Вязьма Смоленской обл.	До 1 680	420
Рязанский кожевенный завод (Русская кожа), г. Рязань Рязанской обл.	До 8 640	2 165
Ярославский кожевенный завод (АО «Хром»), г. Ярославль Ярославской обл.	До 1 440	294
Талдомский кожевенный завод (ООО Арсенал), п. Северный Московской обл.	До 2 400	600
Рыбинский кожевенный завод (РКЗ), г. Рыбинск Ярославской обл.	До 60	15
Верхневолжский кожевенный завод, г. Осташков Тверской обл.	До 4 800	1 200
Волгоградский кожевенный завод (ООО Шеврет)	До 360	90
Кировский кожевенный завод (ООО Артэкс), г. Киров Кировской обл.	До 144	36
Богородский завод хромовых кож (ООО Караван-СК), г. Богородск Нижегородской обл.	До 840	210
Спасский кожевенный завод НАО, г. Спасск Рязанской обл.	До 1 200	300
Расказовский кожевенный завод, г. Рассказово Тамбовской обл.	До 1 800	450
Чегемский кожевенный завод ОАО (ООО «Кариста»), г. Чегем, Республика Кабардино-Балкария	До 4 200	1 050

ных водах кожевенного производства, а именно соединения хрома двух степеней окисления: Cr (III) и Cr (VI) [6].

Опыт эксплуатации механической очистки на горизонтальном отстойнике стоков кожевенных производств показал, что повышение интенсификации процесса происходит при добавлении коагулянта (сернокислого железа) и показатели очистки от исходных концентраций улучшаются по взвешенным веществам на 63 %, по ХПК на 50 % [7].

Специфика технологии, как показала практика, требует отделения из общего количества стоков, потока после операции зольнения, ввиду содержания в них значительного количества сульфидов до 1, 8 г/дм³, делая такие стоки токсичными. В стоке сульфиды могут находиться в трех различных формах (свободного сероводорода, гидросульфид-ионов и сульфид-ионов), а их соотношение определяется значениями pH. При смещении показателя pH в кислый диапазон содержание свободного сероводорода резко возрастает, а при смещении в щелочной сокращается, что отрицательно влияет на процесс обработки [8].

В целом стоки кожевенных предприятий с точки зрения биохимической очистки можно отнести к разряду тяжелых вод ввиду присутствия в них токсичных веществ высоких концентраций, которые ограничивают жизнедеятельность микроорганизмов. В настоящее время предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в стоках кожевенных заводов территориально различаются и жестко регламентируются (табл. 3).

Состав сточных вод и концентрации загрязнений варьируются в широком диапазоне, что усложняет выбор способов очистки и технологических схем очистных сооружений и их эксплуатацию, поэтому исследования в этой области продолжаются, а разработка новых методов и технологических схем очистки продолжает оставаться весьма актуальной.

Сбор и анализ данных

Объектом исследования является завод по переработке кож шкур крупного рогатого скота (КРС) в Ярославле, на котором производился сбор и анализ данных.

Очистные сооружения завода включают в себя:

- станцию окисления сульфидов из зольного стока;
- канализационную насосную станцию (КНС);
- механическую очистку ступенчатого типа;
- горизонтальный отстойник;

- реагентное хозяйство;
- две ступени биологической очистки;
- камеру осветления (вторичный отстойник);
- станцию переработки осадка.

1. Станция окисления сульфидов из зольного стока

Стоки по канализационной линии отведения сульфидных стоков от 9 барабанов (объем каждого 6,0 м³) оточно-зольного участка самотеком поступают в канализационную насосную станцию. Отсюда в автоматическом режиме происходит перекачка в усредняющую ёмкость объемом 48 м³.

На этой стадии происходит усреднение поступающих стоков и добавление 10 %-го раствора сульфата марганца (MnSO₄). Раствор сульфата марганца поступает в усредняющую ёмкость при помощи насосов-дозаторов. Расход окислителя, используемого в технологии обработки, составляет 3900 кг/год сухого вещества.

Следующим этапом является перекачка стоков из усредняющей ёмкости в два установленных отстойника-окислителя объемом 150 м³ каждый. Перед отстойниками установлены дисковые фильтры, которые удаляют крупные взвешенные вещества из стоков. Процесс окисления в них осуществляется попеременно. Производственные сточные воды поступают в первый отстойник-окислитель, где происходит процесс окисления. На обоих отстойниках установлены датчики уровня, после достижения максимального уровня прекращается подача (перекрывается пережимной клапан) производственных сточных вод в первую ёмкость. После закрытия пережимного клапана на первой ёмкости открывается клапан на транспортировку производственных сточных вод во второй отстойник-окислитель, где все процессы повторяются. После полного удаления сточных вод, прошедших окисление, из первого отстойника и достижения установленного уровня во второй ёмкости происходит удаление окисленных сточных вод из второй ёмкости и набор производственных сточных вод в первую ёмкость.

Процесс аэрации в отстойниках-окислителях осуществляет окисление сульфидов S²⁻ в сульфаты SO₄²⁻. Система подачи воздуха состоит из насосов и труб Венгури, установленных у основания ёмкостей. Аэрация осуществляет непрерывное движение сточных вод, что исключает осаждение осадка во время процесса окисления.

В результате процесса окисления сульфидов S²⁻ в сульфаты SO₄²⁻ выделяется аммиак NH₃, для его удаления установлен газоочистительный комплекс.

Производственные сточные воды сульфидного стока до поступления в усреднитель содер-

Таблица 2. Характеристика технологических сточных вод при различных операциях кожевенного производства [9]
Table 2. Process Waste Water Characteristics in various leather operations [9]

Технологическая операция	pH, ед.	БПК ₅ , г/дм ³	Загрязняющие вещества	Доля сточных вод, %
Отмока	6 – 7	0,5 – 0,7	Хлориды, шерсть, обрезки шкур, мездра, щетина, кровь, растворенные жиры, песок	23
Золение	14	6,3 – 10,9	Известь, сернистый натрий, сульфиды, волосы, растворенные орг. вещества, диметиламин, орг. азот	34
Обеззоливание	6 – 9	1,7 – 3,2	Неорганические вещества, аммонийный азот	23
Дубление хромовое	3 – 6,5	400 – 900	Растворенные органические вещества, соли, оксид хрома	1,5
Дубление растительное	3 – 6,5	400 – 900	Дубильные вещества, фенолы, сульфаты, синтаны, множество видов бактерий	
Крашение	5 – 6	1,7 – 6,0	Полимеры, растворители, ПАВ	18,5

Таблица 3. Региональные ПДК в Российской Федерации и Европейском союзе, мг/дм³ [10]
Table 3. Regional MPC in the Russian Federation and the European Union, mg/dm³ [10]

Показатели качества воды, химические вещества, мг/дм ³	ЕС	Москва	Санкт-Петербург	Ярославль
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Хром (Cr ⁶⁺)	0,1 – 0,5	0,1	0,1	0,07
Хром (Cr ³⁺)	0,5 – 5	1	0,1	0,4
Алюминий (Al ³⁺)	1 – 10	1	–	–
Марганец (Mn)	–	2	0,2	–
Кальций (Ca ²⁺)	–	–	–	150
Жесткость, мг-экв/дм ³	–	–	–	–
Сухой остаток	–	2000	–	–
Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	–	500	250	100
Хлориды (Cl)	–	350	170	300
Нитраты (NO ₃ ⁻)	–	–	23,5	40
Фосфаты (PO ₄ ³⁻)	–	4	1,5	1,6
Эфиروизвлекаемые вещества	–	20	23,1	3
Аммиак и аммонийные соли	–	20	23,1	3
Нефтепродукты	0,1 – 5	4	0,5	0,3
ПАВ (анионные и неионогенные)	–	2,5	2,5	0,9
Жиры	–	20	–	–
Фенолы	–	0,01	–	–
ХПК	150–400	800	270	176
Взвешенные вещества	50 – 60	500	150	103
Сухой остаток	–	–	500	–

жали в своем составе: сульфиды – 666 мг/дм³, Ph – 12,6. После прохождения полного цикла очистки от содержания сульфидов их количественное содержание уменьшается до 0,002 мг/дм³ (норма содержания сульфидов в сточных водах – 1,5 мг/дм³), значение Ph уменьшается до 8,6. Степень очистки составляет 99 %.

Блок-схема станции окисления сульфидов из зольного стока представлена на рис. 1.

2. Общая очистка сточных вод

Перед поступлением производственных стоков на очистку они имеют следующие показатели: рН – 8, 09; количество взвешенных веществ – 1436,3 мг/дм³, общее содержание хрома – 78,13 мг/дм³ (хром 6+ – 3,69 мг/дм³ + хром 3+ – 74,55 мг/дм³); ХПК – 7090,2 мг/дм³. Исходные сточные воды завода с максимальным расходом 1200 м³/сут самотеком поступают в канализационную насосную станцию вертикального исполнения, далее посредством погружных насосов, управляемых частотными преобразователями, подаётся на механическую очистку. Очистка осуществляется на решетках шнекового и ступенчатого типа. Задерживаются плавающие, оседающие и взвешенные вещества в стоках. Образующийся слой из отходов создает дополнительную фильтрацию, задерживая более мелкие фракции. Далее отходы с решеток направляются в сборную ёмкость для осадка. При прохождении сточных вод через решётки происходит добавление в проходящий сток хлорного железа FeCl₃, это необходимо для нейтрализации

запаха от сточных вод. После прохождения механических решёток количество взвешенных веществ уменьшилось практически более чем в два раза и составляет 533,71 мг/дм³, как и ХПК – 3419,35 мг/дм³, а рН – 7,04.

После решеток стоки отправляются самотёком на тонкую механическую очистку в горизонтальные отстойники: общее количество – 4 шт., объем камеры одного отстойника 171 м³, общий объем – 684 м³, общее время пребывания стоков в отстойнике – 16 ч. Происходит разделение. Скопившийся осадок на дне отстойника шнековыми транспортерами собирается в приямок и насосами откачивается в ёмкость для образования осадка (взаимодействие извести и хлорного железа), откуда он направляется на уплотнение и обезвоживание на центрифугах, с его последующим удалением из технологической схемы. Производственные сточные воды далее направляются на первую стадию биологической очистки со следующими показателями: количество взвешенных веществ – 367,33 мг/дм³, ХПК – 755,04 мг/дм³ и рН – 6,88.

Для проведения процесса биологической очистки необходимо соблюдение следующих показателей: содержание взвешенных веществ – в пределах от 150 до 400 мг/дм³, рН – в пределах от 5, 5 до 8, 5. Данное требование выполняется, поэтому дальнейшее проведение биологической очистки является возможным.

Биологическая очистка первого этапа подразделяется на два подэтапа:

1) нитрификация в аэротенке [11] (окисление органических загрязнений активным илом)

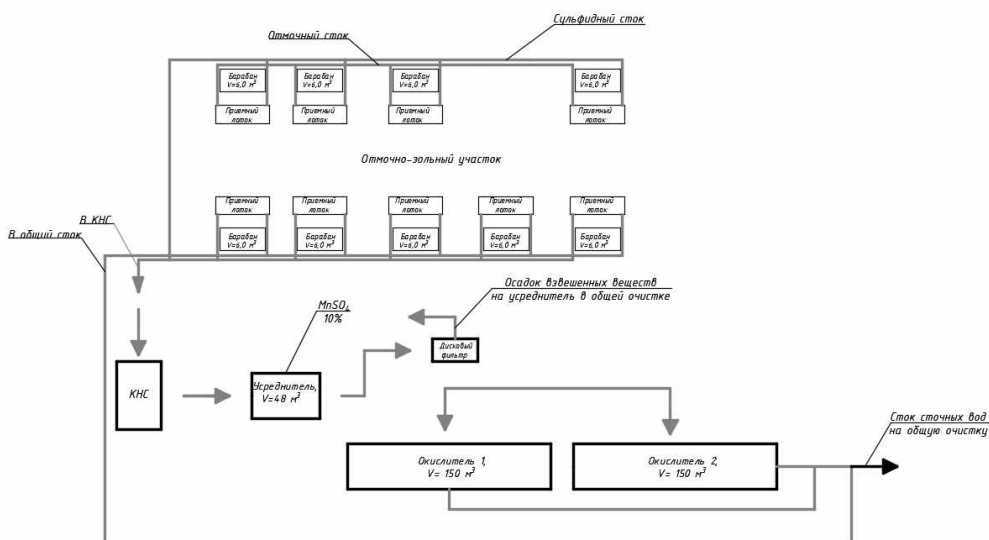


Рис. 1. Блок-схема станции окисления сульфидов из зольного стока
 Fig. 1. Block diagram of the station for oxidation of sulphides from ash effluent

с дальнейшим отделением и рециркуляцией активного ила [12] во вторичном отстойнике (процесс происходит в режиме полного окисления). Воздух в камеру аэротенка подается через мелкопузырчатые аэраторы с помощью воздуходувки. Это обеспечивает концентрацию растворенного кислорода в пределах от 2 до 3 мг/дм³, которая необходима для протекания окисления органики и обеспечения процесса нитрификации;

2) денитрификация – процесс, где производственные сточные воды смешиваются с нитрифицированной иловой смесью [13], рециркуляция которой осуществляется из аэротенка. Для перемешивания в ёмкости денитрификатора используется крупнопузырчатая аэрация, параллельно с этим процессом измельчаются содержащиеся в производственных сточных водах агломерационные хлопья [14].

После прохождения второй ступени процесса биологической очистки сточные воды имеют следующие показатели: рН – 5, 73; ХПК – 3937, 5 мг/дм³; азот – 40, 74 мг/м³; фосфаты – 29, 66 мг/дм³.

Последним этапом общей очистки производственных сточных вод является их прохождение через камеру осветления (вторичный отстойник), где осуществляется их доочистка [15].

После прохождения технологической схемы очистки сточные воды имеют следующий состав: рН – 6,34; взвешенные вещества – 108,75 мг/дм³; ХПК – 178,61 мг/дм³; сульфиды – менее 0,02 мг/дм³; общее содержание хрома – 0,5 мг/дм³ (хром 6+ – 0,08 мг/дм³ + хром 3+ – 0,42 мг/дм³) и направляются в общую канализацию на городские очистные сооружения.

Блок-схема общей очистки сточных вод представлена на рис. 2.

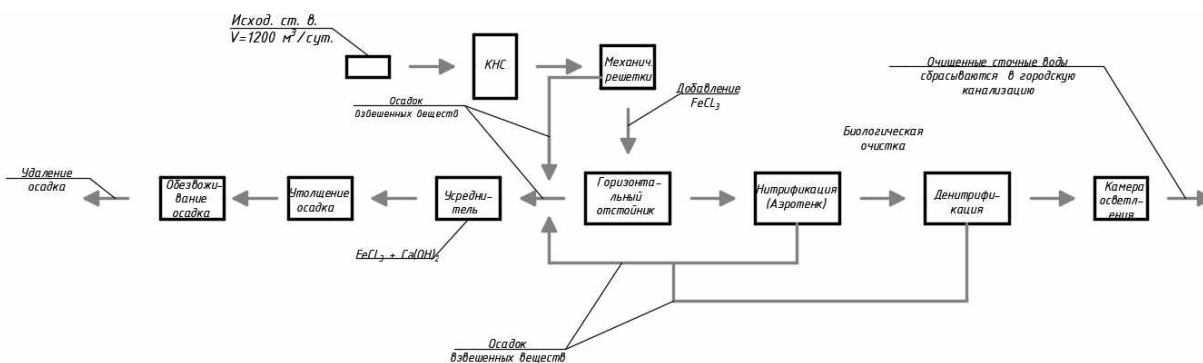


Рис. 2. Блок-схема общей очистки сточных вод
Fig. 2. Block diagram of general wastewater treatment

Выводы. 1. Сточные воды завода по обработке шкур крупного рогатого скота отличаются высоким содержанием органических веществ – ХПК 7090 мг/дм³, БПК_{полн.} – 4254 мг/дм³, взвешенных веществ – 1436 мг/дм³.

2. Технологическая схема очистки сточных вод кожевенного предприятия Ярославля включает механическую очистку на решётках шнекового и ступенчатого типа, двухэтапную биологическую, сульфидную очистку, с завершающим этапом прохождения через камеру осветления (вторичный отстойник, где осуществляется их доочистка) перед сбросом в городской коллектор.

3. Показано эффективное соотношение БПК_{полн.}/ХПК= 528,53/755,04=0, 6, что доказывает целесообразность применения биологической очистки сточных вод. Оптимальный диапазон отношения БПК_{полн.}/ХПК находится в пределах от 0,4 до 0,75.

4. В результате очистки сточных вод образуется большое количество осадков, которые в дан-

ный момент просто вывозятся для утилизации на специальных полигонах для захоронения. Однако возможно использование осадков в качестве добавки в строительные материалы [16], что требует дальнейшей проработки и исследования на конкретной технологической схеме очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс]. URL: <https://minrpp.nso.ru/news/1541> (дата обращения: 09.10.2023).
2. Кожевенные предприятия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.souzkogevnikov.ru/shop/goods/category/8/> (дата обращения: 09.10.2023).
3. Хабибрахманова А.И., Югина Н.А., Хабибрахманов В.З., Михайлова Е.О., Шулаев М.В. Биологическая очистка сточных вод от ионов хрома (VI) с применением биологически активных веществ // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №19. С. 224–224.

4. Стрелков А.К., Степанов С.В., Морозова К.М., Базарова А.О. Результаты применения аэробных термофильных микроорганизмов для очистки сточных вод маслоэкстракционной промышленности // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 40–47. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.6.

5. Стрелков А.К., Базарова А.О., Теплых С.Ю. Очистка сточных вод пищевых производств с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 50–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.08.

6. Климова О.В. Сорбция ионов хрома (VI) углеродным сорбентом // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. №11(70). С. 155–160.

7. Козловская С.Б. Исследование интенсификации процесса очистки городских сточных вод методом реагентной обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Харьков, 1982. 154 с.

8. Разработка проекта по очистке сточных вод кожевенного производства [Электронный ресурс]. URL: https://www.myuniversity.ru/Экология/Разработка_проекта_по_очистке_сточных_вод/167606_2253130_страница3.htm (дата обращения: 09.10.2023).

9. Характеристика технологических сточных вод при различных операциях кожевенного производства [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vo-da.ru/articles/los-kojevnyh-predpriyatij/sostav-stokov> (дата обращения: 09.10.2023).

10. Информационно–технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС40–2021 Дубление, крашение, выделка шкур и кожи [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728318742> (дата обращения: 09.10.2023).

11. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. М.: Стройиздт, 1973. 223 с.

12. Герман Н.В. Получение и применение бактериального биопрепарата для очистки сточных вод кожевенного производства: дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 2016. 131 с.

13. Авдеенков П.П., Чистяков Н.Е. Механизм денитрификации // Наука, техника и образование. 2019. №4(57). С. 19–22.

14. Хуснулина А.Л. Выбор показателей для проверки эффективности очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник науч. трудов. Томск: изд-во ТПУ, 2014. С. 36–38.

15. Сточные воды кожевенного предприятия: проблемы и решения / Б.П. Кондауров, А.А. Захарова, В.И. Александров, Л.Т. Базшиева, В.С. Салтыкова. М.: МГУДТ, 2011. 285 с.

16. Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В. Применение осадков сточных вод в производстве бетона // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 5(81). С. 566–575. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575.

REFERENCES

1. Strategy for the development of light industry in the Russian Federation for the period up to 2025. Available at: <https://minrpp.nso.ru/news/1541> (accessed 09 October 2023).

2. Tanneries. Available at: <https://www.souzkogevnikov.ru/shop/goods/category/8/> (accessed 09 October 2023).

3. Khabibrakhmanova A.I., Yugina N.A., Khabibrakhmanov V.Z., Mikhailova E.O., Shulaev M.V. Biological treatment of wastewater from chromium (VI) ions using biologically active substances. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, no. 19, pp. 224–224. (in Russian)

4. Strelkov A.K., Stepanov S.V., Morozova K.M., Bazarova A.O. Results of the Application of Aerobic Thermophilic Microorganisms for Wastewater Purification of the Oil Extraction Industry. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 40–47. (in Russian) DOI: 10.17673/Vest-nik.2023.02.6

5. Strelkov A.K., Bazarova A.O., Teplykh S.Yu. Treatment of Food Production Waste Water with a High Content of Fats, Petroleum Products and Phenolic Impurities. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 50–55. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.08

6. Klimova O.V. Sorption of chromium (VI) ions by carbon sorbent. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2012, no. 11(70). pp. 155–160. (in Russian)

7. Kozlovskaya S.B. *Issledovanie intensivatsii protsessa ochistki gorodskikh stochnykh vod metodom reagentnoy obrabotki. Cand. Diss.* [Study of intensification of urban wastewater treatment by reagent treatment. Cand. Diss.]. Kharkiv, 1982. 154 p.

8. Development of a project for waste water treatment of leather production. Available at: https://www.myuniversity.ru/Экология/Разработка_проекта_по_очистке_сточных_вод/167606_2253130_страница3.htm (accessed 09 October 2023).

9. Characteristics of process wastewater during various leather production operations. Available at: <https://www.vo-da.ru/articles/los-kojevnyh-predpriyatij/sostav-stokov> (accessed 09 October 2023).

10. Information and technical reference on the best available technologies. ITS40–2021 Tanning, dyeing, dressing of hides and leather. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728318742> (accessed 09 October 2023).

11. Karelin Ya. A., Zhukov D.D., Zhurov V.N., Repin B.N. *Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod v aerotenkakh* [Treatment of industrial wastewater in aeration tanks]. Moscow, Stroyizdat, 1973. 223 p.

12. Herman N.V. *Poluchenie i primeneniye bakterial'nogo biopreparata dlya ochistki stochnykh vod kozhevnnogo proizvodstva. Cand. Diss.* [Production and application of

bacterial biological product for treatment of waste water of leather production. Cand. Diss.]. Volgograd, 2016. 131 p.

13. Avdeenkov P.P., Chistyakov N.E. Denitrification mechanism. *Nauka, tekhnika i obrazovanie* [Science, technology and education], 2019, no. 4(57), pp. 19–22. (in Russian)

14. Khusnulina A.L. Selection of indicators for checking the efficiency of domestic wastewater treatment. *Resursoeffektivnym tekhnologiyam – energiyu i entuziazm molodykh: sbornik nauch. trudov* [Resource-efficient technologies ▪ energy and enthusiasm of young people: collection scientific. Works]. Tomsk, TPU publishing house, 2014, pp. 36–38. (In Russian).

15. Kondaurov B.P., Zakharova A.A., Alexandrov V.I., Bazshieva L.T., Saltykova V.S. *Stochnye vody kozhevennogo predpriyatiya: problemy i resheniya* [Tannery Wastewater: Challenges and Solutions]. Moscow, MGUDT, 2011. 285 p.

16. Chulkova I.L., Smirnova O.E., Krasova A.V. Application of sewage sludge in concrete production. *Vestnik SibADI* [SibADI Bulletin], 2021, vol. 18, no. 5(81), pp. 566–575. (in Russian) DOI: 10.26518/2071-7296• 2021-18• 5-566-575

Об авторах:

КАЛАЕВА Сахиба Зияддиновна

доктор технических наук, доцент,
заведующая кафедрой охраны труда и природы
Ярославский государственный технический
университет
150023, Россия, г. Ярославль, Московский пр., 88
E-mail: kalaevasz@mail.ru

KALAEVA Sahiba Z.

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head
of the Labor and Nature Protection Chair
Yaroslavl State Technical University
150023, Russia, Yaroslavl, Moskovsky pr., 88
E-mail: kalaevasz@mail.ru

ХАТЮШИН Станислав Викторович

старший преподаватель кафедры строительства
зданий и сооружений
Ярославский государственный технический
университет
150023, Россия, г. Ярославль, Московский пр., 88
E-mail: stas_khatyushin_76@vk.com

KHATYUSHIN Stanislav V.

Senior Lecturer of the Construction of Buildings
and Structures Chair
Yaroslavl State Technical University
150023, Russia, Yaroslavl, Moskovsky pr., 88
E-mail: stas_khatyushin_76@vk.com

ЖАРОВ Максим Андреевич

аспирант
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
ассистент кафедры строительства зданий
и сооружений
Ярославский государственный технический
университет
150023, Россия, г. Ярославль, Московский пр., 88
E-mail: mack.jarov2014@yandex.ru

ZHAROV Maxim An.

Postgraduate student
National Research Moscow State University of Civil
Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye sh., 26
Assistant of the Construction of Buildings and Structures
Chair
Yaroslavl State Technical University
150023, Russia, Yaroslavl, Moskovsky pr., 88
E-mail: mack.jarov2014@yandex.ru

Для цитирования: Калаева С.З., Хатюшин С.В., Жаров М.А. Очистка высококонцентрированных сточных вод кожевенных производств // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 2. С. 38–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.06.

For citation: Kalaeva S.Z., Khatyushin S.V., Zharov M.A. Purification of highly concentrated wastewater from tanneries. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 2, pp. 38–45. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.02.06.