

УДК 628.32

**Д. О. Игнаткина, А. А. Геращенко, Д. В. Текушин, В. П. Батманов, Ю. А. Дьякова,
К. И. Ситников**

Волгоградский государственный технический университет

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ОСНОВА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Авторы исследуют задачу создания замкнутой системы водопользования посредством разработки локальных очистных сооружений для производственных сточных вод. В качестве примера по реализации такого технологического решения рассмотрено предприятие пищевой промышленности. Представлены результаты изучения и анализа химического состава загрязнений производственных вод, образующихся на выбранном объекте. Разработана и обоснована теоретически и экспериментально технология локальной очистки сточных вод, включающая механическую и физико-химическую стадии. Описаны основные результаты лабораторных исследований по определению технологических параметров поэтапной очистки промышленных стоков. Предложена комплексная технологическая схема очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений с возможностью реализации замкнутой системы водоснабжения. Внедрение предложенной системы циклического водообеспечения на пищевом предприятии позволяет снизить финансовые затраты на водоснабжение и повысить экологическую устойчивость производства. Представленное в статье исследование вносит значительный вклад в разработку экологически эффективных технологий очистки производственных стоков и может быть адаптировано для применения на предприятиях различных отраслей промышленности, стремящихся к устойчивому использованию водных ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пищевая промышленность, сточные воды, локальная система очистки, механическая очистка, электроокисление, сорбция, замкнутая система водоснабжения.

Вода играет исключительную роль в промышленности, находя применение в самых разных областях: от передачи тепла и охлаждения оборудования до транспортировки веществ и использования в химических реакциях. Как следствие, каждое промышленное предприятие генерирует и утилизирует значительные объемы сточных вод (СВ) каждый год.

Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды — создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения (ОСВ и ЗСВ) предприятий. ОСВ позволяет в 10...50 раз уменьшить потребление природной воды [1—3].

В пищевой индустрии в основном применяют воду, соответствующую питьевому качеству, которая идет на обеспечение производственных процессов (основных и вспомогательных) и удовлетворение бытовых потребностей персонала.

Объемы нормативного потребления воды для производственных нужд определяются особенностями технологического процесса, типом системы водоснабжения, составом воды и другими факторами. На рисунке 1 представлен обобщенный пример водного баланса, характерного для среднестатистического предприятия пищевой промышленности (ППП).

Изучение имеющихся наработок и проектной документации демонстрирует, что организация рентабельных ОСВ на ППП — задача сложная, но выполнимая [4—7].

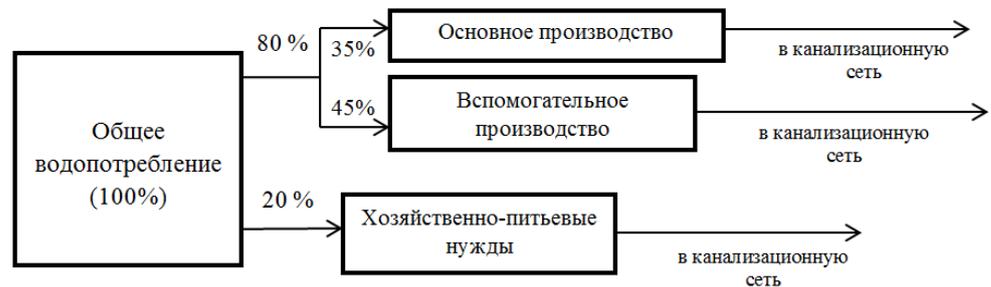


Рис. 1. Усредненная балансовая схема водопотребления на ППП

Решение вопроса использования воды на промышленных объектах по замкнутому циклу неразрывно связано с технологией основного производственного процесса. Необходимо проектировать интегрированную систему водного хозяйства предприятия, охватывающую водоснабжение, канализацию, очистку СВ и их тщательную подготовку с последующей возможностью использования для технического водопотребления. Это позволит полностью исключить сброс некондиционных СВ в природные источники [8—11].

Разработку ЗСВ промышленных предприятий можно осуществлять поэтапно, с постепенным увеличением доли воды, используемой в обороте. Начальным этапом в создании ЗСВ должно быть определение научно обоснованных требований к качеству воды, используемой в технологических процессах и операциях [12—14]. В большинстве случаев для выполнения технологических операций нет необходимости использовать питьевую воду. Однако следует определить показатели воды, оказывающие решающее влияние на качество получаемого продукта, установить их допустимые пределы. Это позволяет создать рациональные системы оборотного использования воды. В качестве примера решения обозначенных выше проблем рассматривается ППП, расположенное на территории РФ — табачная фабрика (ТФ).

Водоснабжение ТФ осуществляется водой питьевого качества, которая используется на хозяйственно-питьевые, бытовые и производственные нужды: на душевые в бытовом помещении, приготовление пищи в столовой, в котельной, в системе теплоснабжения, в лабораториях физического и химического профиля и здравпункте.

Нормативный расход питьевой воды определяется в соответствии с требованиями СП 31.13330.2021¹. Система водоснабжения рассматриваемой ТФ прямоточная с локальным водооборотным циклом, обеспечивающим необходимый температурный режим на воздухоохладительных устройствах кондиционирования с помощью холодильных машин, оснащенных воздушным охлаждением. Исключение составляет система кондиционирования табачного и сигаретного цехов, в которой конденсаторы холодильных машин охлаждаются оборотной водой с помощью вентиляторной градирни. В котельной установлены паровые котлы. Пар используется на технологические нужды, а приготовление горячей воды в пароводяных подогревателях для отопления,

¹ СП 31.13330.2021. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/142012/>.

вентиляции и горячего водоснабжения. Конденсат возвращается для повторного использования и частично потребляется в процессе производства.

Система канализации СВ на рассматриваемом предприятии неполная раздельная — совместная хозяйственно-бытовая с производственной и ливневая. Хозяйственно-бытовые и производственные СВ фабрики по одному выпуску поступают в городскую канализационную сеть.

Потребление воды на технологические нужды основных производств осуществляется в табачном и сигаретном цехах. Вода используется в процессах расщипки исходного сырья, кондиционирования с увлажнением и обработкой паром, а также при соусировании (добавлении ароматических и вкусовых добавок) и для промывки оборудования. Процентное распределение водопотребления и водоотведения, рассматриваемого предприятия в соответствии с балансовой схемой приведено на рис. 2.

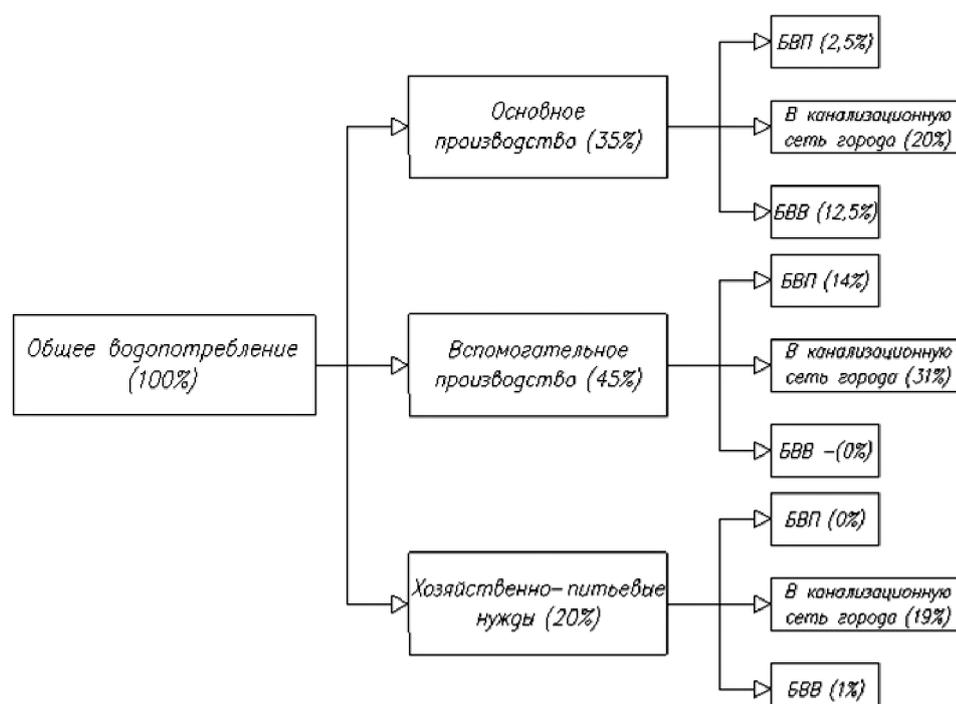


Рис. 2. Годовое распределение водопотребления и водоотведения предприятия табачной индустрии РФ, %

Авторы описывают разработанную ими схему локальной очистки СВ, реализация которой позволяет создать ЗСВ на рассматриваемом предприятии для уменьшения количества используемой воды на нужды основного производства. Данные о водном хозяйстве ТФ (рис. 2) свидетельствуют, что на производственный процесс фабрики используется порядка 35 % воды от общего водопотребления. Сюда входят: безвозвратное водопотребление — 12,5 %, безвозвратные потери — около 2 %. Поэтому объектом исследования являются СВ, образующиеся в процессе производственной деятельности ТФ, которые без предварительной очистки поступают в городскую канализационную сеть (рис. 3).

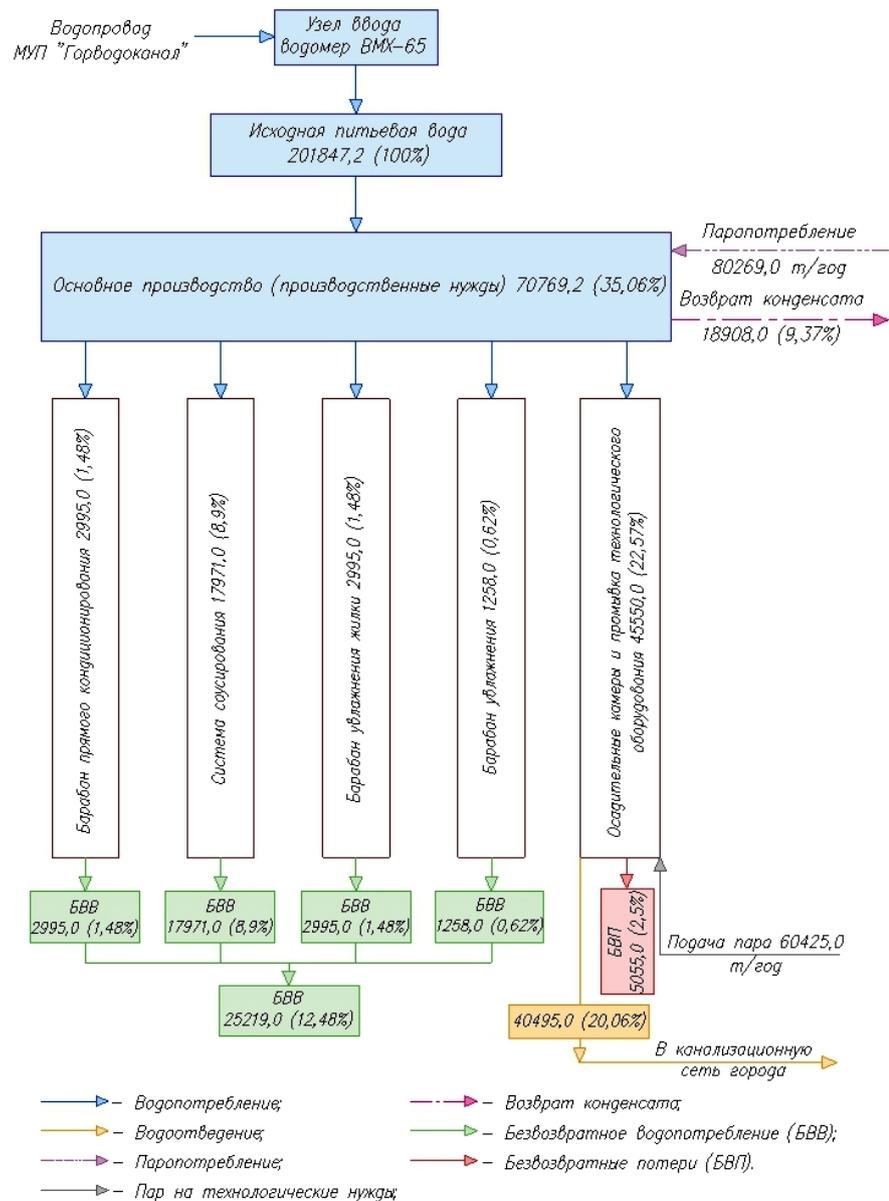


Рис. 3. Балансовая схема водопотребления и водоотведения основного производственного процесса предприятия табачной индустрии РФ, м³/год (%).

Для выявления основных загрязняющих веществ, превышающих допустимые концентрации (постановление правительства РФ от 29.07.2013 № 644²), на первом этапе изучался технологический процесс производства, определялись среднесменные показатели химического состава СВ в контрольном колодце перед выпуском в городскую канализационную сеть

² Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/499036854>.

(табл. 1). Аналитический контроль отбора СВ проводился согласно требованиям ГОСТ Р-51592—2000³ средствами измерений, применяемыми для контрольно-химических анализов.

Таблица 1

Показатели химического состава СВ в контрольном колодце перед выпуском в городскую канализационную сеть

Показатель, мг/дм ³	¹ ДК	² Время отбора проб, часы сут							
		08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
БПК _{полн.} , мг·О ₂ /дм ³	300	<u>830</u>	<u>557</u>	<u>1261</u>	<u>591</u>	<u>716</u>	<u>808</u>	<u>1404</u>	<u>1397</u>
Взвешенные вещества	300	63	37	111	56	130	25	147	87
Железо общее	5	0,21	0,23	0,17	0,19	0,2	0,15	0,18	0,22
АПАВ	10	1,97	0,44	0,69	0,96	0,83	1,5	1,01	1,45
Сульфаты	300	73	75	78	74	72	69	71	74
Сухой остаток	3000	605	703	1139	774	719	716	1824	694
Фосфаты	12	0,6	0,21	1,31	0,85	0,49	0,67	0,38	0,41
ХПК, мг·О ₂ /дм ³	500	<u>1235</u>	<u>848</u>	<u>1723</u>	<u>875</u>	<u>1098</u>	<u>1240</u>	<u>2218</u>	<u>2178</u>
Нефтепродукты	10	0,68	0,76	0,73	0,55	0,81	0,72	0,9	1,2
Жиры	50	9,6	8,35	6,82	2,8	7	8,44	4,6	5,5
Ионы аммония	50	22,2	28,3	<u>54,2</u>	<u>50,2</u>	<u>35,3</u>	<u>29,7</u>	<u>53,2</u>	24
Прокаленный остаток	—	217	220	231	223	219	219	234	223
рН, ед.	6...9	6,13	6,22	5,73	6,58	6,35	5,69	6,37	6,48
		Чистка сигаретного цеха	Чистка и мойка оборудования табачного цеха		Работа оборудования табачного цеха				
		Работа столовой							
		Работа сигаретного цеха							

Примечания. ¹ Нормативы ДК загрязняющих веществ установлены согласно постановлению Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023).

² Отбор проб производился по показаниям счетчика: усредненный расход воды 91 м³ (30 % СВ, на стоки приходится 63,7 м³).

Данные табл. 1 свидетельствуют, что анализируемые стоки имеют многокомпонентный состав, концентрации загрязняющих веществ превышают допустимые значения по следующим основным показателям: БПК_{полн.}, ХПК, взвешенные вещества и соединения азота.

На втором этапе исследований выявлялись основные места образования производственных СВ в технологической цепочке, определялся их химический состав. Результаты количественного химического анализа — места отбора проб загрязненных СВ, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что основная доля загрязняющих веществ образуется в двух производственных цехах:

- в табачном при работе линий ESS и CRES, на которых происходит подготовительный этап обработки исходного сырья (табачной жилки), сопровождающийся такими технологическими операциями, как дробление,

³ ГОСТ Р-51592—2000. Вода. Общие требования к отбору проб. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008006>.

просеивание, очищение от металлических примесей, обработка перегретым паром, расщепление, увлажнение и внесение специальных добавок, улучшающих физические и вкусовые свойства табака;

- в сигаретном, куда полностью подготовленный табак (табачные мешки) транспортерами подается на сигаретные машины для производства табачных изделий.

Таблица 2

Основные места образования производственных СВ в технологической цепочке и их химический состав

Показатель, мг/дм ³	Место отбора проб, категория СВ				
	№ 1, табачный цех, линии ESS и CRES	№ 2, табачный цех	№ 3, сигаретный цех	№ 4, бытовые помещения + лабораторный корпус	№ 5, выпуск стоков
	Производственные	Хозяйственно- бытовые	Производственные	Хозяйственно- бытовые	Смешанные
БПК _{полн} , мг·О ₂ /дм ³	<u>1410</u>	59	<u>543</u>	244	<u>1856</u>
Взвешенные вещества	153	22	242	38	181
Железо общее	0,12	0,18	0,23	0,15	0,2
Жиры	5,7	1,69	2,78	4,3	5,9
Ионы аммония	<u>54,11</u>	8,08	<u>58,35</u>	12,77	<u>52,5</u>
Нефтепродукты	0,59	0,44	0,62	0,42	0,94
АПАВ	23,6	6,4	24,8	30,2	21,8
Фосфаты	< 0,05	0,66	0,85	0,14	0,56
ХПК, мг·О ₂ /дм ³	<u>2455</u>	97	<u>824</u>	373	<u>2830</u>
Хлориды	69	59	64	58	59
Сульфаты	83	71	78	77	75
Сухой остаток	920	160	782	162	834
Прокаленный остаток	250	217	229	220	225
pH, ед.	6,1	7,75	8,8	7,2	6,69

На основании полученных данных на кафедре водоснабжения и водоотведения Волгоградского государственного технического университета проведены исследования с целью разработки комплексной технологии очистки СВ от многокомпонентных загрязнений на примере рассматриваемого предприятия с реализацией ЗСВ.

В качестве основного метода снижения БПК_{полн}, ХПК и содержания соединений азота после предварительной механической очистки производственных стоков ТФ до значений, позволяющих сбрасывать очищенную воду в городскую канализационную сеть, выбрано электрохимическое окисление. Выбор метода обоснован следующими его преимуществами: компактность оборудования; возможность коррекции параметров обработки СВ в зависимости от изменения концентраций загрязнений; простота эксплуатации установок; автономность работы сооружений [4, 14—18]. Доочистку СВ предложено осуществлять сорбционным методом, что позволит повторно использовать очищенную воду на технические нужды предприятия. Эффективность процесса сорбционного извлечения загрязнителей из воды напрямую связана с выбором фильтрующего материала. В этом качестве могут использоваться

активные угли, природные минералы, твердые отходы промышленности, обладающие достаточно развитой пористой структурой [4, 19—21].

Определение рациональных значений технологических параметров проведения совместной электроокислительно-сорбционной обработки, обеспечивающих устойчивый режим очистки воды до предельно допустимых концентраций (ПДК) по указанным ингредиентам, осуществлялось на реальных СВ предприятия табачной индустрии РФ (смешанный сток, см. табл. 2) на пилотной установке разработанного устройства [4, 18, 22] — электролизера-адсорбера (рис. 4).

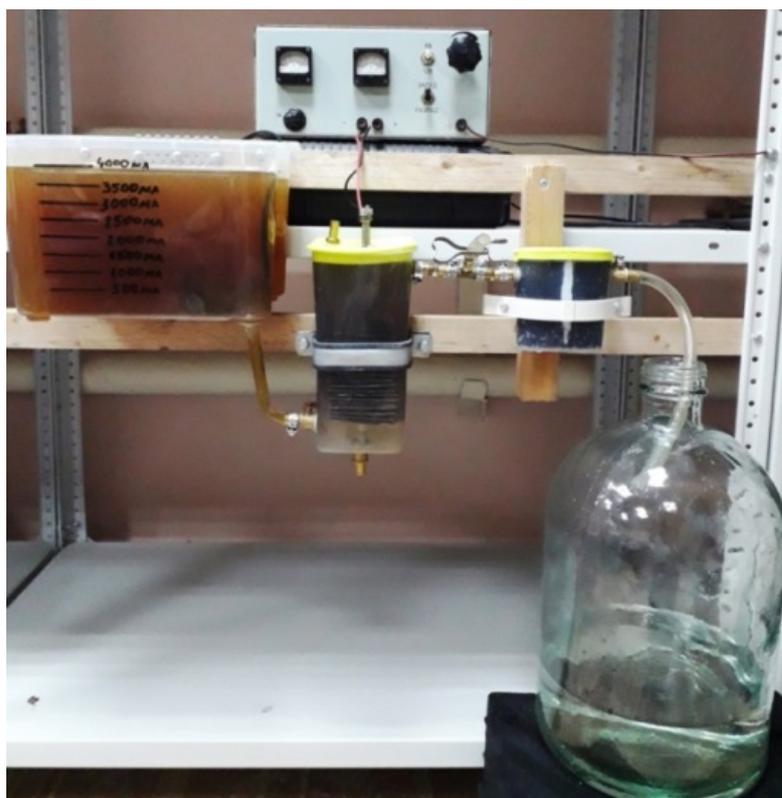


Рис. 4. Пилотная установка электролизера-адсорбера

Результаты по подбору рациональных параметров электроокислительно-сорбционной очистки некондиционных вод ТФ представлены в обобщенном виде в табл. 3 [4, 9, 23, 24].

Принципиальная схема предлагаемой локальной очистки многокомпонентных СВ ТФ, представленная на рис. 5, предусматривает поступление высококонцентрированных производственных СВ (смешанный сток, см. табл. 2) в количестве $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ в накопительную емкость 1, где происходит пневматическое перемешивание жидкости, затем для удаления взвешенных веществ — в вертикальный отстойник 2. В технологической схеме предусмотрен смеситель 3 пневматического типа для введения в очищаемые СВ раствора поваренной соли NaCl (7, 8) для интенсификации последующего этапа электрохимической очистки воды.

Таблица 3

Технологические параметры и эффективность электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства

Технологические параметры электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства			Наименование показателей	Изменение концентраций загрязняющих веществ			***ПДК загрязняющих веществ	
Наименование параметра	Значение	**После отстаивания		После электрохимической обработки	После адсорбера	¹ Канализационная сеть города	² Технические нужды ТФ	
Производительность установки, м ³ /ч	5	Взвешенные вещества, мг/дм ³	87...90	45...51	4...8	300	10	
Температура воды, °С	18...20							
рН	6,5...7,2							
Расход реагента NaCl, г/дм ³	1,5	БПК _{полн} , мг·О ₂ /дм ³	1670...1710	178...184	12...14	300	15	
Материал электродов	катод	нержавеющая сталь ОРТА	ХПК, мг·О ₂ /дм ³	2150...2230	204...215	21...23	500	25
	анод							
Расстояние между электродами, мм	3,5	Жиры, мг/дм ³	3,0...4,5	0,3...0,41	0,05...0,09	50	0,8	
Толщина электродов, мм	4	Ионы аммония, мг/дм ³	32,5...36,8	1,8...2,7	0,5...1,2	50	2	
Время электрообработки t _{об.т.} , мин	15							
Анодная плотность тока i, А/м ²	350	Нефтепродукты, мг/дм ³	0,5...0,71	0,07...0,09	0,02...0,03	10	0,045	
*Режим эксплуатации	непрерывный	АПАВ, мг/дм ³	21,8...24,3	0,9...1,32	0,2...0,34	10	0,5	
Общий расход электроэнергии q, кВт·ч/м ³	3	Фосфаты, мг/дм ³	0,56...0,61	0,4...0,52	0,4...0,52	12	0,8	
		Железо (общ.), мг/дм ³	0,2...0,22	0,09...0,1	0,02...0,05	5	0,3	
Скорость фильтрования v _{ф.} , м/ч	5	Сульфаты, мг/дм ³	75...90	59...65	41...44	300	200	
Суммарная высота фильтрующего слоя h _{ф.} , м	0,8	Активный хлор, мг/дм ³	—	940...1048	38...45	1000	150	
Габаритные размеры, мм			рН	6,7...6,8	6,9...7,2	6,9...7,0	6,5...7,5	
длина	ширина	высота						
1500	1500	2500						

Примечание. * При осуществлении работ по обслуживанию предусматривается переключение на резервную установку.

** Концентрация загрязняющих веществ в исходной воде, принята с учетом предварительной обработки СВ на сооружениях механической очистки.

*** ПДК загрязняющих веществ: ¹ установлены постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023);
² приняты на основании технологического регламента ТФ.

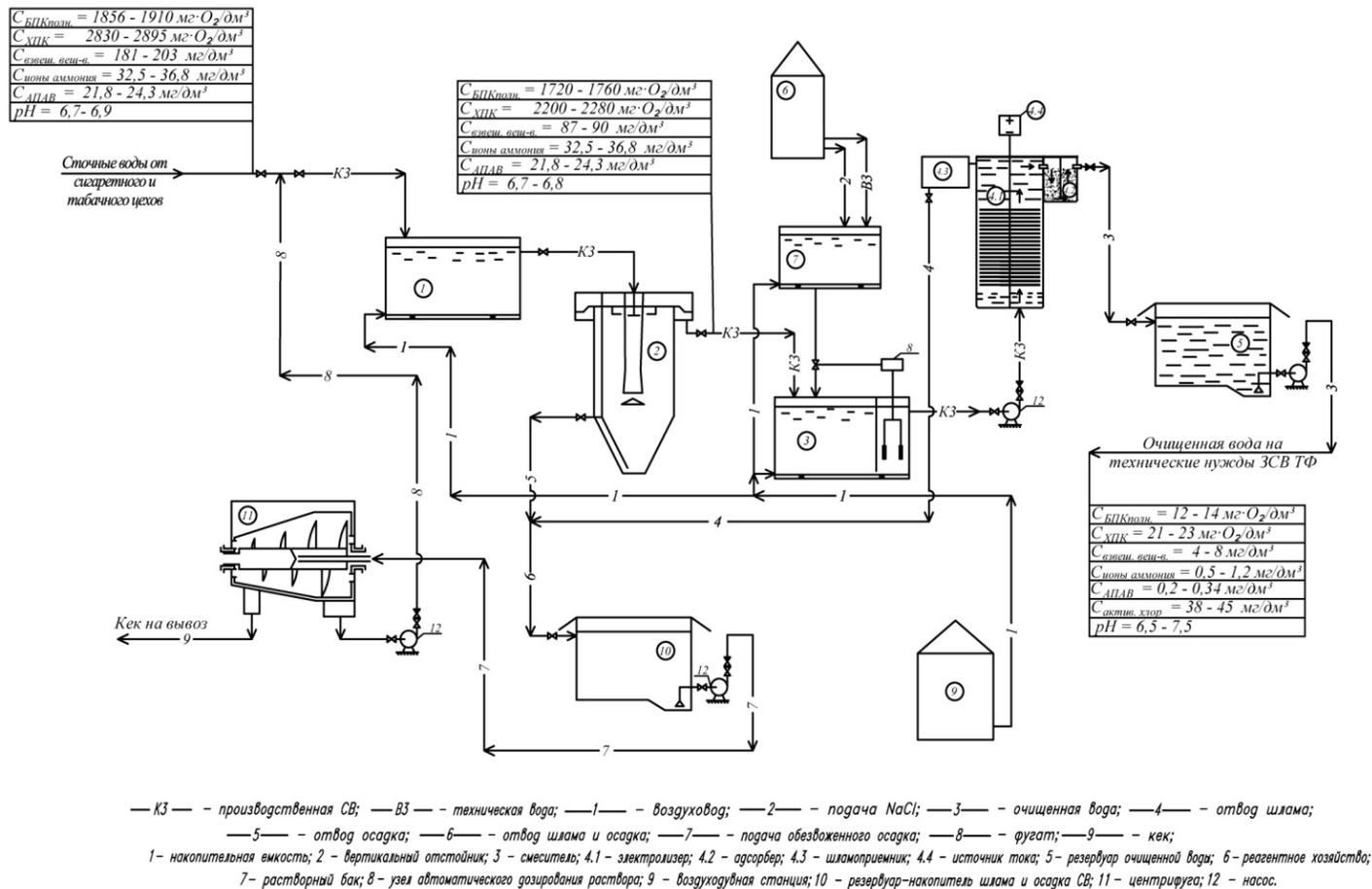


Рис. 5. Технологическая схема очистки СВ предприятия табачной индустрии

После взаимодействия с рабочим раствором NaCl СВ направляется на обработку в электролизеры-адсорберы 4.1, 4.2, 4.3, где происходит окончательная очистка от загрязнений. Очищенная вода поступает в накопительную емкость 5, откуда насосом перекачивается в ЗСВ предприятия в качестве подпиточной воды. Отделенный от СВ осадок и шлам, образующиеся в вертикальном отстойнике 2 и электролизере-адсорбере 4.1, 4.2, 4.3 соответственно, собирается в промежуточном накопителе 10 и по мере его заполнения удаляется и направляется на механическое обезвоживание 11 и дальнейшую утилизацию [4, 25].

На рисунке 6 показаны пробы СВ после каждого этапа обработки (механический, электроокисление, сорбция). Пробы подвергались лабораторным анализам согласно стандартным методикам.



Рис. 6. Результаты отбора проб СВ после каждого этапа очистки:
a — осадок после механической очистки и электроокислительно-сорбционной обработки;
б — после механической очистки; *в* — после электроокисления; *г* — после сорбции

Как видно из табл. 3 и рис. 6, очистка загрязненной жидкости предварительно механическим способом, а затем методом электрохимического окисления в сочетании с сорбционной доочисткой на комбинированном устройстве электролизере-адсорбере при правильно подобранных условиях обработки позволяет повысить качество очищенной воды по БПК_{полн}, ХПК, АПАВ, азотсодержащим и взвешенным веществам, а также хлорид-ионам до требуемых нормативов. Это позволяет сбрасывать очищенные СВ в городскую канализационную сеть или использовать повторно на технические нужды предприятия. Результат достигается за счет электрохимического окисления сложных органических соединений, под действием электрического тока подвергающихся деструкции и переходящих в более простые вещества, удаление которых происходит в двухкамерном адсорбере.

Выводы

Авторам удалось успешно решить заявленные задачи по достижению нормативов ДК с целью реализации ЗСВ и предотвращения сброса СВ

в канализационную сеть города на примере одного из предприятий пищевой промышленности, кроме того:

1) изучен химический состав загрязнений СВ, образующихся на предприятии табачной индустрии РФ;

2) теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность предлагаемого способа очистки СВ предприятия табачной промышленности, включающего безреагентное отстаивание и последующую двухстадийную физико-химическую обработку электроокислением и сорбцией;

3) проведены лабораторные исследования на пилотной установке электролизера-адсорбера для отработки совместной электроокислительно-сорбционной технологии очистки СВ, что позволило определить оптимальные значения технологических параметров проведения очистки для достижения ДК по основным загрязняющим компонентам;

4) разработана технологическая схема очистки многокомпонентных СВ для предприятий табачной индустрии, позволяющая реализовать ЗСВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эколого-экономическая эффективность применения локальной системы очистки сточных вод на промышленных предприятиях / Д. О. Игнаткина, А. А. Геращенко, А. П. Поздняков, А. В. Дорочинская, В. В. Шмарова, М. В. Тарасов, А. П. Губаревич // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 1(94). С. 151—162.

2. *Василенко Л. В., Никифоров А. Ф., Лобухина Т. В.* Методы очистки промышленных сточных вод. Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2009. 174 с.

3. *Гандурина Л. В., Фомичева Е. В.* Интенсификация физико-химической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 5. С. 17—20.

4. *Игнаткина Д. О.* Разработка технологии очистки многокомпонентных сточных вод предприятия табачной промышленности: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.04. Пенза, 2019. 24 с.

5. *Аксенов В. И., Мигалатий Е. В., Никифоров А. Ф.* Очистка природных и сточных вод = Water and waste water treatment : учеб. пособие. Ч. 1. Тамбов : Изд-во ИП Чесноков А. В., 2011. 167 с.

6. *Алексеев А. И., Валов М. Ю., Юзвяк З. Е.* Критерии качества водных систем : учеб. пособие. СПб. : Химиздат, 2002. 212 с.

7. *Ксенофонтов Б. С., Москалев С. В., Дулина Л. А.* Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности от поверхностно-активных веществ // «Вода: Экология и технология» — ЭВАТЭК-2004. Ч. 2. Коломна, 2004. С. 696—697.

8. *Маркитанова Л. И., Кисс В. В., Каверзнева Т. Т.* Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности : учеб. пособие. СПб. : СПбГУНиПТ, 2006. 134 с.

9. Выбор оптимальной технологии локальной очистки сточных вод на примере предприятия табачной промышленности / Д. О. Игнаткина, А. А. Геращенко, А. П. Поздняков, Е. В. Федулова, Д. В. Котломина, Ю. Ю. Юрьев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 2(83). С. 84—96.

10. Очистка промышленных сточных вод с использованием многоцелевых инженерно-технических устройств / Д. О. Игнаткина, Е. В. Москвичева, Ю. Ю. Юрьев, И. М. Шевцова, В. С. Телятникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 61—72.

11. *Tay J. H., Jeyaseelan S.* Membrane filtration for reuse of waste water from beverage industry // Resources Conservation & Recycling. 1995. Vol. 15. Iss. 1. Pp. 33—40.

12. *Saravacos G. D., Iredale H. D.* Physical treatments of food processing waste waters // Food and Life Science Bulletin. 1971. Vol. 12. Pp. 1—5.

13. Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, В. А. Коробков, А. В. Щербаков,

Л. В. Олефиренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 2(75). С. 140—148.

14. Перспективы использования электрохимических способов очистки сточных вод для достижения различных нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ / Д. О. Игнаткина, А. В. Москвичева, А. А. Геращенко, В. С. Телятникова, А. Ю. Гильгенберг, Д. В. Котломина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 3(84). С. 46—60.

15. *Bressan M.* Improved combined chemical and biological treatments of olive oil mill wastewaters // *Journal of Agricultural & Food Chemistry.* 2004. Vol. 52. Iss. 5. Pp. 1228—1233.

16. *Ignatkina D. O., Shevtsova I. M., Telyatnikova V. S., Kotlumina D. V.* Theoretical and practical aspects of the waste water electrochemical purification method's applicability // *IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development».* 2021. Vol. 281. 8 p. URL: https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf_catpid2021_09020/e3sconf_catpid2021_09020.html.

17. Теоретическое обоснование применимости электрохимического метода обработки сточных вод для предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина, А. П. Поздняков, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Войтюк // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 88—96.

18. *Войтюк А. А., Игнаткина Д. О., Москвичева А. В.* Устройство для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений для промышленных предприятий : полезная модель 198750, Российская Федерация, МПК C02F 9/06. 2020.

19. *Jacques F.* Physical adsorption: experiment, theory and applications. Springer, 1997. 619 p.

20. *Jozsef T.* Adsorption: Theory, Modelin, and analysis. CRCPres, 2002. 904 p.

21. *Игнаткина Д. О., Войтюк А. А., Геращенко А. А., Салеева В. И.* Экспериментальная оценка эффективности адсорбции многокомпонентных загрязнений с использованием органо-бентонитового сорбента // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия.* 2020. № 4(34). С. 28—33.

22. *Москвичева А. В., Игнаткина Д. О., Москвичева Е. В., Лебедев Д. Н.* A combination machine for industrial wastewater purification // *The International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development”.* 2019. Vol. 698. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055037.

23. *Игнаткина Д.О., Москвичева Е. В., Войтюк А. А.* Composite Sorbent Filter Material on the Basis of Man-Caused and Minerals // *Materials Science Forum.* 2019. Vol. 945. Pp. 983—987. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.

24. *Игнаткина Д. О., Юрьев Ю. Ю., Москвичева Е. В., Геращенко А. А.* Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности: монография. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2021. 135 с.

25. *Игнаткина Д. О., Войтюк А. А., Москвичева А. В.* Способ очистки многокомпонентных сточных вод : патент 2753906, Российская Федерация, МПК C02F 9/06; ВолгГТУ. 2021.

© *Игнаткина Д. О., Геращенко А. А., Текушин Д. В., Батманов В. П., Дьякова Ю. А., Ситников К. И., 2025*

Поступила в редакцию
18.04.2025

Ссылка для цитирования:

Реализация замкнутой системы водоснабжения промышленного предприятия как основа ресурсосбережения / Д. О. Игнаткина, А. А. Геращенко, Д. В. Текушин, В. П. Батманов, Ю. А. Дьякова, К. И. Ситников // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 113—126. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_113.

Об авторах:

Игнаткина Дарья Олеговна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; viv_vgasu@mail.ru

Герашенко Алла Анатольевна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Текушин Дмитрий Вячеславович — доц. каф. пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; pb_i_zchs@vgasu.ru

Батманов Виктор Павлович — д-р мед. наук, проф., проф. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Дьякова Юлия Анатольевна — магистрант каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Ситников Кирилл Игоревич — магистрант каф. водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Darya O. Ignatkina, Alla A. Geraschenko, Dmitry V. Tekushin, Victor P. Batmanov, Julia A. Dyakova, Kirill I. Sitnikov

Volgograd State Technical University

REALIZATION OF A CLOSED-LOOP WATER SUPPLY SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE — AS A BASIS FOR RESOURCE SAVING

In this article the authors investigate the actual problem of creating a closed system of water use through the development of local treatment facilities for industrial wastewater. The food industry enterprise is considered as an example for the realization of such a technological solution. The results of research aimed at studying and analyzing the chemical composition of contaminants of production water generated at the selected facility are presented. The technology of local wastewater treatment including mechanical and physical-chemical stages is developed and substantiated, both theoretically and experimentally. The main results of laboratory studies devoted to the determination of technological parameters of stage-by-stage treatment of industrial wastewater are described. A complex technological scheme of wastewater treatment from multicomponent contaminants with the possibility of realizing a closed-loop water supply system is proposed. Implementation of the proposed system of cyclic water supply at a food enterprise allows not only to reduce financial costs for water supply, but also to increase the environmental sustainability of production. The research presented in the article makes a significant contribution to the development of environmentally effective technologies for the treatment of industrial effluents and can be adapted for application at enterprises of various industries seeking to sustainable use of water resources and reduce the negative impact on the environment.

Key words: food industry, wastewater, local treatment system, mechanical treatment, electro-oxidation, sorption, closed water supply system.

For citation:

Ignatkina D. O., Geraschenko A. A., Tekushin D. V., Batmanov V. P., Dyakova Ju. A., Sitnikov K. I. [Realization of a closed-loop water supply system of an industrial enterprise — as a basis for resource saving]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 113—126. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_113.

About authors:

Darya O. Ignatkina — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; viv_vgasu@mail.ru

Alla A. Geraschenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Dmitry V. Tekushin — Docent of Fire Safety and Protection in Emergency Situations Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pb_i_zchs@vgasu.ru

Victor P. Batmanov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Julia A. Dyakova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Kirill I. Sitnikov — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation