

На правах рукописи

ЛЕБЕДИК ЕКАТЕРИНА АНДРЕЕВНА



**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ ВОДЫ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ПРЕДПРИЯТИИ**

*Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (металлургия)*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт- Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Шариков Юрий Васильевич

Официальные оппоненты:

Холоднов Владислав Алексеевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра системного анализа и информационных технологий, профессор

Феоктистов Андрей Юрьевич

кандидат технических наук, ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс», директор по развитию бизнеса Rocky

Ведущая организация:

ФГУП «Российский Научный Центр «Прикладная химия»

Защита диссертации состоится 27 июня 2017 г. в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.03 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 27 апреля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



БРИЧКИН
Вячеслав Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Вода имеет исключительное значение и широкое применение в технологических процессах на большинстве промышленных предприятиях, в том числе металлургических. Промышленные предприятия металлургии подвержены строгому контролю по защите окружающей среды, расходу воды, за количеством и качеством сбрасываемых сточных вод. Большой объем воды на промышленных металлургических предприятиях используется для охлаждения производственных агрегатов. Охлаждающая вода после использования не загрязняется вовсе или загрязняется весьма незначительно, а лишь нагревается, вследствие чего оказывается необходимым или экономически целесообразным такую воду охлаждать и подавать снова для использования на том же объекте. В связи с этим основную роль в водоснабжении предприятий играют системы оборотного водоснабжения (СОВ).

Поддержание качества воды в оборотных системах испарительного типа является важным фактором оптимального режима работы металлургического производства, главным образом, влияющим на эффективность работы теплообменных устройств. Ухудшение качества воды приводит к уменьшению работоспособности и производительности металлургического производства. Для решения основных возникающих проблем СНИПом предусматривается продувка системы, подщелачивание или подкисление воды и т.д. С недавних пор появились новые методы защиты: в систему вводятся различные полимерные добавки - реагенты, предотвращающие образование кальциевых отложений, коррозии и биообрастания в различных элементах оборотной системы предприятия. При охлаждении оборотной воды за счет испарения в градирнях, других потерь и подпитки дешевой, не деминерализованной, водой концентрации солей в системе повышаются, меняя свойства оборотной воды, что приводит к необходимости автоматического дозирования и автоматической корректировки дозы полимерных реагентов в зависимости от свойств оборотной воды в различные моменты эксплуатации для поддержания постоянных свойств.

Значительный вклад в разработки в области управления, автоматизации и контроля технологических параметров металлургической промышленности; в области математического моделирования и водоподготовки внесли известные ученые и специалисты Попкович Г.С., Фрог Н.П., Журба М.Г., Репин Б.Н., Ключев А.С., Поляков П.В., Березин А.И., Жужиков В.А., Лазарев С.И., Шариков Ю.В. и другие.

В настоящее время мало информации о применяемых автоматизированных системах управления (АСУ) качеством воды для оборотных систем, так как подобные разработки являются интеллектуальной собственностью разработчиков и тщательно скрываются, сохраняя отсутствие серьезной конкуренции на рынке. Из общедоступной информации и личного опыта, известно, что существующие АСУ основаны на расчетной информации по датчикам концентраций, имеющим большую погрешность, зависимость от эксплуатационного состояния полупроницаемой мембраны, входящей в конструкцию датчиков. Как результат происходит либо недостаток, либо переизбыток в дозировании реагентов и не достигается стабильное качество воды. Существующий в мире уникальный мониторинг в режиме реального времени, работающий в режиме 24/7, для обнаружения, определения и обеспечения эффективной работы систем охлаждения является очень дорогостоящим запатентованным решением и ограничивает пользователя системы в выборе реагентов, так как данные системы работают только при условии использования реагентов, поставляемых разработчиком. В связи с этим актуально создание автоматизированной системы управления, основанной на новых технологических решениях и алгоритмах управления.

Цель работы.

Повышение эффективности работы системы оборотного водоснабжения за счет разработки автоматизированной системы управления комплексом оборудования для поддержания оптимальных свойств воды системы оборотного водоснабжения на металлургическом предприятии путем расчета необходимого объема реагентов

Основные задачи исследования:

1. Научно-технический анализ современного состояния и перспективы развития системы оборотного водоснабжения на металлургических предприятиях, а также оценка степени влияния свойств воды системы оборотного водоснабжения на технологический процесс и работу теплообменного оборудования.

2. Анализ существующих технологических решений дозирования реагентов.

3. Разработка нового технологического решения для поддержания качества воды системы оборотного водоснабжения металлургического предприятия.

4. Создание модели коррекционной обработки воды системы оборотного водоснабжения.

5. Проведение экспериментальных исследований на модели.

6. Разработка алгоритма управления для высокоэффективного дозирования реагентов.

7. Создание автоматизированной системы управления качеством воды системы оборотного водоснабжения с учетом разработанного алгоритма и созданной модели.

Методы исследований. В работе были использованы экспериментальные и теоретические методы исследований. Экспериментальные данные собраны в ходе исследований, проведенных путем физико-химических анализов воды в лабораторных условиях и при моделировании СОВ открытого типа. Также использованы методы анализа практических данных, методы моделирования процессов, методики использования стабилизационных реагентов оборотных систем охлаждения для разработки АСУ комплекса оборудования, поддерживающие оптимальные характеристики качества воды при ее упаривании. Для моделирования системы учета материального и солевого баланса системы оборотного водоснабжения использовался программный продукт MATLAB.

Научная новизна работы:

1. Обосновано, что повышение качества воды системы оборотного водоснабжения обеспечивается введением нового

решения, основанного на поддержании концентрации различных реагентов, путем математического моделирования материального и солевого баланса СОВ.

2. Создана модель коррекционной обработки воды системы оборотного водоснабжения, предусматривающей работу в супервизорном режиме управления и не ограничивающая потребителя в применении конкретных реагентов.

3. Разработана автоматизированная система управления качеством воды на основе предложенного алгоритма, обеспечивающего надежную работу системы оборотного водоснабжения.

Основные защищаемые положения:

1. Модель коррекционной обработки воды системы оборотного водоснабжения, разработанная на основе данных водного баланса системы, позволяет рассчитывать концентрации используемых реагентов и осуществлять прогнозирование объемных расходов для восполнения их потерь и последующую корректировку свойств оборотной воды при разных коэффициентах упаривания.

2. Автоматизированная система управления коррекционной обработки воды, разработанная на основе прогнозирующей модели, обеспечивает постоянную рабочую концентрацию дозируемых реагентов в водообороте, что позволяет существенно сократить количество воды на продувку и увеличить срок службы теплообменного оборудования.

Практическая значимость работы:

1. Получена математическая модель системы оборотного водоснабжения, позволяющая рассчитывать концентрации дозируемых в систему реагентов учитывая гидродинамику потоков. Математическая модель пригодна для использования в системе управления процессом и для включения ее в контур регулирования в качестве предсказывающей модели.

2. Разработанный алгоритм работы для контроля параметров качества воды, основанный на объемно-расчетном принципе поддержания концентраций представляет собой универсальное решение и может быть включен в общий алгоритм работы СОВ, что

позволит существенно уменьшить количество необходимых реагентов, воды на продувку и электроэнергию для циркуляции воды и подачи ее в теплообменники.

3. Предлагаемая АСУ качеством воды СОВ позволит увеличить безремонтный пробег систем рециркуляции воды и решает проблему поддержания оптимального режима работы теплообменного оборудования, при котором предусматривается надежная и долговечная работа.

4. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе факультета переработки минерального сырья Горного университета при изучении курсов «Моделирование объектов и систем управления», «Автоматизация технологических процессов и производств».

Личный вклад автора. Автор самостоятельно выполнил: постановку целей, формулировку задач и разработку общей методики исследований, анализ научно-технической литературы и патентный поиск, анализ современного состояния системы оборотного водоснабжения металлургического предприятия, влияющих факторов и технологических решений дозирования реагентов, выполнение лабораторных исследований, разработку математической модели дозирования коррекционных реагентов для поддержания постоянных свойств воды, разработку технического решения, создание алгоритма и АСУ качеством воды СОВ.

Достоверность научных результатов. Приводимые результаты, выводы и рекомендации подтверждаются значительным объемом экспериментальных данных и их соответствием теории и практики в работе систем оборотного водоснабжения металлургических предприятий, применением современных методов статистического анализа, сходимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Апробация работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и обсуждались на XXVII международной научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск, 23 декабря 2015 год), международной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 20-22 апреля 2015 год).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Содержит 131 страницу машинописного текста, 54 рисунка, 17 таблиц, список литературы из 104 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы общая цель и задачи исследовательской работы, научная новизна и практическая ценность работы.

В 1 главе рассмотрена классификация технической воды, представлен анализ устройств охлаждения испарительного типа, освещены свойства и требования к качеству воды СОВ.

В главе 2 разработана программа экспериментальных и теоретических исследований, обоснован и выбран метод решения поставленных задач. Проведены экспериментальные исследования о возможности применения датчика электропроводности для определения необходимости продувки СОВ.

Глава 3 посвящена математическому моделированию процессов. Разработана математическая модель системы на основе данных водного баланса системы, позволяющая рассчитывать концентрации используемых реагентов.

В главе 4 рассмотрены существующие системы автоматизированного управления обработки воды, разработан алгоритм на основе объемно-расчетных методов и описан программный продукт, включающий в себя полноценную программу с разработанным интерфейсом для оператора.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Модель коррекционной обработки воды системы оборотного водоснабжения, разработанная на основе данных водного баланса системы, позволяет рассчитывать концентрации используемых реагентов и осуществлять прогнозирование объемных расходов для восполнения их потерь и последующую корректировку свойств оборотной воды при разных коэффициентах упаривания.

Качество воды в СОВ характеризуется совокупностью разного рода показателей, обуславливающих пригодность воды для использования в технологическом процессе. Требования к качеству воды системы оборотного водоснабжения металлургического предприятия сводятся к следующему: вода не должна вызывать образование солевых отложений, биологических обрастаний и коррозии аппаратуры, трубопроводов и сооружений; вода не должна оказывать отрицательного влияния на качество продукции.

Для определения качества воды системы оборотного водоснабжения металлургического предприятия применяют несколько способов. Самым распространенным из них является контрольно-химический анализ воды. Некоторые разработчики на сегодняшний день предлагают контроль по датчикам концентраций. Необходимо отметить, что данный метод имеет большую погрешность и неточную дозировку реагентов.

Для работы системы должно соблюдаться уравнение (1). Количество воды в СОВ постоянно, поэтому сумма поступающей воды ($Q_{\text{пост}}$) равна сумме потерь ($Q_{\text{уб}}$).

$$\sum Q_{\text{пост}} = \sum Q_{\text{уб}} \quad (1)$$

При работе системы потери воды включают в себя: количество воды на продувку ($Q_{\text{прод}}$), на испарение ($Q_{\text{исп}}$) и на унос ($Q_{\text{унос}}$) воды из системы:

$$Q_{\text{уб}} = Q_{\text{прод}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{унос}} \quad (2)$$

Количество поступающей воды в систему характеризуется добавочной водой ($Q_{\text{доб}}$) и оценивается с помощью материального баланса:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{прод}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{унос}} \quad (3)$$

Содержание солей в циркулирующей воде СОВ стабилизируется, если количество солей, удаляемых из системы при продувке и в результате капельного уноса, будет равно количеству солей, приносимых с подпиточной водой:

$$C_{\text{доб}}(p_1 + p_2 + p_3) = C_{\text{цирк}}(p_2 + p_3) = C_{\text{цирк}}(P - p_1), \quad (4)$$

где $C_{\text{доб}}$ и $C_{\text{цирк}}$ - концентрации солей в оборотной и добавочной воде в мг экв/л; p_1 - потери воды из системы на испарение в %; p_2 - потери воды на унос с воздухом в %; p_3 - потери воды при продувке системы в %.

Степень упаривания характеризуется коэффициентом упаривания (K_y):

$$K_y = \frac{C_{\text{цирк}}}{C_{\text{доб}}} \quad (5)$$

Понизить коэффициент упаривания можно продувкой. Сокращение количества продувки приводит к повышению коэффициента упаривания (K_y), следовательно, к значительному росту соледержания в СОВ.

Предлагаемый метод коррекционной обработки воды СОВ помимо продувки включает реагентную обработку. Он основан на математическом методе расчета концентраций дозируемых реагентов по данным водного баланса СОВ и позволяет регулировать свойства воды в системе в соответствии с требуемыми параметрами. При этом достигаются требуемые свойства воды даже при разных коэффициентах упаривания.

В программном пакете MATLAB была разработана модель СОВ для поддержания качества воды. С учетом основных проблем качества воды металлургического предприятия были определены 4 дозируемых реагента: основной биоцид - гипохлорит натрия (реагент d) и шоковый биоцид (реагент а), ингибитор коррозии (реагент b) и антискалянт (реагент с). Состав и количество реагентов могут быть различны для каждого конкретного случая обработки воды СОВ. Для достижения постоянного качества воды необходимо поддерживать рабочие концентрации этих реагентов в определенном технологическом диапазоне.

В качестве вектора входных переменных X, состоящего из вектора управляющих воздействий, взяты управляющие воздействия объемов прихода и расхода воды $Q_{исп}$, $Q_{уноса}$, $Q_{прод}$, $Q_{под}$, а также, в качестве входных параметров нужно задать исходные концентрации и массы дозируемых реагентов.

Состояние объекта управления оценивают с помощью вектора выходных переменных Y. К вектору Y относятся концентрации коррекционных реагентов (c[a], c[b], c[c], c[d]) в системе и общий объем системы $V_{общ}$. Присутствующие в векторе выходных переменных Y концентрации дозируемых реагентов влияют на свойства воды в СОВ. Практический опыт предприятий металлургической промышленности показывает, что при стабилизационной обработке воды, возможно увеличение коэффициента упаривания в несколько раз. Поддержание заданной концентрации реагентов в системе определяется формулами для расчета концентрации по расчетному значению массы и объема системы.

При дозировании реагентов в модели рассматривается процесс идеального перемешивания, поэтому модель идеального перемешивания (МИП) можно построить на основе типовой МИП с учетом скорости химической реакции, т.е. изменение концентрации представить как:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{v}{V}(C_{ex} - C_{вых}) + \omega_r \quad (6)$$

где ω_r – скорость химической реакции.

Количество уравнений соответствует количеству веществ участвующих в реакции. При этом C – концентрация i -го вещества (C_a, C_b, \dots), а w_i – скорость реакции по i -му веществу. Принимая, что первый реагент a , а время пребывания – отношение реакционного объема к объемной скорости, то уравнение (6) примет вид:

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{1}{\tau}(C_{A_0} - C_A) - w_{rA} \quad (7)$$

При установившемся режиме работы, при условии $dC/dt = 0$, уравнение (7) можно записать так:

$$\frac{1}{\tau}(C_{A_0} - C_A) = w_{rA} \quad (8)$$

Уравнение (8) является статической моделью химического реактора идеального перемешивания в общем виде. При решении уравнений (7) и (8) можно найти основные параметры: время пребывания исходного вещества в реакторе t , от величины которого зависит объем аппарата, изменение концентрации исходного вещества во времени.

С помощью разработанной модели был смитирован процесс испарения воды в системе. Был рассмотрен отклик системы на возмущающее воздействие по испарению ($Q_{исп} = 100000$ л/ч). В зависимости от количества испарившейся воды в системе происходит уменьшение ее объема и увеличение концентраций стабилизационных реагентов.

Результаты работы модели представлены на рисунках 1 и 2. На рис. 1 показано изменение объема воды в системе по отношению к времени процесса, который при испарении уменьшается. На рис. 2 показано изменение концентрации реагента a по отношению к времени процесса, которая при испарении увеличивается. Изменение концентраций реагентов b, c и d увеличиваются подобно увеличению концентрации реагента a .

Моделирование, проведенное на разработанной модели с разными возмущающими воздействиями (подпитки, продувки, уноса и испарения), показало достоверность результатов исследования, обоснованных достоверностью с теоретическими и практическими

знаниями при работе СОВ. Математический расчет концентраций по данным водного баланса позволяет получать численные значения концентраций дозируемых реагентов в любой момент времени учитывая факторы, влияющие на водный баланс СОВ. Также полученная модель подсказывает необходимую корректировку стабилизационных реагентов для достижения требуемой рабочей концентрации реагентов в системе.

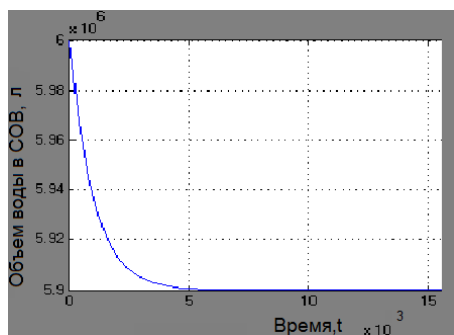


Рис. 1 – Результат работы модели. Объем воды в СОВ по отношению к времени процесса при испарении

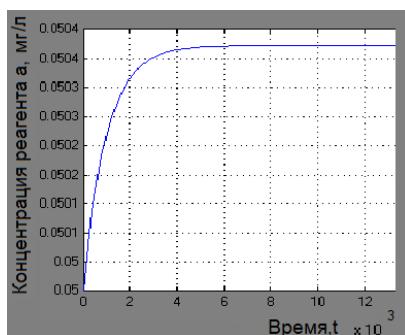


Рис. 2 – Результат работы модели. Изменение концентрации дозируемого реагента а по отношению к времени процесса при испарении

2. Автоматизированная система управления коррекционной обработки воды, разработанная на основе прогнозирующей модели, обеспечивает постоянную рабочую концентрацию дозируемых реагентов в водообороте, что позволяет существенно сократить количество воды на продувку и увеличить срок службы теплообменного оборудования.

Учитывая методы контроля качества воды и модель коррекционной обработки в MATLAB, была разработана автоматизированная система управления качеством воды СОВ на основе схемы коррекционной обработки воды (рис. 3) и алгоритма работы программы (рис. 4).

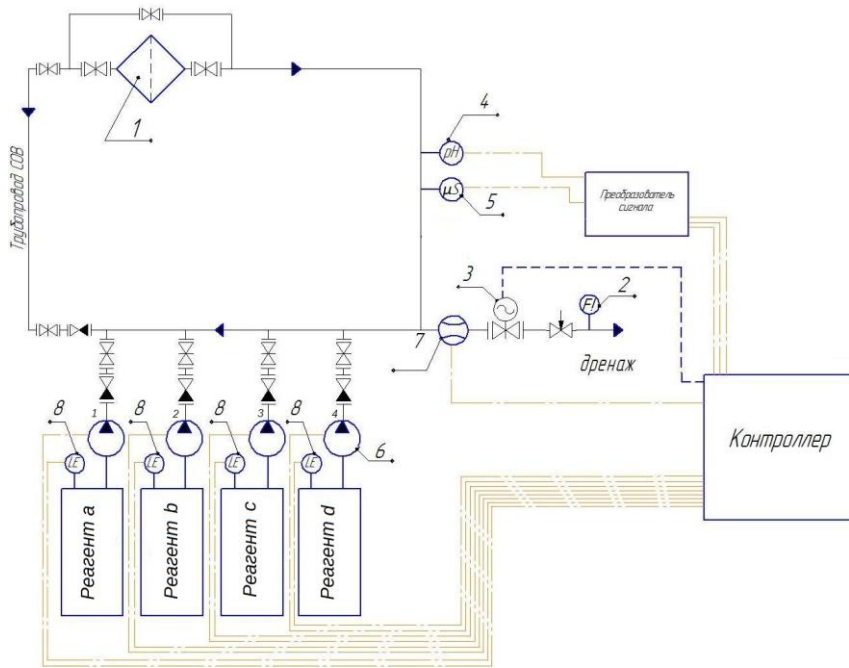


Рис. 3 – Схема коррекционной обработки: 1- механический фильтр, 2- ротаметр, 3- электромагнитный клапан, 4 – датчик рН, 5 – датчик электропроводности, 6- насосы дозирования реагентов (1-4), 7 – ультразвуковой расходомер, 8- датчики уровня

Автоматизированная система управления качеством воды СОВ имеет трехуровневую иерархическую структуру. На первом уровне предусмотрены датчики, измерительные устройства и исполнительные механизмы. Для работы системы требуется минимальный набор необходимых датчиков и устройств. На трубопроводе устанавливаются датчик рН и датчик электропроводности. Для защиты датчиков вода предварительно проходит механическую очистку на мешочном фильтре.

Подача коррекционных и дезинфицирующих реагентов в систему осуществляется с помощью установок для приготовления и дозирования реагентов.

Продувка оборотной системы реализуется открытием/закрытием электромагнитного клапана (ЭМК), расход продувки настраивается ручным вентилем по прибору визуального контроля расхода.

Второй уровень – уровень управления. Управляет системой программируемый логический контроллер Siemens S7-1200 (ПЛК). ПЛК получает информацию с первого уровня о состоянии технологического процесса и выдает команды управления, в соответствии с запрограммированным алгоритмом на исполнительные механизмы. Алгоритм работы представлен на рисунке 4. ПЛК осуществляет контроль дозирования и визуализацию уровня реагентов в баках, открытие/закрытие электромагнитного клапана (ЭМК), расположенного на линии продувки. В программу заносятся два независимых алгоритма управления ЭМК, а также требуемые диапазоны значений показателей, поддерживаемых данной системой в оборотном контуре.

Для определения необходимости продувки контроллер осуществляет прием анализируемых датчиками данных через преобразователь сигнала и с учетом этих данных выполняет управление системой коррекционной обработки оборотной воды по разработанной программе.

Определение объемных расходов подпитки и продувки осуществляется с помощью ультразвуковых расходомеров.

Дозирование реагентов в системе определяется формулами для расчета концентрации по заданному значению массы и объема системы. Контроллер рассчитывает потери реагента с продувкой и корректирует концентрацию в системе, управляя работой установок для приготовления и дозирования реагентов.

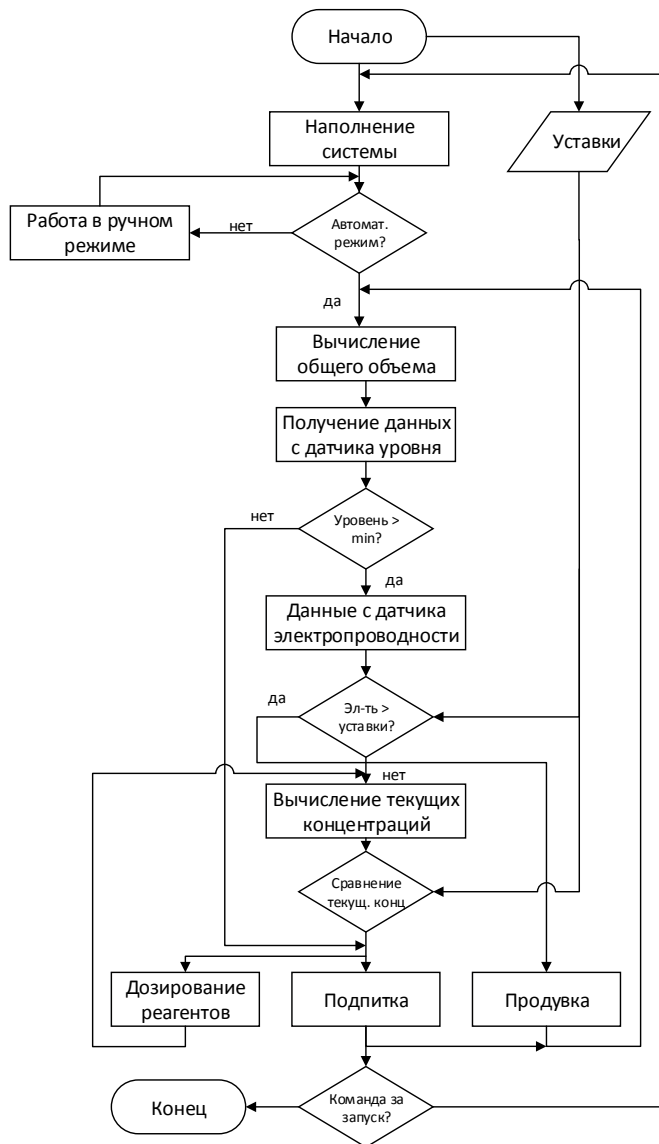


Рис. 4 – Блок-схема алгоритма работы программы

Программа контроля за ростом микроорганизмов в оборотной воде управляет работой двух насосов, дозирующих основной и профилактический биоцид. Эта программа состоит из двух частей:

-программа дозирования основного биоцида осуществляется по значению концентрации, передаваемого через преобразователь сигнала от датчика к контроллеру;

-программа дозирования профилактического биоцида осуществляется за счет встроенного в контроллер программируемого таймера. В программу заносятся данные, а именно: необходимые дозы, день месяца и время суток для запуска операции.

Третий уровень – человеко-машинный интерфейс реализован посредством панели оператора фирмы Siemens TP700 Comfort.

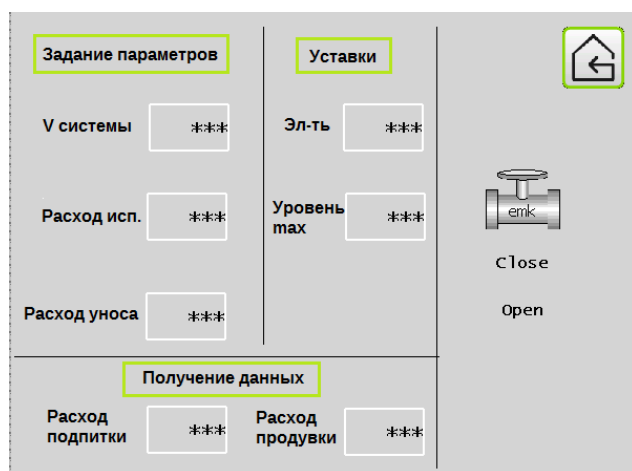


Рис.5 – Экран оператора при работе программы

Пример окна работы оператора на рисунке 5. Представленное окно служит для задания уставок работы программы и визуализации данных системы.

Разработка автоматизированной системы для контроля параметров качества воды, за счет применения новой методики решит проблему поддержания оптимального режима работы теплообменного оборудования, при котором предусматривается надежная и долговечная работа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе приведены теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых были получены и научно обоснованы следующие научно-технические результаты:

1. Сделан обзор существующих устройств для охлаждения оборотной воды, подробно рассмотрены градирни, как наиболее часто применяющиеся для целей охлаждения воды на металлургических предприятиях. Определены основные проблемы качества воды в СОВ, оказывающие влияние на работу системы. Изучены существующие системы автоматизированного управления коррекционной обработки воды, рассмотрены их преимущества и недостатки.

2. Предложен метод дозирования стабилизационных реагентов, основанный на разделении принципов поддержания дозируемых реагентов по объемам и концентрациям, исходя из определенных экспериментальным путем необходимых рабочих концентраций и данных материального баланса самой системы.

3. Проведены экспериментальные исследования, целью которых было получение информации о возможности применения датчика электропроводности для определения необходимости продувки СОВ, используя индивидуальную зависимость электропроводности от солесодержания воды из конкретного источника.

4. На основе предложенного метода дозирования реагентов разработана математическая модель системы оборотного водоснабжения в программном пакете MATLAB, позволяющая

рассчитывать необходимое количество дозируемых реагентов для надежной и безотказной работы теплообменного оборудования.

5. Проведены теоретические и экспериментальные исследования на разработанной модели. Показано, как изменяются концентрации реагентов в СОВ и объем системы при возмущающих воздействиях разного рода: подпитки, продувки, испарения, уноса.

6. Разработан алгоритм дозирования коррекционных реагентов на основе предложенного метода, который может быть включен в алгоритм работы системы оборотного водоснабжения для достижения требуемых свойств воды оборотной системы при различных коэффициентах упаривания.

7. Разработана система автоматизированного управления поддержания свойств воды, позволяющая поддерживать концентрации используемых реагентов в заданных пределах для оптимальной работы охлаждаемого и теплообменного оборудования металлургического производства.

8. Создание АСУ коррекционной обработки воды для оперативного управления свойствами воды позволит в режиме реального времени производить постоянную корректировку концентраций используемых реагентов в оборотной воде металлургического производства и не зависеть от данных лабораторных анализов воды; позволит существенно уменьшить количество необходимых реагентов, воды на продувку и обеспечит надежную и долговечную работу теплообменного оборудования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. **Лебедик Е.А.** Управление качеством оборотной воды теплообменного оборудования / **Е.А.Лебедик**, Ю.В.Шариков, В.В.Железнов // Химическая технология. – 2016. – №1. – С. 38-44.

2. **Lebedik E.A.** Quality control of circulating water of water heat exchange equipment / **E.A. Lebedik**, I.V. Sharikov, V.V. Zheleznov // International research journal. – 2015. – №11(42). – P. 57-60.

3. **Лебедик Е.А.** Особенности создания системы управления качеством оборотной воды теплообменного оборудования металлургических предприятий / **Е.А.Лебедик**, Ю.В.Шариков // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. – С. 32-38.

4. **Лебедик Е.А.** Разработка модели технологической схемы оборотного водоснабжения металлургического предприятия с использованием программного комплекса Aspen Plus / **Е.А.Лебедик**, Ю.В.Шариков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №02(56). – P. 117-120.

5. **Лебедик Е.А.** Управление качеством воды системы оборотного водоснабжения на металлургическом предприятии/ **Е.А.Лебедик**, Ю.В.Шариков // Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции (8 февраля 2017 г., г. Пермь). В 2 ч.1./ –Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 62-63.