

активированного алюмосиликатного адсорбента: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» / В.М. Медведева. – СПб: ПГУПС, 2008. – 20 с.

8. *Карагяур А.С.* Теоретическое обоснование усовершенствования сорбционной очистки воды / А. Карагяур // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, 2013. – Vol. 15. – P. 35-42.

9. *Карагяур А.С.* Математическая модель очистки воды адсорбцией в центробежном поле / А.С. Карагяур // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – № 2(80). – С. 197-201.

10. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии: [уч. для вузов] / А.Г. Касаткин. – [10-е изд. стереотип., доработ]. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

11. *Алтынбеков Р.Ф.* Расчет адсорбера с неподвижным слоем адсорбента для очистки нефтесодержащих сточных вод / Р.Ф. Алтынбеков // Наука и образование Южного Казахстана. – 2009. – С. 72-76.

Надійшло до редакції 13.11.2015

УДК 628.17

С.М. ЭПОЯН, доктор технических наук,
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
С.И. МОВЧАН, кандидат технических наук,
Таврический государственный агротехнологический университет
(г. Мелитополь)

МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Розглянуто технічні вирішення з очищення стічних вод промислових підприємств в системах виробничого водопостачання, що дозволяють підвищити надійність їх роботи. Основними напрямками підвищення рівня інтенсифікації систем оборотного водопостачання передбачається підвищення ступеню очищення стічних вод з використанням реагентів та впровадження еколого-безпечних способів перероблення рідких відходів промислового виробництва.

Ключові слова: виробниче водопостачання, оборотне водопостачання, очищення стічних вод, прямоочні, послідовні, оборотні та комбіновані системи.

Рассмотрены технические решения очистки сточных вод промышленных предприятий в системах производственного водоснабжения, которые позволяют повысить надёжность их работы.

Основными направлениями повышения эффективности работы систем оборотного водоснабжения предусматривается увеличение степени очистки сточных вод с использованием реагентов и внедрение эколого-безопасных способов переработки жидких отходов промышленного производства.

Ключевые слова: производственное водоснабжение, оборотное водоснабжение, очистка сточных вод, прямоточные, последовательные, оборотные и комбинированные системы.

Engineering solutions for the purification of industrial wastewater in the systems of the recycling water supply are presented. The solutions enable to increase the systems dependability. The main directions for improvement of water recycling systems intensification are provided. They are the increase of the degree of waste water purification by means of the reagents application and introduction of the environmentally friendly ways for industrial waste processing.

Key words: industrial water supply, recycling water supply, purification of wastewater, once-through, serial, circulating, combined water supply systems.

Введение. Интенсификация и эффективность работы систем водообеспечения является одной из важнейших проблем, которая стоит перед водохозяйственным комплексом нашей страны. Одним из основных вопросов эксплуатации систем водоснабжения является рациональное использование водных ресурсов, решаемое за счёт технологических, энергетических и экономических мероприятий. При проектировании и эксплуатации систем производственного водоснабжения главная роль отводится методам и сооружениям, ориентированным на повышение эффективности обработки и повторного использования сточных вод [1, 20].

В структуре промышленного производства системы оборотного (рационального, замкнутого, повторного) использования воды играют важную роль. Об этом свидетельствуют объёмы стоков, направляемых на обработку.

За последние 10-12 лет объём сточных вод, образующихся на промышленных предприятиях уменьшился с 400 млн. м³/год. до 290 млн. м³/год. [2, 17]. И если ранее значительные объёмы сточных вод обрабатывались и находились в системах водоснабжения крупных предприятий, то в последнее время небольшие, локальные схемы обработки и повторного использования очищенной воды находят широкое применение на небольших производствах.

Поэтому разработка и усовершенствование локальных схем в системах оборотного водоснабжения является актуальной и важной хозяйственной задачей для водохозяйственного комплекса страны.

Характеристика систем производственного водоснабжения. Системы водоснабжения промышленных предприятий выполняют несколько основных функций: непосредственно технологические операции, связанные с использованием воды в оборотном водоснабжении отдельных участков и всего производства; обеспечение экологической безопасности при

использовании воды и соблюдение технологического регламента производства; использование энергосберегающих технологий, эффективных способов и методов обработки сточных вод и образующихся отходов промышленного производства.

При очистке сточных вод на промышленных предприятиях используются прямоточные, последовательные, оборотные и комбинированные системы [1, 22; 3, 27].

Проведенный анализ работы систем производственного водоснабжения промышленных предприятий позволяет обобщить материал в виде классификации, приведенной на рис. 1 [3, 27; 4, 10].

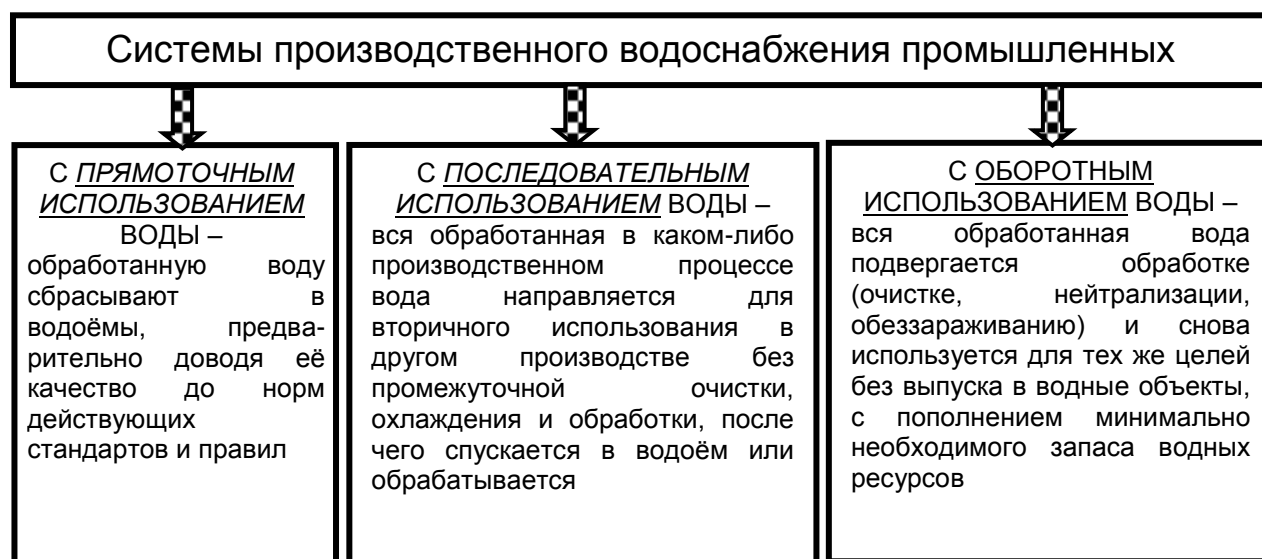


Рис. 1. Виды систем производственного водоснабжения промышленных предприятий

В представленной классификации наглядно видно основные формы организации использования воды в системах производственного водоснабжения промышленных предприятий.

Внедрение на предприятиях оборотного водоснабжения в виде циклов многократного использования технологических растворов и сточных вод отдельных установок приводит к уменьшению, как общего объёма сточных вод, так и сбрасывания отдельных загрязняющих компонентов.

Использование одной из разработанных технологических схем в оборотных циклах промышленных предприятий в полной мере решает поставленные технические задачи, определяющие уровень интенсификации работы систем оборотного водоснабжения.

Эффективность работы систем оборотного водоснабжения. Эффективность использования водных ресурсов характеризуется следующими основными критериями: удельным использованием воды на производство единицы продукции; количеством воды, находящейся в системе оборотного водоснабжения; использованием свежей воды; количеством сточных вод, которые приходят на очистку; общими объёмами

сточных вод, сбрасываемых в водные объекты; условным количеством сбрасываемых загрязнений в стоках и др. [5, 25].

Одним из критериев определения эффективности работы систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий является коэффициент использования воды. На предприятиях с передовой технологией коэффициент использования воды в системах оборотного водоснабжения находится в пределах: $K = 0,85 \dots 0,95$ [3, 30].

Техническое совершенство систем водоснабжения оценивают за относительными объёмами рационального использования оборотной воды ($P_{\text{ОБ}}, \%$), которая забирается с источника водоснабжения, коэффициентом использования ($K_{\text{И}}$) и расходом воды ($P_{\text{ЗТ}}$) на технологические операции [4, 33].

Характеристика состава сточных вод и предлагаемые технические решения. Анализ работы систем водоснабжения, рационального использования водных ресурсов и обеспечение экологической безопасности водных объектов позволил определить их значение для водохозяйственного комплекса страны. Разработка эффективных и надёжных технических решений интенсификации работы систем оборотного водоснабжения определяет актуальность данного направления исследований.

Показатели загрязнений на входе на очистные сооружения характеризуются широким спектром и разнообразием компонентов, которые необходимо обработать, нейтрализовать или извлечь.

В сточных водах станкостроительного завода «23 Октября», образующихся при обработке металлов резанием в литейном производстве находятся механические примеси, нефтепродукты и другие загрязнители. В их составе преобладают ионы тяжёлых металлов: Cr^{6+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} с общей концентрацией более 350 мг/л. Для обработки образующихся стоков используется оборудование электрохимической очистки сточных вод. Аппарат для очистки СВ от ионов тяжёлых металлов производительностью 1...2 м³/ч позволяет производить очистку от ионов тяжёлых металлов на уровне 98-99,5%, а органических примесей – 99...99,5% [5, 23].

Нефтепродукты составляют большую часть в сточных водах ПО «Жатка», их средний состав находится на уровне 150-200 мг/л. Кроме того, характерной особенностью сточных вод этого предприятия является повышенная жёсткость воды, используемая в технологических операциях, для которой эта величина находится на уровне 28...31 мг-экв/л. Для их обработки разработана локальная схема. Вертикальный многокамерный аппарат электрохимической регенерации отработанных моющих растворов производительностью 4 м³/ч используется для очистки от фторидов, нефтепродуктов и взвешенных веществ, тяжёлых металлов Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} с эффективностью их обезвреживания 99,0...99,5% [6, 25].

В сточных водах завода «Авангард» преобладают ионы тяжёлых металлов с повышенной концентрацией. Например, ионы хрома (VI)

находятся в пределах 300...350 кг/м³, меди (II) – 300...350 кг/м³, железа (III) – 300...350 кг/м³. Для их обработки используется замкнутая система оборотного водоснабжения с колонным электрофлотокоагулятором. Радиальный многокамерный аппарат производительностью 6 м³/ч используется как для очистки сточных вод (нефтепродуктов, взвешенных веществ ионов Fe³⁺ и Mg²⁺ на уровне 98,0...99,0%) так и для обработки природной воды (при изменении мутности и цвета) [7, 18].

Для обработки сточных вод Пологовского металлоштамповочного завода используется технологическая схема обезвреживания стоков металлоштамповочного завода. Локальная схема электрохимической регенерации отработанных растворов, производительностью 2...4 м³/ч позволяет производить очистку стоков с высокими начальными содержанием взвешенных веществ (200-310 мг/л), эмульгированного масла (70-120 мг/л) и ионов тяжёлых металлов Al³⁺ = 15...45 мг/дм³. Показатель кислотности концентрированных сточных вод находится в пределах pH = 6,1...6,8 и в процессе обработки стоков будет увеличиваться [8, 14].

В стоках, образующихся в пределах Чертковского РМЗ, присутствует широкий спектр загрязнений. Содержание нефтепродуктов становится 187,0 мг/л, взвешенных веществ 297,75 мг/л, ионов тяжёлых металлов (Fe³⁺ = 77,25 мг/л, Ni²⁺ = 43,50 мг/л). Локальная схема обезвреживания отработанных моющих растворов использует горизонтальный многокамерный аппарат производительностью 8 м³/ч для обработки от эфиррастворённых и взвешенных веществ, а также ионов тяжёлых металлов Zn²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ с эффективностью 99,0...99,5% [9, 32].

В сточных водах Симферопольского РМЗ преобладают масла, нефтепродукты и др. вредные компоненты. Для обработки стоков, содержащих нефтепродукты в пределах от 200...220 кг/м³ до 380...400 кг/м³, используется колонный электрофлотокоагулятор производительностью 1 м³/ч. Эффективность обработки от нефтепродуктов составляет 98,0...99,0%, а ионов Cr³⁺ и Fe³⁺ на уровне 99,0...99,5% [10, 34].

Сточные воды гальванического производства Новоград-Волынского РМЗ отводятся по трём канализационным линиям: промывных, концентрированных (кислых) и концентрированных (щелочных) растворов, которые поступают из подземного трёхсекционного усреднителя сборника стоков. Согласно технологической схеме обработки гальванических стоков промывная вода расходом 22 м³/ч, содержащая ионы тяжёлых металлов: Cr⁶⁺, Cr³⁺, Zn²⁺, Fe³⁺ и Cu²⁺ направляется на очистку, вначале происходит разделение стоков и далее на технологическую линию обработки каждого вида стоков. Замкнутая схема очистки гальванических стоков электрофлототоагулятором производительностью 1...10 м³/ч, при концентрации ионов тяжёлых металлов 300...400 мг/л, позволяет достичь эффективности их обезвреживания на уровне 99,5...99,8%. При концентрации Cr³⁺ (до 130 мг/дм³), Fe³⁺ (до 130 мг/дм³) и Cu²⁺ (до 80 мг/дм³) эффективность их обработки составляет 98,0...99,0% [11, 26].

Предлагаемые технические решения. Очистка сточных вод промышленных предприятий – сложный технологический процесс, позволяющий решать задачи, связанные с очисткой стоков, обезвреживанием вредных веществ, извлечением ценных компонентов с высокими начальными концентрациями. Решение по одному из выбранных направлений позволяет решать и организационно–экономические задачи.

Разработанное технологическое оборудование обработки сточных вод позволяет обрабатывать сточные воды гальванических отделений с высокими начальными концентрациями: хрома (VI) 300...350 г/дм³; меди (II) 100...150 г/дм³; железа (III) 180...200 г/дм³; хрома (III) 80...100 г/дм³. Производительность водоочистного оборудования находится в пределах от 1 до 10 м³/ч. Эффективность обработки сточных вод по основным загрязнениям находится на уровне 99,0...99,5% [12, 29].

Кроме технических решений, позволяющих поднять уровень интенсификации работы систем оборотного водоснабжения, рассмотрены направления, определенные тематикой исследований.

Для повышения интенсификации работы систем оборотного водоснабжения рассматриваются составляющие этих систем: при обработке сточных вод с использованием реагентов, оптических систем контроля и обработки отходов гальванического производства [13, 158].

Усовершенствование обработки сточных вод с использованием реагентов рассмотрено в работе [14, 101]. Использование химических компонентов отработанных моющих растворов позволяет решить комплекс задач технического, технологического и эколого-экономического плана.

Использование отходов гальванического производства, рассматриваемые в работе [15, 288], в которой предлагается технология позволяющая использовать жидкие отходы в качестве добавок к строительным материалам.

Важным инструментом, позволяющим повысить эффективность работы систем очистки промышленного производства, является контроль отдельных параметров, который рассматривали в работе [16, 147]. Определение отдельных параметров частиц водных растворов является основой для усовершенствования методов управления системами оборотного водоснабжения.

Ещё одним направлением интенсификации очистки сточных вод является моделирование процессов, позволяющее определить важные и значимые факторы, рассматриваемые в работе [17, 135].

Основные выводы. Анализ современного состояния работы водоочистного оборудования позволил сформировать общий подход к работе систем очистки сточных вод, входящих в замкнутые циклы промышленных предприятий разного профиля.

1. Разработанное и внедрённое в работу систем оборотного водоснабжения технологическое оборудование позволяет производить обработку сточных вод с высокими начальными концентрациями (Cr^{6+} до 350 мг/дм³, Cr^{3+} до 100 мг/дм³, Cu^{2+} до 150 мг/дм³, Fe^{3+} до 200 мг/дм³).

2. Производительность водоочистного оборудования находится в пределах от 1 до 10 м³/ч, что обеспечивает надёжность принятых технических решений, эффективность обработки стоков и сравнительно невысокую стоимость очистки одного метра кубического.

3. Использование в системах оборотного водоснабжения разработанных технических решений позволяет решить не только чисто технические задачи, но и обеспечить экологическую безопасность водных объектов. Это решается за счёт повышения эффективности обработки сточных вод, уменьшения использования чистой воды в промышленном производстве и сокращения объёмов сбрасываемых отходов, образующихся в процессах обработки стоков.

Список литературы

1. *Водоотводящие* системы промышленных предприятий: Учеб. для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; Под ред. С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.

2. *Филипчук В.Л.* Природоохоронні системи очистки та використання багатоконпонентних стічних вод із важкими металами: Автореф. дис. докт. техн. наук: 21.06.01 – екологічна безпека / Віктор Леонідович Филипчук. – Донецьк, 2008. – 35 с.

3. *Проскураков В.А.* Очистка сточных вод в химической промышленности / В.А. Проскураков, Л.И. Шмидт. Л.: Химия, 1977. – 464 с.

4. *Запольський А.К.* Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод/ А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздяк, Т.В. Князькова. За заг. ред. проф. А.К. Запольського. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

5. *Разработка* и исследование технологии очистки промстоков площадки «Станкостроительного завода им. 23 Октября» (Промежуточный этап): отчет по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва; руководитель Н. И. Бунин. – 05 X – 90; № 01860043979; Инв. № 02910043096. – Мелитополь, 1990. – 34 с.

6. *Исследование* локальных систем электрохимических способов очистки промстоков на Бердянском ПО «Жатка»: отчет по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва; руководитель Н.И. Бунин. – 0293 – X; № 01880067562; Инв. № 02880025684. – Мелитополь, 1988. – 64 с.

7. *Разработка* и исследование электрокоагулятора для очистки гальваностоков: отчет по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва: Руководитель А.Д. Савченко. – № 0186013584; Инв. № 02870053536. – Мелитополь, 1986. – 103 с.

8. *Разработка* конструкции установки по очистке стоков вод металлоштамповочного завода (г. Пологи, Запорожской обл.): отчёт по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва; руководитель Н.И. Бунин. – Мелитополь. – 1989. – 20 с.

9. *Разработка* и исследование методов регенерации моющих растворов с применением электрохимических воздействий на Чортковском ремонтно-механическом заводе (Тернопольской обл.): отчет НИР / Мелитоп.

ин-т механиз. сел. хоз-ва; руководитель А.Д. Савченко. – X; № гос. регестр. 02880025684; Инв. № 02880025684. – Мелитополь, 1988. – 48 с.

10. *Разборка* и исследование установок по очистке стоков цеха ремонта сельскохозяйственной техники (Симферопольский РМЗ): отчет по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва; руководитель Н.И. Бунин. – 20 X – 89; № 01880067562; Инв. № 02880025684. – Мелитополь, 1989. – 28 с.

11. *Очистные* сооружения Новоград-Волынского РМЗ: отчет по НИР / Мелитоп. ин-т механиз. сел. хоз-ва и кооператив “Научно-техническое внедрение”; руководитель Н.И. Бунин. – Мелитополь. – 1989. – 23 с.

12. *Авторські права* на твір. Свідоцтво № 58412 Хімічні речовини для очищення, оброблення й нейтралізації окремих видів стічних вод гальванічного виробництва промислових підприємств/ С.І. Мовчан. Дата реєстрації 02.02.2015 р. Заявка № 58010. Від 13.10.2014 р.

13. *Мовчан С.И.* Интенсификация работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – 2013, Vol. 15, No. 6, 157. – 164 с.

14. *Эпоян С.М.* Повышение эффективности работы систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2015. – Вип. 3 (81). – С. 98-102.

15. *Эпоян С.М.* Використання відходів гальванічного виробництва в якості добавок до будівельних матеріалів// С.М. Эпоян, С.І. Мовчан. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Науково-технічний збірник. Випуск 24/Головний редактор О.С.Волошкина. За матеріалами Першої Міжнародної науково-практичної конференції «Водокористування: технології, споруди, менеджмент» (02-04.12.2014 р.). –К.: КНУБА, 2014. – С. 285-293.

16. *Мовчан С.И.* Обработка параметров частиц водных растворов при интенсификации работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. – 2014, Vol. 16, No. 6. – С.141-150.

17. *Сизова Н.Д.* Использование моделирования в процессе очистки сточных вод для интенсификации работы оборотных систем водоснабжения/ Н.Д. Сизова, С.М. Эпоян, С.И. Мовчан // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2014. – Вип. 2 (76). – С. 132-136.

Надійшло до редакції 17.11.2015