

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра: Промышленная теплоэнергетика
Специальность: 6М071700 – Теплоэнергетика

Допущен к защите
Зав. Кафедрой

Мусабеков Р.А.
« ____ » _____ 2015г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

Тема: Исследование и разработка водно-химического режима оборотных систем охлаждения промышленных предприятий.

Магистрант _____  Отегочев У. А.
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ 
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент _____
подпись (Ф.И.О.)

Алматы, 2015 г.

Рекомендуемая основная литература:

1. М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. М.: Издательство АСВ, 2003. – 83 с., т.1.
2. А.М. Сухотин, Е.И. Чекулаева, В.М. Княжева, В.А. Зайцев. Способы защиты оборудования от коррозии, справочное руководство. Строкан Б.В., Сухотин А.М. (редакторы), Издательство «Химия», Ленинград, 1987 - 280 с.


Рекомендуемая основная литература:

1. М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. М.: Издательство АСВ, 2003. – 83 с., т.1.
2. А.М. Сухотин, Е.И. Чекулаева, В.М. Княжева, В.А. Зайцев. Способы защиты оборудования от коррозии, справочное руководство. Строкан Б.В., Сухотин А.М. (редакторы), Издательство «Химия», Ленинград, 1987 - 280 с.

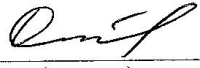
Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Обзор литературы сферической в области по теме диссертации	декабрь 2013г.	
2. Оборудование объектов сферической промышленности	март 2014г.	
3. Изучение об. в рамках для разработки коррозии, электрохимической, биокоррозии.	декабрь 2014г.	
4. Определение оптимальной программы работ по обеспечению техникой корабля ВХР ОО.	март 2015г.	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой  (Мусаев Р.А.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации  (З. Самков)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант  (Олегев В.А.)
(подпись) (Ф.И.О.)

стр. 3

АННОТАЦИЯ

В данной диссертационной работе рассматриваются проблемы образования отложений, коррозии и биологического загрязнения в системах оборотного охлаждения Медеплавильного завода. Предлагаются оптимальные способы решения имеющихся проблем для каждой системы индивидуально в зависимости от параметров их работы и качества охлаждающей воды.

Проведен расчет пересыщения по накипеобразующим компонентам охлаждающей воды.

В промышленных условиях изучено влияние качества циркуляционной воды и концентрации активного вещества на скорость коррозии углеродистой и нержавеющей стали.

Проведены лабораторные и промышленные испытания реагентов для химической промывки теплообменного оборудования.

По итогам проведенных обследований оборотных систем охлаждения, лабораторных и промышленных исследований подобраны наиболее оптимальные программы реагентной обработки и разработаны режимные карты для объектов Медеплавильного завода.

ANNOTATION

In this dissertation work considers the problem of the formation of deposits, corrosion and biological contamination in systems of reverse cooling of copper-smelting plant. Offers optimal ways of solving existing problems for each system individually, depending on the parameters of their work and the quality of cooling water.

The calculation of supersaturation by forming scale components in cooling water.

In industrial conditions the influence of the quality of the circulating water and the concentration of the active substances on the corrosion rate of carbon steel and stainless steel.

Conducted laboratory and industrial tests reagents for chemical washing of heat exchangers.

According to the results of surveys of circulating cooling systems, laboratory and industrial research selected optimal reagent treatment programs and developed operational map for objects copper-smelting plant.

АҢДАТПА

Осы диссертациялық жұмыста Мыс балқытқыш зауыттың қайтымды салқындату жүйесіндегі шөгінді, коррозия және биологиялық ластанулардың пайда болу сұрақтары қарастырылған. Салқындатушы судың жұмыс және сапасының көрсеткіштерінен тәуелді осы мәселелерді шешу үшін әр жүйе үшін жеке-жеке тиімді әдістер ұсынылады.

Салқындатушы судың қақ түзетін құраушылары бойынша қанығудың есебі жүргізілген.

Өнеркәсіптік шарттарда көміртекті коррозия мен тот баспайтын болаттың жылдамдығына айналысу және белсенді заттар шоғырының әсер ету сапасы зерттелген.

Жылуалмастырғыш қондырғыларды химиялық шаю үшін реагенттерге зертханалық және өнеркәсіптік сынамалар жүргізілген.

Салқындатудың қайтымды жүйесіне зертханалық және өнеркәсіптік зерттеулердің қорытындысы бойынша реагентті өңдеудің едәуір тиімді бағдарламасы таңдалынған және Мыс қорытқыш зауыттың нысандарына арналған тәртіптік карта жасалған.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНО-ХИМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ	5
1.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ПОДПИТОЧНОЙ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ ОСО.	5
1.2. НОРМАТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОРРЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ.	8
1.2.1. <i>Предотвращение механических отложений.</i>	8
1.2.2. <i>Борьба с цветением воды и биологическим обрастанием.</i>	9
1.2.3. <i>Предотвращение карбонатных отложений</i>	9
1.2.4. <i>Предотвращение сульфатных отложений</i>	10
1.2.5. <i>Предотвращение коррозии</i>	10
1.3. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА.	11
1.4. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ НАКИПИ.	13
1.5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАСТАНИЕ	13
2. ОБОРОТНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА	16
2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЕЧЕЙ ВАНЮКОВА МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА.	16
2.2. КАЧЕСТВО ПОДПИТОЧНОЙ И ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ.	17
2.3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЕЧЕЙ ВАНЮКОВА МПЦ.....	18
2.4. ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЕЧЕЙ.	23
2.5. СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПВ-1 И ПВ-2.	24
2.6. СТАТИСТИКА ПО ОЧИСТКЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПВ-1 И ПВ-2 в 2012-2014гг.....	26
2.7. СВЕДЕНИЯ О РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ МПЦ:	28
2.8. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ПВ-1 И ПВ-2.	29
2.9. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.	33
<i>Выводы:</i>	33
<i>Рекомендации:</i>	34
3. ОБОРОТНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕРНОКИСЛОТНОГО ЦЕХА.....	36
3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СКЦ.	36
3.2. КАЧЕСТВО ПОДПИТОЧНОЙ И ОБОРОТНОЙ ВОДЫ СКЦ.	36
3.3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СХЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ.....	37
3.4. ТЕХНОЛОГИЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ.....	39
3.5. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДОЗИРОВКИ РЕАГЕНТОВ.	40
3.6. РЕЖИМ РАБОТЫ ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СКЦ.	40
3.7. ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	43
3.8. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА (ВХР).....	47
3.9. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.	50
<i>Выводы:</i>	50
<i>Рекомендации:</i>	50
4. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КИСЛОРОДА.....	51
4.1. ОСМОТР ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ «ВОТ-380» ПЕРЕД ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКОЙ.	51
4.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ ОТЛОЖЕНИЙ С ОБРАЗЦОВ ТРУБОК.....	52
4.2.1. <i>Условия испытаний для каждого образца:</i>	53
4.3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОМЫВКИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ.....	55
4.4. РЕГЛАМЕНТ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКИ ТЕПЛООБМЕННИКА.....	56
4.4.1. <i>Цель:</i>	56
4.4.2. <i>Состав оборудования для очистки В/О:</i>	56
4.4.3. <i>Необходимые химические реагенты.</i>	56
4.4.4. <i>Порядок проведения химической очистки В/О.</i>	56
4.4.5. <i>Объем химического контроля:</i>	58

4.4.6. Основные меры безопасности при проведении промывки.....	58
4.4.7. Проведение химической промывки теплообменника «ВОТ-380».....	58
4.4.8. Визуальный осмотр теплообменника после химической промывки.....	60
4.5. Выводы и рекомендации.....	61
Выводы:.....	61
Рекомендации:.....	61
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ В ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ МПЦ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ.....	63
5.1. ОБЩЕЕ.....	63
5.2. ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРИ ВЕСА КУПОНОВ.....	63
5.3. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА.....	64
5.4. Выводы:.....	66
6. ОЦЕНКА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА 2-ГО КОНТУРА ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МПЦ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПЕРЕСЫЩЕНИЯ.....	84
6.1. Количественные закономерности изменения ионного состава многокомпонентных растворов в условиях работы теплообменного оборудования.....	85
6.2. Методика расчета пересыщения по щелочным накипеобразователям.....	87
6.3. Расчетный эксперимент по определению пересыщения по накипеобразующим компонентам подпиточной воды системы охлаждения.....	91
6.5. Выводы:.....	95
7. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ КОНТРОЛЯ И КОРРЕКТИРОВКИ ВХР ОСО ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	96
7.1. Оптимизация ВХР оборотных систем охлаждения.....	96
7.2. Разработка режимной карты оборотной системы охлаждения.....	98
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
ЛИТЕРАТУРА.....	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	105
Приложение 1. Аналитический контроль подпиточной и оборотной воды объектов ТОО «KAZAKHMYS SMELTING».....	105
Приложение . Параметры работы ФРУ (2-ый контур охлаждения ПВ-1).....	112

Большинство промышленных предприятий в технологических схемах, там, где необходим теплосъем, используют оборотные системы охлаждения (ОСО). Они получили большое распространение благодаря своей эффективности и возможности значительной экономии воды. Однако их эксплуатация часто сопровождается различными видами нарушений в работе, в основном, из-за неудовлетворительного качества охлаждающей воды. Основные проблемы возникающие при эксплуатации оборотных систем:

- плохой теплообмен и гидравлическое сопротивление вследствие образования отложений (накипь, взвесь, продукты коррозии, биопленка и др.) на теплопередающих поверхностях и трубопроводах;
- быстрый выход из строя теплообменного оборудования, трубопроводов, арматуры, металлоконструкций градирни вследствие высокой скорости коррозии металла соприкасающегося с охлаждающей водой;
- биологическое обрастание конструкций градирни, образование биопленки на теплопередающих поверхностях.

Все это приводит к снижению технико-экономических показателей ОСО, нарушению технологических режимов работы основного оборудования, преждевременному выходу из строя трубопроводов, теплообменников и конструктивных элементов градирен. Предприятия несут значительные потери при восстановлении данного оборудования, а также из-за простоев.

Цель работы - исследование водно-химического режима ОСО промышленных предприятий и разработка оптимального ВХР.

Задачи:

1. Определить основные факторы влияющие на скорость коррозии, накипеобразование и биологическое загрязнение в ОСО промышленных предприятий.
2. Найти эффективные способы борьбы с накипеобразованием, коррозией и биологическим загрязнением в ОСО;
3. Разработка типовой схемы для оптимального контроля и коррекции ВХР ОСО.
4. Разработка режимных карт для ОСО действующих промышленных предприятий.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНО-ХИМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Для коррекции водно-химических режимов ОСО традиционно используются водоподготовка или обработка химическими реагентами добавочной и оборотной воды. ОСО разных предприятий могут отличаться друг от друга по следующим параметрам:

- качество добавочной воды,
- конструкционные материалы оборудования,
- температура самой нагретой стенки, с которой соприкасается охлаждающая вода,
- температура нагретой и охлажденной воды,
- циркуляционный расход,
- объем воды в системе (включая воду на заполнение теплообменного оборудования),
- объем продувки и другие потери из системы,
- коэффициент упаривания и др.

С учетом вышеперечисленных данных по ОСО и имеющихся проблем выбирается оптимальная водоподготовка для добавочной воды и/или программа реагентной обработки добавочной и оборотной воды.

1.1. Общие требования к качеству подпиточной и циркуляционной воды ОСО.

Существуют два предельных состояния охлаждающей воды: в момент добавления в систему охлаждения и в момент предельного (равновесного, критического) насыщения примесями. В соответствии с этим охлаждающую воду подразделяют на добавочную и оборотную, и устанавливают требования к каждой из них (таблица 1.1). Требования к оборотной воде устанавливают экспериментальным путем с предварительной оценкой стабильности воды по методу Ланжелье (Приложение), а к добавочной – расчетным путем.

Охлаждающая вода оборотных систем охлаждения не должна вызывать:

Выделения карбонатных отложений со скоростью более 0,3 г/(м²ч);

Коррозии углеродистой стали и других металлов со скоростью более 0,09 г/(м²ч) – т.е. глубина коррозии должна быть не более 0,1 мм/год;

Биологического обрастания оборудования со скоростью более 0,07 г/(м²ч) по сухой массе – толщина слоя не более 0,05 мм/месяц.

Таблица 1.1.

Требования к качеству оборотной и добавочной вод систем охлаждения [2].

№п/п	Показатели качества воды	Оборотная вода	Добавочная вода
1	Температура охлаждающей воды, °С	25-30	До 25
2	Запах, баллы	< 3	< 3
3	Жесткость общая, мг-экв/л	< 7	1-2
4	Жесткость карбонатная, мг-экв/л	< 3	0,5-0,8
5	Щелочность, мг-экв/л	2-4	0,5-1,0
6	Общее солесодержание, мг/л	800-1200	150-250
7	Окисляемость перманганатная, мг О ₂ /л	< 10	1-5
8	БПК, мг О ₂ /л	5-10	1-5
9	ХПК, мг О ₂ /л	< 70	15-30
10	Взвешенные вещества, мг/л	10-20	2-4 (желат. отсутствие)
11	Содержание масел и смолообразующих веществ, мг/л	отсутствие	отсутствие
12	Хлориды, мг/л	150-300	30-70
13	Сульфаты, мг/л	350-500	70-120

№п/п	Показатели качества воды	Оборотная вода	Добавочная вода
14	Фосфор (в пересчете на P_2O_5), мг/л	< 5	< 1
15	Азот (общ.), мг/л	< 150	< 30-35
16	ПАВ, мг/л	отсутствие	отсутствие
17	Ионы тяжелых металлов, мг/л	отсутствие	отсутствие
18	Растворенный кислород, мг/л	6-8	—
19	Остаточный активный хлор, мг/л	1	1
20	рН (водородный показатель)	6,5-8,5	6,5-8,5

Источник: М.Г. Журба Л.И. Соколов Ж.М. Говорова «ВОДОСНАБЖЕНИЕ. Проектирование систем и сооружений» М.: Издательство АСВ, 2003. – 83 с., т.1

Общие требования к качеству воды, применяемой для охлаждения различных агрегатов на промышленных предприятиях, приведены в табл. 1.2. Однако в некоторых технологических схемах используется вода, отвечающая по отдельным показателям гораздо более жестким требованиям. Так, содержание взвешенных веществ в воде, подаваемой в конденсаторы, переохладители и компрессоры, должно составлять менее 2 мг/л. В воде, поступающей в холодильники на заводах азотной промышленности, содержание взвесей может находиться в пределах 10-50 мг/л, но при этом строго ограничивается щелочность, которая не должна превышать 2-3 ммоль/л, так как в противном случае начнется интенсивная инкрустация теплообменных поверхностей. В этой воде также не должны содержаться биогенные элементы (азот, фосфор), способствующие интенсивному развитию биологических обрастаний.

Таблица 1.2

**Требования к качеству воды, применяемой для охлаждения агрегатов
промышленных предприятий [2].**

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Допустимые значения	Особые условия
1	Мутность	мг/л	50-200	В зависимости от типа холодильников
2	Содержание:			
2.1	сероводорода	мг/л	0,5	
2.2	гипса	мг/л	1500-2000	В зависимости от общего содержания в воде сульфатов $MgSO_4$ и Na_2SO_4
3	Карбонатная жесткость	ммоль/л	2-7	При температуре нагрева охлаждающей воды 20-50°C и содержании в ней свободной CO_2 от 10 до 100 мг/л

Источник: М.Г. Журба Л.И. Соколов Ж.М. Говорова «ВОДОСНАБЖЕНИЕ. Проектирование систем и сооружений» М.: Издательство АСВ, 2003. – 86 с., т.1

Многие факторы как физического, так и химического свойства влияют на интенсивность, с которой происходит отложение солей и коррозия в системах охлаждения:

- Качество добавочной и оборотной воды (рН, концентрация ионов, наличие механических примесей и органических веществ и т.д.);
- Температура воды и особенно температура теплообменной поверхности, находящейся в контакте с водой;
- Интенсивность теплообмена между водой и поверхностью контакта;

- Скорость потока охлаждающей воды;
- Способ обработки добавочной и оборотной воды;
- Конструкция теплообменного оборудования.

Величина pH влияет на растворимость всех солей. От величины pH зависит тенденция кальция образовывать карбонаты, характеризуемая индексом Ланжелье (таблица 1.3).

Таблица 1.3.

Характеристика воды по индексу Ланжелье

Индекс Ланжелье	Тенденция воды к образованию накипи или коррозии
+ 2,0	Накипеобразование; практически отсутствие коррозии
+ 0,5	Возможно незначительное накипеобразование или коррозия
0,0	Равновесное состояние, но возможна питтинговая коррозия
0,5	Возможна незначительная коррозия; отсутствие накипеобразования
- 2,0	Коррозионная активность

Из таблицы 1.3 следует, что чем выше pH охлаждающей воды, тем заметнее тенденция к образованию отложений из минеральных солей.

В большинстве оборотных систем водоснабжения карбонатная жесткость воды должна составлять 2,8-3,0 мг-экв/л. Для оценки термостабильности оборотной воды применяют шестибалльную шкалу (таблица 1.4).

Вода не должна вызывать коррозии углеродистой стали и других металлов, используемых в теплообменной аппаратуре и коммуникациях. Для оценки коррозионной стойкости металлов применяют десятибалльную шкалу (таблица 1.5). В таблице 1.4 приведены данные, характеризующие коррозионную активность оборотной охлаждающей воды по отношению к углеродистой стали.

Таблица 1.4.

Шестибалльная шкала термостабильности воды

Группа термостабильности	Скорость карбонатных отложений		Балл термостабильности
	г/м ² *ч	мм/мес	
I – совершенно термостабильная	0	0	1
II – термостабильная	< 0,3	< 0,1	2
	0,3-1,5	0,1-0,5	3
III – ограниченно термостабильная	1,5-3	0,5-1	4
IV – нетермостабильная	3-15	1-5	5
	> 15	> 5	6

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов в воде

Группа стойкости металла в воде	Скорость коррозии, г/м ² *ч	Проницаемость коррозии, мм/год	Балл коррозионной стойкости
I – совершенно стойкие	< 0,0009	< 0,001	1
II – весьма стойкие	0,0009-0,0045	0,001-0,005	2
	0,0045-0,009	0,005-0,01	3
III – стойкие	0,009-0,045	0,01-0,05	4
	0,045-0,09	0,05-0,1	5
IV – относительно стойкие	0,09-0,45	0,1-0,5	6
	0,45-0,9	0,5-1	7
V – малостойкие	0,9-4,5	4-5	8
	4,5-9,1	5-10	9
VI – нестойкие	> 9,1	> 10	10

Таблица 1.6

Данные для оценки агрессивности (коррозионности) оборотной охлаждающей воды по отношению к углеродистой стали

Наименование показателей	Един. измер.	Показатели для слабоагрессивной воды (коррозионная стойкость металла 5-6 баллов)	Условия увеличения агрессивности
Суммарное содержание Cl ⁻ и SO ₄ ²⁻	мг/л	< 100	> 100
Общее солесодержание (TDS, сухой остаток)	мг/л	< 500	> 500
Карбонатная жесткость	мг-экв/л	> 2,5	< 2,5
pH		6 – 9	< 6 или > 9
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /л	4 – 6	> 6

1.2. Нормативные методы коррекционной обработки подпиточной и циркуляционной воды оборотных систем охлаждения.

В настоящее время на территории РК для проектирования ОСО и разработки их ВХР применяется «СНиП РК 4.01-02-2009. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»

Согласно данному документу оборотная вода не должна вызывать коррозии труб, оборудования и теплообменных аппаратов, биологических обрастаний, выпадения взвесей и солевых отложений на поверхностях теплообмена [2].

Для обеспечения указанных требований надлежит предусматривать соответствующую очистку и обработку добавочной и оборотной воды. В приложениях к СНиПу для коррекции ВХР приводятся рекомендации по подбору реагентов и их дозировке в охлаждающую воду.

1.2.1. Предотвращение механических отложений.

Возможность и интенсивность образования механических отложений в резервуарах градирен и в теплообменных аппаратах надлежит определять на основе опыта эксплуатации

систем оборотного водоснабжения, расположенных в данном районе, работающих на воде данного источника, или исходя из данных о концентрации, гранулометрическом составе (гидравлической крупности) механических загрязнений воды и воздуха.

Для предотвращения и удаления механических отложений в теплообменных аппаратах следует предусматривать периодическую гидроимпульсную или гидропневматическую очистку их в процессе работы, а также частичное осветление оборотной воды.

Вода поверхностных источников, используемая в качестве добавочной в системе оборотного водоснабжения, должна подвергаться осветлению.

1.2.2. Борьба с цветением воды и биологическим обрастанием.

Для предупреждения развития бактериальных биологических обрастаний в теплообменных аппаратах и трубопроводах надлежит применять хлорирование оборотной воды. Дозу хлора следует определять по опыту эксплуатации систем водоснабжения на воде данного источника или исходя из хлоропоглощаемости добавочной воды.

Хлораторные установки для обработки охлаждающей воды и расходные склады надлежит проектировать согласно разделу 6 «СНиП РК 4.01-02-2009».

Резервные хлораторы предусматривать не следует. Подачу хлорной воды от хлораторов надлежит производить в приемную камеру охлажденной воды.

При высокой хлоропоглощаемости воды и большой протяженности трубопроводов системы оборотного водоснабжения допускается рассредоточенный ввод хлорной воды в нескольких точках системы.

В целях предупреждения обрастания водорослями градирен, брызгальных бассейнов и оросительных теплообменных аппаратов должна применяться периодическая обработка охлаждающей воды раствором медного купороса. Концентрацию раствора медного купороса в растворном баке надлежит принимать 2-4 %.

Для предупреждения биологического обрастания градирен, брызгальных бассейнов и оросительных холодильников надлежит применять дополнительно периодическое хлорирование воды перед сооружениями. Дополнительную обработку воды хлором надлежит производить одновременно или после обработки ее раствором медного купороса.

1.2.3. Предотвращение карбонатных отложений

Указания подраздела распространяются на проектирование систем оборотного водоснабжения для охлаждения теплообменных аппаратов, машин и агрегатов, в которых не происходит кипения охлаждающей воды у поверхности теплообмена и нагревание воды не превышает 60°C при использовании пресных вод источников и очищенных сточных вод.

При специальных требованиях к охлаждающей воде, нагреве воды св. 60°C и местном кипении ее у поверхностей теплообмена надлежит принимать умягчение добавочной воды на ионообменных фильтрах (натрий-катионирование или водород-катионирование с “голодной” регенерацией), допускается применение известкования с последующим подкислением или фосфатированием.

Обработку воды для предотвращения карбонатных отложений следует предусматривать при условии $\text{ЩдобКу} \geq 3$, Щдоб — щелочность добавочной воды, мг-экв/л, Ку — коэффициент концентрирования (упаривания) солей, не выпадающих в осадок. При этом надлежит принимать следующие методы обработки воды: подкисление, рекарбонизацию, фосфатирование полифосфатами и комбинированную фосфатно-кислотную обработку. Допускается применение фосфорорганических соединений.

Методы обработки воды для предотвращения карбонатных отложений надлежит принимать:

подкисление — при любых величинах щелочности и общей жесткости природных вод и коэффициентах упаривания воды в системах;

фосфатирование — при щелочности добавочной воды Щдоб до 5,5 мг-экв/л;

комбинированную фосфатно-кислотную обработку воды — в случаях, когда фосфатирование не предотвращает карбонатных отложений или величина продувки экономически нецелесообразна;

рекарбонизацию дымовыми газами или газообразной углекислотой — при щелочности добавочной воды до 3,5 мг-экв/л и коэффициентах упаривания, не превышающих 1,5.

1.2.4. Предотвращение сульфатных отложений

Для предотвращения отложений сульфата кальция производство активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в оборотной воде не должно превышать произведения растворимости сульфата кальция.

Для поддержания величин произведения активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в указанных пределах следует принимать соответствующий коэффициент упаривания оборотной воды путем изменения величины продувки системы или частичного снижения концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в добавочной воде.

Для борьбы с сульфатными отложениями в системах оборотного водоснабжения надлежит принимать обработку воды триполифосфатом натрия дозой 10 мг/л по PO_4^{3-} или карбоксиметилцеллюлозой дозой 5 мг/л.

1.2.5. Предотвращение коррозии

Для предотвращения коррозии трубопроводов и теплообменных аппаратов следует применять обработку воды ингибиторами, защитные покрытия и электрохимическую защиту.

При применении ингибиторов и защитных покрытий в системах оборотного водоснабжения следует предусматривать тщательную очистку теплообменных аппаратов и трубопроводов от отложений и обрастаний.

В качестве ингибиторов следует применять триполифосфат натрия, гексаметафосфат натрия, трехкомпонентную композицию (гексаметафосфат или триполифосфат натрия, сульфат цинка и бихромат калия), силикат натрия и др.

Наиболее эффективный вид ингибитора коррозии должен определяться в каждом конкретном случае опытным путем.

Примечание. При обосновании допускается применять нитрит натрия и фосфорорганические соединения.

При использовании триполифосфата и гексаметафосфата натрия для создания защитной фосфатной пленки концентрация ингибиторов в воде оборотной системы в течение 2—3 суток должна приниматься 100 мг/л (в расчете на P_2O_5), в добавочной воде для поддержания фосфатной пленки — 7—15 мг/л по P_2O_5 . При этом скорость движения воды в теплообменных аппаратах должна быть не менее 0,3 м/с.

При применении трехкомпонентного ингибитора дозу бихромата калия следует принимать 2—4 мг/л по CrO_4^{2-} , сульфата цинка — 1,5—3 мг/л по Zn^{2+} и гексаметафосфата или триполифосфата натрия — 3—5 мг/л по PO_4^{3-} .

При этом необходимо определять концентрации хрома в водоеме при сбросе продувочной воды и в атмосферном воздухе рабочей зоны при уносе ветром капель воды из градирен. Эти концентрации не должны превышать предельно допустимые (ПДК).

Скорость движения воды в системе должна быть не менее 0,5 м/с.

При использовании силиката натрия дозу жидкого стекла в расчете на SiO_2 следует принимать равной 10 мг/л, при высоких концентрациях хлоридов и сульфатов (500 мг/л и более) дозу необходимо увеличивать до 30–40 мг/л.

Защитные покрытия и электрохимическую защиту трубопроводов следует проектировать согласно пп. 8.32—8.41 в СНиП РК 4.01-02-2009.

1.3. Основные факторы, влияющие на скорость коррозии металла.

1. Температура и pH воды.

Можно выделить 3 зоны:

1) $\text{pH} < 4,3$. Скорость коррозии чрезвычайно быстро возрастает с понижением pH. (Сильнокислая среда).

2) $4,3 < \text{pH} < 9-10$. Скорость коррозии мало зависит от pH.

3) $9-10 < \text{pH} < 13$. Скорость коррозии убывает с ростом pH и коррозия практически прекращается при $\text{pH} = 13$. (Сильнощелочная среда).

В первой зоне на катоде протекает реакция разряда ионов водорода и образование молекулярного водорода; во второй и третьей зоне - идет реакция образования ионов гидроксидов OH^- .

Повышение температуры ускоряет анодные и катодные процессы, так как увеличивает скорость движения ионов, а, следовательно, и скорость коррозии.

2. Содержание кислорода в воде.

Как было отмечено выше, железо труб подвергается интенсивной коррозии в кислой среде при $\text{pH} < 4,3$ и практически не корродирует при $\text{pH} > 4,3$, если в воде отсутствует растворенный кислород.

Если в воде есть растворенный кислород, то коррозия железа будет идти и в кислой, и в щелочной среде.

3. Парциальное давления CO_2

Огромное влияние на разрушение металла труб коррозией оказывает свободная углекислота (CO_2), содержащаяся в пластовых водах. Известно, что при одинаковом pH коррозия в углекислотной среде протекает более интенсивно, чем в растворах сильных кислот.

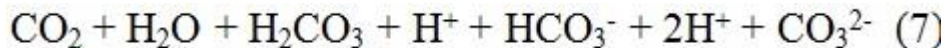
На основании исследований установлено, что системы с парциальным давлением $\text{CO}_2 = 0,02$ МПа считаются коррозионно-неопасными, при $\text{Рпар } \text{CO}_2 > 0,02$ МПа - возможны средние скорости коррозии, а при $\text{Рпар } \text{CO}_2 \gg 0,2$ МПа - среда является высокочрезвычайно коррозионной.

Объяснение влияния CO_2 на коррозионную активность среды связано с формами нахождения CO_2 в водных растворах.

Это:

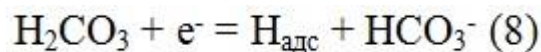
- растворенный газ CO_2 ;
- недиссоциированные молекулы H_2CO_3 ;
- бикарбонат ионы HCO_3^- ;
- карбонат-ионы CO_3^{2-} .

В равновесных условиях соблюдается баланс между всеми формами:

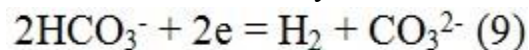


Растворенный в воде CO_2 может влиять по двум причинам:

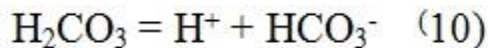
1. Молекулы H_2CO_3 непосредственно участвуют в катодном процессе :



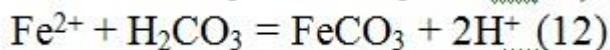
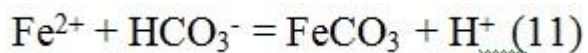
2. Катодному восстановлению подвергается бикарбонат-ион:



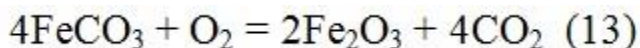
3. H_2CO_3 играет роль буфера и поставляет ионы водорода H^+ по мере их расходования в катодной реакции (2):



При взаимодействии Fe^{2+} с HCO_3^- или H_2CO_3 образуется осадок карбоната железа FeCO_3 :



Все исследователи обращают внимание на огромное влияние продуктов коррозии железа на скорость процесса коррозии.



Эти осадки являются полупроницаемыми для коррозионно-агрессивных компонентов среды и замедляют скорость разрушения металла.

Таким образом, можно выделить две характерные особенности действия диоксида углерода.

- Увеличение выделения водорода на катоде.
- Образование карбонатно-оксидных пленок на поверхности металла.

4. Минерализация воды.

Растворенные в воде соли являются электролитами, поэтому увеличение их концентрации до определенного предела повысит электропроводность среды и, следовательно, ускорит процесс коррозии.

Уменьшение скорости коррозии связано с тем, что:

- 1) уменьшается растворимость газов, CO_2 и O_2 , в воде;
- 2) возрастает вязкость воды, а, следовательно, затрудняется диффузия, подвод кислорода к поверхности металла.

5. Давление.

Повышение давления увеличивает процесс гидролиза солей и увеличивает растворимость CO_2 .

6. Структурная форма потока

Относительные скорости течения фаз (газа и жидкости) в газожидкостных смесях (ГЖС) в сочетании с их физическими свойствами (плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением и т.д.) и размерами и положением в пространстве трубопровода определяют формирующиеся в них структуры двухфазных (многофазных) потоков. Можно выделить семь основных структур: пузырьковая, пробковая, расслоенная, волновая, снарядная, кольцевая и дисперсная.

Каждая структура ГЖС влияет на характер коррозионного процесса.

Вопрос о связи коррозионных процессов в трубопроводах со структурами потоков, транспортируемых по ним ГЖС, всегда интересовал и продолжает интересовать специалистов по коррозии. Имеющаяся информация о связи структур течения ГЖС с коррозией является еще недостаточно полной.

Но тем не менее известно, например, что кольцевая (дисперсно-кольцевая) структура ГЖС снижает интенсивность коррозии трубопровода; снарядная (пробково-диспергированная) может способствовать коррозионно-эрозионному износу трубопровода по нижней образующей трубы на восходящих участках трассы, а расслоенная (плавная расслоенная) - развитию общей и питтинговой коррозии в зоне нижней образующей трубы и

в, так называемых, "ловушках" жидкости (особенно при выделении соленой воды в отдельную фазу).

7. Биокоррозия, коррозия под действием микроорганизмов.

С этой точки зрения имеют значение сульфатвосстанавливающие анаэробные бактерии (восстанавливают сульфаты до сульфидов), обычно обитающие в сточных водах, нефтяных скважинах и продуктивных горизонтах.

В результате деятельности сульфатвосстанавливающих образуется сероводород H_2S , который хорошо растворяется в нефти и в дальнейшем взаимодействует с железом, образуя сульфид железа, выпадающий в осадок:



Под влиянием H_2S изменяется смачиваемость поверхности металла, поверхность становится гидрофильной, то есть легко смачивается водой, и на поверхности трубопровода образуется тонкий слой электролита, в котором и происходит накопление осадка сульфида железа FeS .

Сульфид железа является стимулятором коррозии, так как участвует в образовании гальванической микропары $Fe - FeS$, в которой является катодом (то есть разрушаться будет Fe как анод).

Некоторые ионы, например ионы хлора, активируют металлы. Причиной активирующей способности ионов хлора является его высокая адсорбируемость на металле. Хлор-ионы вытесняют пассиваторы с поверхности металла, способствуют растворению пассивирующих пленок и облегчают переход ионов металла в раствор. Особенно большое влияние ионы хлора оказывают на растворение железа, хрома, никеля, нержавеющей стали, алюминия.

Итак, коррозионную агрессивность воды характеризуют природа и количество растворенных солей, pH, жесткость воды, содержание кислых газов.

Степень влияния этих факторов зависит от температуры, давления, структуры потока и количественного соотношения воды и углеводородов в системе.

1.4. Основные факторы влияющие на образование накипи.

Основной причиной образования на охлаждаемых поверхностях отложений низкотемпературной накипи (минеральных) является распад при нагреве воды содержащихся в ней бикарбонатов кальция и магния, превращающихся в малорастворимые в виде $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ или $MgCO_3$. Распаду подвергается та часть бикарбонатов, содержание которых превышает предельно-допустимое для данного состава воды. Предельная карбонатная жесткость определяется расчетом или экспериментально. При карбонатной жесткости, превышающей предельно-допустимую, вода склонна к накипеобразованию. Для предотвращения низкотемпературной накипи проводят фосфатирование, подкисление, рекарбонизацию охлаждающей воды и т. д. В последнее время получила применение обработка охлаждающей воды оксиэтилендифосфоновой кислотой.

1.5. Биологическое обрастание

Опыт эксплуатации показывает, что без стабилизационной обработки оборотной воды на поверхностях, контактирующих с водой, образуется слой биоорганизмов, резко снижающий эффективность работы установок.

Ухудшение работы теплообменного оборудования, вызывающее перерасход энергии может иметь следующие причины:

- обрастание водоохлаждающих устройств, водоводов водорослями, ракушками, колониями микроорганизмов и засорение трубопроводов и трубных досок отмершими организмами. Это приводит к снижению пропускной способности трубопроводов и каналов, увеличивает потери напора и создает необходимость периодической механической очистки;

- образование илистых отложений или илисто-биологических отложений - обрастаний при большом содержании взвеси в охлаждающей воде, повышенной ее температуре и шероховатой поверхности трубок.

Периодическая механическая очистка трудоемка, требует дополнительных затрат и не обеспечивает экономичной и надежной эксплуатации в период между очистками.

Причиной образования биологических обрастаний на поверхностях, контактирующих с водой, являются всегда содержащиеся в природной воде растительные примеси в виде планктона, ила, остатков растений, некоторые виды микроорганизмов и бактерий. Биологические обрастания состоят не из одного какого-либо вида растений или микроорганизмов, а из нескольких видов с преобладанием некоторых из них среди остальных.

На образование биопленки влияют следующие параметры:

- pH
- температура воды
- ионная концентрация и тип
- тип поверхности
- условия течения
- число и тип микроорганизмов
- наличие взвешенных твердых частиц
- коррозионные и накипные продукты
- содержание кислорода

Все эти факторы должны быть приняты во внимание при разработке контрольных мер профилактики биопленки. Особенно важно учитывать эти факторы при обработке воды биоцидами.

Проблемы вызываемые микроорганизмами:

Проблемы, вызываемые загрязнением, можно разделить на три больших группы:

- влияние загрязнения на эффект теплопереноса
- влияние загрязнения на процесс течения жидкости
- влияние загрязнения на коррозионные процессы

Эффекты теплопереноса.

Обширные лабораторные исследования показали, что любой значительный рост микроорганизмов на поверхности теплопередачи может вызвать снижение общего коэффициента теплопередачи благодаря сопротивлению изоляции биофильма.

Эффекты течения жидкости.

Присутствие даже тонкого слоя биологического загрязнения в системе может вызвать резко выраженное уменьшение площади поперечного сечения труб, каналов. Опыт показывает, что биофильм толщиной 1,5 мм на 12,7 мм диаметре трубы будет уменьшать площадь поперечного сечения на 42%, что соответственно увеличивает расход энергии на прокачку.

Коррозионные эффекты.

Было установлено, что любые микроорганизмы прямо или косвенно влияют на коррозию металла. Микроорганизмы могут участвовать или ускорять основные электрохимические коррозионные процессы.

Основным методом борьбы с биологическими обрастаниями является обработка воды биоцидами – веществами, влияющими на жизнедеятельность микроорганизмов и колоний, а также на энергию закрепления их на теплообменной поверхности. Обычно биоциды подразделяют на неорганические вещества (металлы – отравители, хлор и его соединения, озон, бром, BrCl , марганцевокислый калий KmnO_4 , медный купорос CuSO_4 , и др.) и органические соединения (хлорированные фенолы, органосульфаты, бромированная органика).

Концентрация биоцидов в воде может влиять на многие факторы (например, щелочной гидролиз). Продолжение режима эффективного дозирования должно быть стабильным. Существует также число характеристик градирни, которые могут существенно влиять на эксплуатационные свойства биоцидов. Поэтому при разработке программы эффективного дозирования это должно быть внимательно изучено.

2. ОБОРОТНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕЦА

2.1. Краткая характеристика системы охлаждения печей Ванюкова Медеплавильного цеха.

Медеплавильный цех для охлаждения кессонированных элементов печей использует двухконтурную систему оборотного водоснабжения. Система охлаждения (рис. 2.3.1 и 2.3.2) каждой печи состоит из первичного контура (для охлаждения печи) и вторичного контура (для охлаждения воды первичного контура). В таблицах 2.1.1 и 2.1.2 представлены характеристики систем охлаждения ПВ-1 и ПВ-2, соответственно.

Таблица 2.1.1

Характеристика системы охлаждения ПВ-1.

№П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ЗНАЧЕНИЕ
1	Максимальная тепловая нагрузка градирни	$W_{\max}=Q*\Delta T/860$	МВт	21
2	Количество секций в градирне		шт.	2
3	Объем системы (без учета бассейнов):			
	1-ый контур	V_{c1}	м ³	85
	2-ый контур	V_{c2}	м ³	410
4	Объем бассейна градирни	$V_{\text{бас.}}$	м ³	
5	Циркуляционный расход	$Q_{\text{ц}}$	м ³ /ч	1400 - 1800
6	Объем подпитки:	$Q_{\text{доб}}$		
	В 1-ый контур	$Q_{\text{доб1}}$	м ³ /ч	до 15
	Во 2-ый контур	$Q_{\text{доб2}}$	м ³ /ч	до 80
7	Испарение	$Q_{\text{исп}}=Q_{\text{ц}}* \Delta T*0,00155$	м ³ /ч	до 28
8	Продувка и капельный унос	$Q_{\text{пр.}} + Q_{\text{ун.}} = Q_{\text{исп}}/(C-1)$	м ³ /ч	до 40
9	Температура на выходе из градирни	T_1	°С	20-30
10	Температура на входе в градирню	T_2	°С	25-40
11	Падение температуры охлаждающей воды	$\Delta T=T_2-T_1$	°С	5-10
12	Максимальная температура самой сильно нагретой поверхности теплообмена:	T_s	°С	
	В 1-ом контуре	T_s	°С	
	Во 2-ом контуре	T_s	°С	До 65
13	Коэффициент упаривания	C	-	1,2-1,5
14	Число дней в работе		-	355
15	Теплообменники трубчатые	1400 ТП-16-М1	шт.	6
16	Теплообменники пластинчатые	NT250S	шт.	2

17	Материалы, соприкасающиеся с охлаждающей водой	Углеродистая сталь (трубопроводы, кожухи теплообменников), нержавеющая сталь (трубки теплообменников).
----	--	--

Таблица 2.1.2

Характеристика системы охлаждения ПВ-2.

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ЗНАЧЕНИЕ
1	Максимальная тепловая нагрузка градирни	$W_{\max}=Q*\Delta T/860$	МВт	21
2	Количество секций в градирне		шт.	2
3	Объем системы:			
3.1	1-ый контур	V_{c1}	м ³	143
3.2	2-ый контур	V_{c2}	м ³	555
4	Объем бассейна градирни	$V_{\text{бас.}}$	м ³	
5	Циркуляционный расход:			
5.1	1-ый контур	$Q_{ц1}$	м ³ /ч	1000 - 1600
5.2	2-ый контур	$Q_{ц2}$	м ³ /ч	1200 - 1800
6	Объем подпитки:	$Q_{\text{доб}}$		
6.1	В 1-ый контур	$Q_{\text{доб1}}$	м ³ /ч	до 15
6.2	Во 2-ый контур	$Q_{\text{доб2}}$	м ³ /ч	до 80
7	Испарение	$Q_{\text{исп}}=Q_{ц}* \Delta T*0,00155$	м ³ /ч	до 28
8	Продувка и капельный унос	$Q_{\text{пр.}} + Q_{\text{ун.}} = Q_{\text{исп.}}/(C-1)$	м ³ /ч	до 50
9	Температура на выходе из градирни	T_1	°С	20-30
10	Температура на входе в градирню	T_2	°С	25-40
11	Падение температуры охлаждающей воды	$\Delta T=T_2-T_1$	°С	5-10
12	Максимальная температура самой сильно нагретой поверхности теплообмена:	T_s	°С	
12.1	В 1-ом контуре	T_s	°С	
12.2	Во 2-ом контуре	T_s	°С	До 65
13	Коэффициент упаривания	C	-	1,2-1,5
14	Число дней в работе		-	355
15	Теплообменники трубчатые		шт.	6
16	Материалы, соприкасающиеся с охлаждающей водой	Углеродистая сталь (трубопроводы, кожухи теплообменников), нержавеющая сталь и латунь (трубки теплообменников).		

2.2. Качество подпиточной и циркуляционной воды.

Таблица 2.2.1

Качество подпиточной и оборотной воды первичного контура.

№П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЕД. ИЗМ.	ПОДПИТКА 1-ГО КОНТУРА	ОБОРОТНЫЙ ЦИКЛ 1-ГО КОНТУРА
1	рН	-	8,9-10,28	9,9-11,2
2	Общая жесткость	мг-экв./л	0,3-0,8	0,85-2,30
3	Общая щелочность	мг-экв./л	2,56-3,01	3,4-9,1
4	Сумма минеральных веществ	мг/л	1410-1960	1806-3025
5	Взвешенные вещества	мг/л	5,4-11,2	5,9-31,2
6	Сульфаты	мг/л	450-710	640-990
7	Хлориды	мг/л	240-350	370-530
8	Железо	мг/л	0,9-1,8	2,1-5,5
9	Кремниевая кислота	мг/л	0,6-1,1	1,1-2,5
10	Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	1,2-3,0	1,9-5,9

Таблица 2.2.2.

Качество подпиточной и оборотной воды вторичного контура.

№П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЕД. ИЗМ.	ПОДПИТКА 2-ГО КОНТУРА	ОБОРОТНЫЙ ЦИКЛ 2-ГО КОНТУРА
1	рН	-	8,16 – 9,0	8,31-9,1
2	Общая жесткость	мг-экв./л	10,4 – 12,8	15,4-22,8
3	Общая щелочность	мг-экв./л	5,1-6,1	8,6-12,6
4	Взвешенные вещества	мг/л	5,3-23,9	4,6-11,5
5	Сумма минеральных веществ	мг/л	1450-1570	2160-3310
6	Сульфаты	мг/л	510-670	620-910
7	Хлориды	мг/л	250-400	350-520
8	Железо	мг/л	0,07 – 0,1	0,35-1,50
9	Кремниевая кислота	мг/л	9,1-15,0	16,0-23,6
10	Окисляемость перманганатная	мг/л	2,6-3,7	1,6-6,4

2.3. Краткое описание схемы охлаждения печей Ванюкова МПЦ.

Принципиальные схемы охлаждения печей Ванюкова (ПВ-1 и ПВ-2) представлены на рис. 2.3.1 и 2.3.2. Перечень оборудования систем оборотного водоснабжения ПВ-1 и ПВ-2 приведен в таблице 2.4.1.

Системы охлаждения ПВ-1 и ПВ-2 состоят из двух контуров: закрытого - первичного и открытого – вторичного. 1-ый контур предназначен для охлаждения непосредственно элементов печи Ванюкова, 2-ый – для охлаждения нагретой воды закрытого контура в теплообменных аппаратах.

Системы охлаждения ПВ-1 и ПВ-2 имеют по 6 кожухотрубных теплообменника:

- ПВ-1 – Т/О №5, 6, 7, 8, 9, 12;

- ПВ-2 – Т/О №1, 2, 3, 4, 10, 11.

Нагретая вода 1-го контура от элементов печи поступает в теплообменные аппараты. Охлажденная вода под остаточным давлением поступает в насосную станцию 1-го контура, и далее, снова подается к элементам печи. В теплообменных аппаратах вода 1-го контура циркулирует в межтрубном пространстве, а вода 2-го контура – в трубном пространстве.

Потери воды в 1-ом контуре обусловлены, в основном, утечками через сальниковые уплотнения насосов. Для восполнения потерь в 1-ом контуре используют воду из озера Балхаш, подвергнутую 2-х ступенчатому умягчению на Na-катионитовых фильтрах Балхашской ТЭЦ. Существует возможность подачи воды на подпитку после 1-ой ступени Na-катионитовых фильтров.

Нагретая вода 2-го контура из теплообменников поступает на две секции вентиляторной градирни для охлаждения. В трубопроводе подачи воды на градирню организована продувочная линия обратного цикла. Продувка осуществляется в промливневую канализацию. С градирни вода поступает в приемный резервуар насосной станции, и далее, насосами подается в теплообменное оборудование. Часть воды подается к насосам котлов-утилизаторов.

Подпитка 2-го контура осуществляется из системы производственного водоснабжения. Трубопровод подпитки заведен в резервуар насосной станции. В систему производственного водоснабжения подается вода из озера Балхаш после использования для охлаждения турбин Балхашской ТЭЦ. В теплый период года для снижения температуры воды в систему дополнительно подают воду непосредственно из озера.

Разница в объемах систем охлаждения ПВ-1 и ПВ-2 (см. таблицы 2.1.1 и 2.1.2) обусловлена различиями в длине и диаметров трубопроводов обратных циклов.

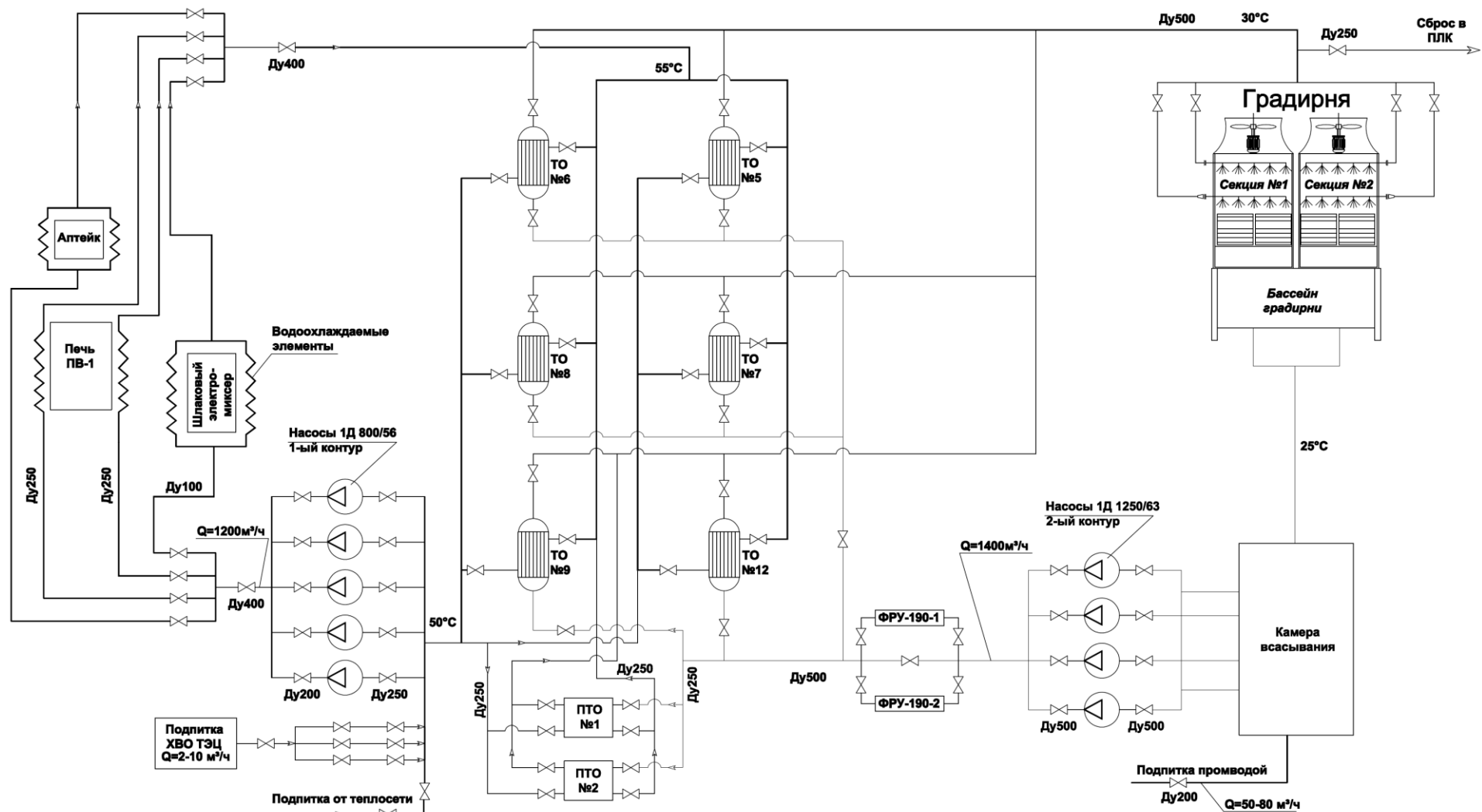


Рис. 2.3.1 Схема оборотного водоснабжения Печи Ванюкова №1.

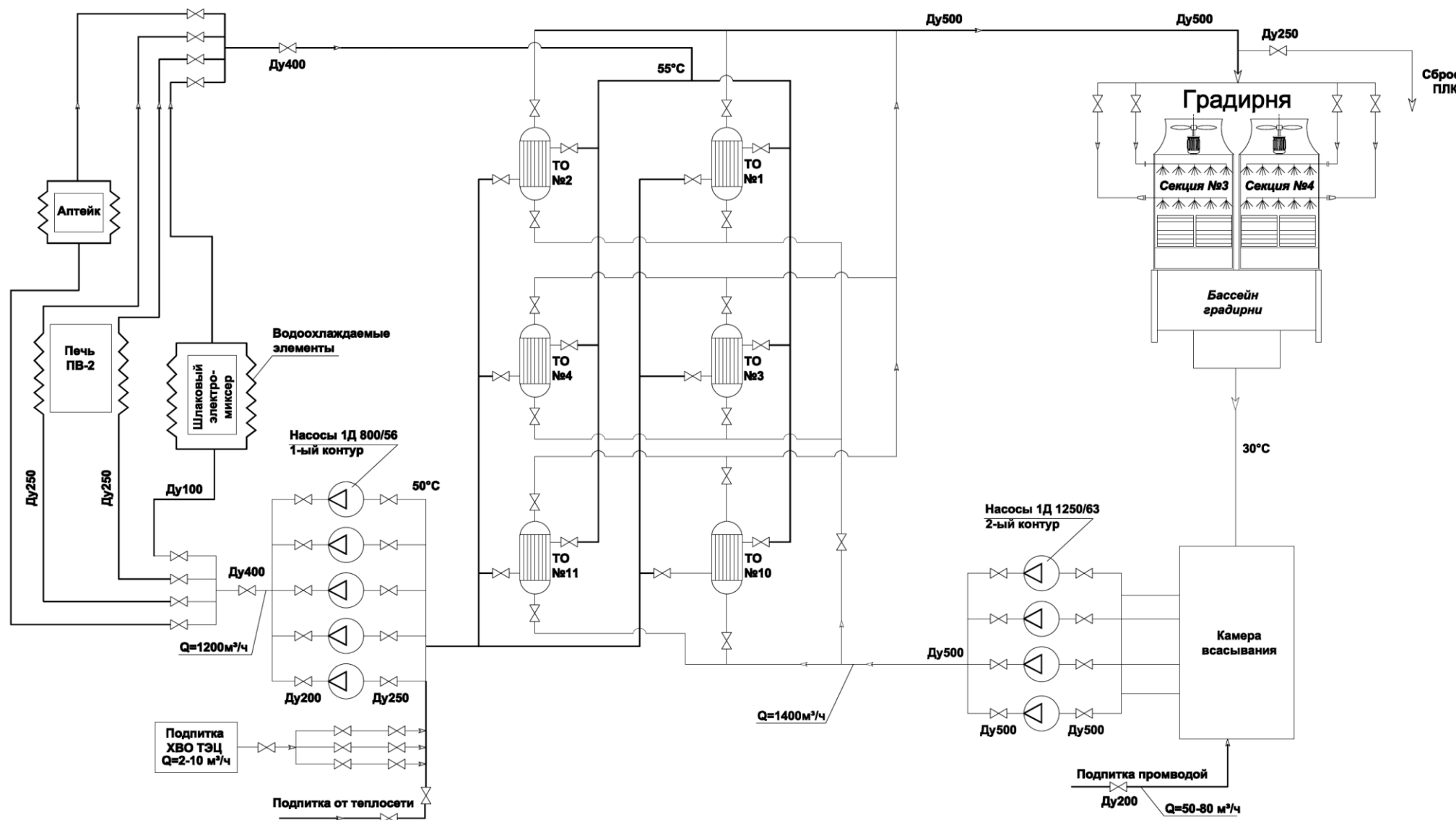


Рис. 2.3.2. Схема оборотного водоснабжения Печи Ванюкова №2.

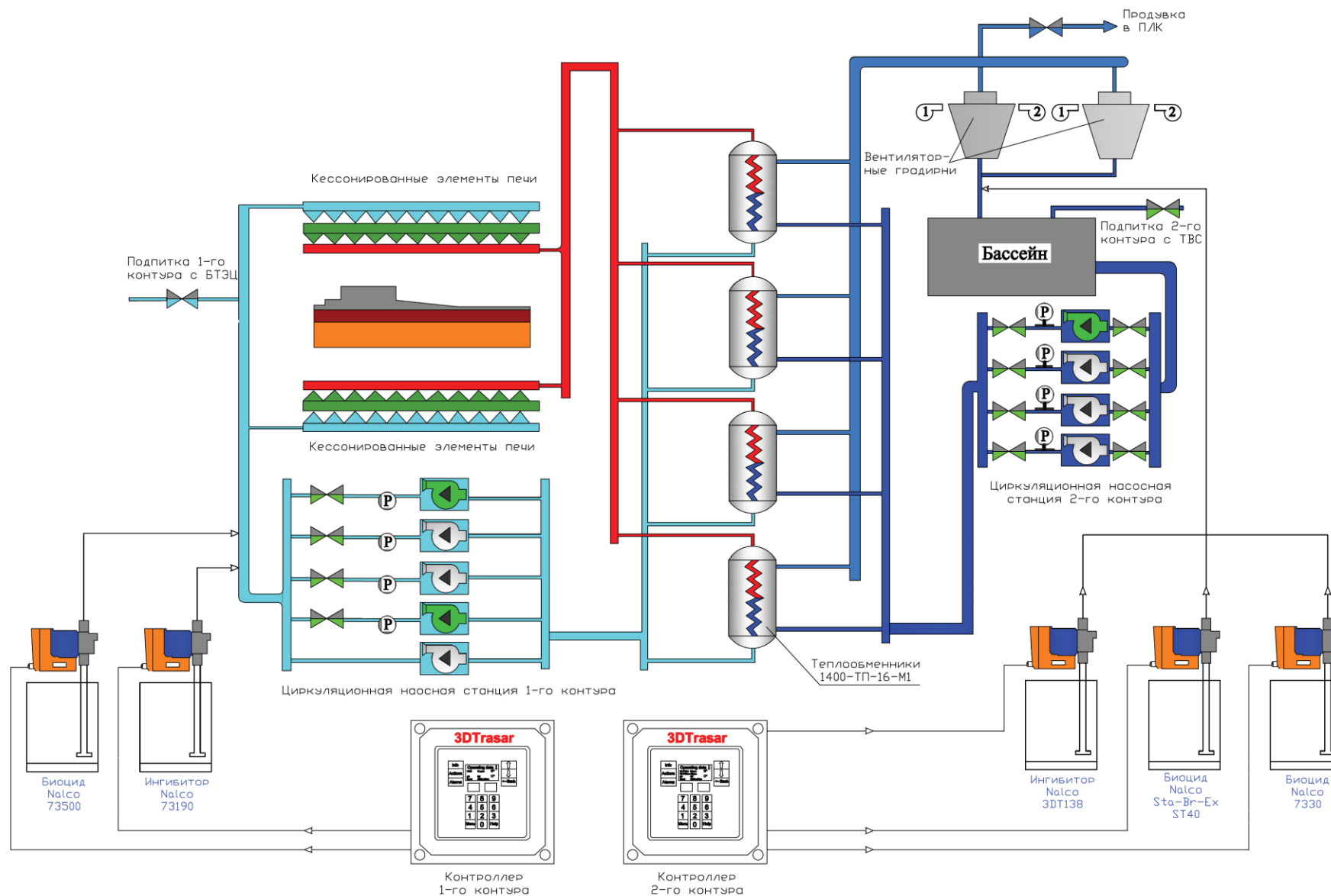


Рис. 2.3.3. Реагентная обработка охлаждающей воды печей Ванюкова.

2.4. Перечень оборудования системы охлаждения печей.

Таблица 2.4.1.

Технологическое оборудование системы охлаждения печей			
№ П/П	НАИМЕНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	КОЛИЧЕСТВО	ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ПВ-1			
1	Теплообменный аппарат	8	<p>Трубчатые: №№5, 8, 9 марки <u>1400 —ТП — 16 — М1 — 0</u> 25—6—Т—2 с трубками из Ст. 20; №№7, 12 марки <u>1400 —ТП — 16 — М1</u> 25—6—Т—2 с трубками из материала 12Х18Н10; №6 марки «Lotus ВЕМ» с трубками из НЖ</p> <p>Пластинчатые: №№ 1.1 и 1.2 марки NT250SV/B-10/170-NBR С пластинами из нержавеющей стали</p>
2	Насосы подачи воды закрытого контура к элементам печи	4	2 рабочих, 2 резервных; Марка 1Д800-56, $n = 1450$ об/мин, $N = 166$ кВт, $D_k = 430$ мм
3	Градирни вентиляторные	1	секции №1, №2; согласно типовому проекту 901-6-48, градирни с вентиляторами 2ВГ70, пленочным оросителем; площадь каждой секции 144 м^2 ; электродвигатель ВАСО 15-23-34, мощностью 75 кВт.
4	Насосы подачи воды в теплообменное оборудование	4	2 рабочих, 2 резервных; Марка 1Д1250-63, $n = 1450$ об/мин, $N = 290$ кВт, $D_k = 455$ мм
5	Фильтр самопромывной на первичном контуре	1	фильтр Amiad Automatische Filtersysteme для удаления частиц размерами более 100 мкм, производительность $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.
6	Фильтр самопромывной на вторичном контуре	1	фильтр Amiad Automatische Filtersysteme для удаления частиц размерами более 130 мкм, производительность $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.
7	Фильтр ручного управления (ФРУ)	1	Марка ФРУ-190-2 для удаления частиц размерами более 2000 мкм, производительность $2700 \text{ м}^3/\text{ч}$.
8	Автоматическая система дозирования реагентов Nalco «3DTrasar», в состав	1	

№ П/П	НАИМЕНОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	КОЛИЧЕСТВО	ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
	которой входят: - шкаф управления; - насосы дозаторы.		
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ПВ-2			
9	Теплообменный аппарат	6	№№1-4 марки <u>1400 —ТП — 16 — М1 — 0</u> <u>25 —6 —Т —2</u> с трубками из Ст. 20; №10 с трубками из латуни, прямоточный по первичному контуру; №11 марки <u>1400 —ТП — 16 — М1</u> <u>25 —6 —Т —2</u> с трубками из материала 12X18H10
10	Насосы подачи воды закрытого контура к элементам печи	4	2 рабочих, 2 резервных; Марка 1Д800-56, $n = 1450$ об/мин, $N = 166$ кВт, $D_k = 430$ мм
11	Градирни вентиляторные	1	секции №3, №4; согласно типовому проекту 901-6-48, градирни с вентиляторами 2ВГ70, пленочным оросителем; площадь каждой секции 144 м^2 ; электродвигатель ВАСО 15-23-34, мощностью 75 кВт.
12	Насосы подачи воды открытого контура в теплообменное оборудование	4	2 рабочих, 2 резервных; Марка 1Д1250-63, $n = 1450$ об/мин, $N = 290$ кВт, $D_k = 455$ мм
13	Фильтр самопромывной на первичном контуре	1	фильтр Amiad Automatische Filtersysteme для удаления частиц размерами более 100 мкм, производительность $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.
14	Фильтр самопромывной на вторичном контуре	1	фильтр Amiad Automatische Filtersysteme для удаления частиц размерами более 130 мкм, производительность $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.
15	Автоматическая система дозирования реагентов Nalco «3DTrasar», в состав которой входят: - шкаф управления; - насосы дозаторы.	1	

2.5. Состояние поверхности теплообменного оборудования ПВ-1 и ПВ-2.

В оборотной системе охлаждения печей установлено 12 теплообменников:
- Т/О №№ 5, 6, 7, 8, 9, 12 (ПВ-1);

- Т/О №№ 1, 2, 3, 4, 10, 11 (ПВ-2).

Из них 4 теплообменника (Т/О № 6, 7, 11 и 12) из нержавеющей стали, а остальные из стали В20. Паспортный ресурс Т/О составляет 10 лет. Теплообменники из нержавеющей стали служат более расчетного ресурса (на сегодняшний день более 12 лет), остальные заменяются через каждые 4 года вместо положенных 10 лет.

Состояние поверхностей теплообменного оборудования ПВ-1 и ПВ-2, как со стороны первичного, так и со стороны вторичного контура не удовлетворительное (смотрите ниже рис. 2.5.1-2.5.8), однако лучше в 2013 году.

Со стороны 2-го контура, поверхность теплообменника покрыта отложениями, в основном состоящими из продуктов коррозии, карбоната кальция и взвеси, толщиной до 3 мм.

На трубной решетке со стороны входа охлаждающей воды не образуется, как ранее, скопление твердых купных частиц (песок, окалина, отложения, кусочки бетона и т.д.).

В 2014 году, по сравнению с 2012 и 2013 гг., общее количество очисток теплообменного оборудования ПВ-1 и ПВ-2 снизилось с 36 до 12, т.е. снизилось в 3 раза. 3 теплообменника заменены: ТОН№6 (заменен на «Lotus») и ТОН№8 и №4 (заменены на аналогичные).



Рис. 2.5.1.

*Теплообменник №9 «вода-вода». Трубная
решетка (2-ый контур ПВ-1)
24.04.2014г.*

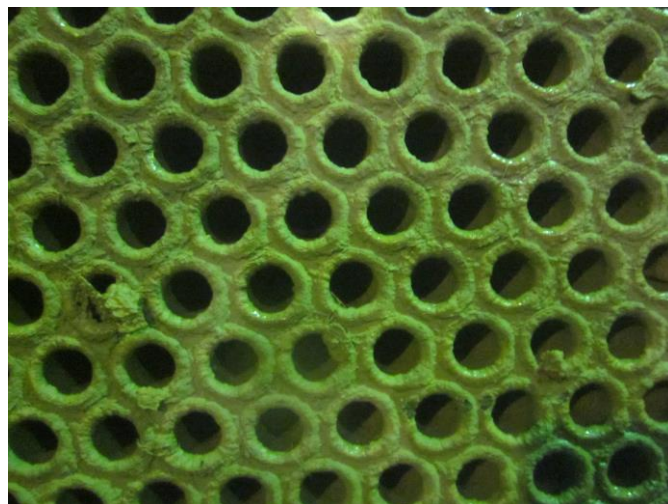


Рис. 2.5.2.

*Теплообменник №9 «вода-вода». Трубная
решетка (2-ый контур ПВ-1)
24.04.2014г.*

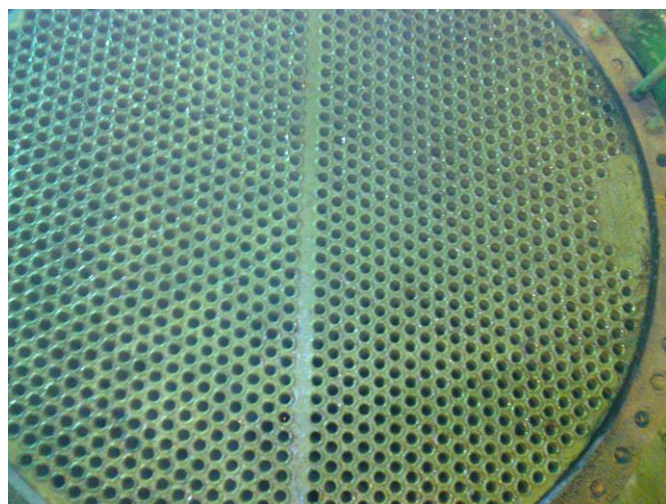


Рис. 2.5.3. Теплообменник №9 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1).
После очистки. 26.04.2014г.



Рис.2.5.4. Теплообменник №9 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1).
После очистки. 26.04.2014г.



Рис. 2.5.5. Теплообменник №5 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1)
15.08.2014г.



Рис. 2.5.6. Теплообменник №5 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1)
15.08.2014г.



Рис. 2.5.7. Теплообменник №12 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1)
02.09.2014г.

Рис. 2.5.8. Теплообменник №12 «вода-вода».
Трубная решетка (2-ый контур ПВ-1)
02.09.2014г.

2.6. Статистика по очистке теплообменников ПВ-1 и ПВ-2 в 2012-2014гг.

Таблица 2.6.1.

Статистика по чистке теплообменников ПВ-1 и ПВ-2 за 2012 год

МПЦ ПВ-1			МПЦ ПВ-2		
№ п/п	Наименование	месяц	№ п/п	Наименование	месяц
1	№6	январь	1	№4	январь
2	№9	февраль	2	№3	май
3	№8	март	3	№1	май

МПЦ ПВ-1			МПЦ ПВ-2		
4	№7	апрель	4	№4	июнь
5	№5	апрель	5	№2	июнь
6	№6	апрель	6	№2	сентябрь
7	№12	май	7	№4	сентябрь
8	№9	май	8	№11	сентябрь
9	№8	май	9	№3	сентябрь
10	№7	май	10	№1	сентябрь
11	№6	май	11	№10	октябрь
12	№12	май	12	№2	ноябрь
13	№8	июнь	13	№11	ноябрь
14	№5	июнь	14	№4	декабрь
15	№7	июль			
16	№5	июль			
17	№6	июль			
18	№3	июль			
19	№12	август			
20	№5	август			
21	№5	ноябрь			
22	№8	ноябрь			

Таблица 2.6.2.

Статистика по чистке теплообменников ПВ-1 и ПВ-2 за 2013 год

МПЦ ПВ-1			МПЦ ПВ-2		
№ п/п	Наименование	Месяц	№ п/п	Наименование	Месяц
1	№12	март	1	№1	март
2	№7	апрель	2	№2	май
3	№5	апрель	3	№4	май
4	№7	май	4	№2	август
5	№9	май	5	№4	август
6	№5	июнь	6	№11	август
7	№5	июнь	7	№2	октябрь
8	№6	июнь	8	№4	ноябрь
9	№8	июнь	9	№1	ноябрь
10	№ 9	июнь			
11	Замена теплообменника №9	июль			
12	№5	октябрь			
13	№6	апрель			
14	№8	апрель			

Таблица 2.6.3.

Статистика по чистке теплообменников ПВ-1 и ПВ-2 за 2014 год

МПЦ ПВ- 1			МПЦ ПВ- 2		
№ п/п	Наименование	Месяц	№ п/п	Наименование	Месяц
1	№5	январь	1	№4	апрель
2	№6	февраль	2	№11	апрель
3	№5 *	апрель	3	№2 **	август
4	№6 *	апрель	4	№3 **	август
5	№9 *	апрель	5	№12 **	август
6	№8	июль	6	Замена теплообменника №4	ноябрь
7	№9	август			
8	Замена теплообменника №8	ноябрь			
9	Замена теплообменника №6	декабрь			

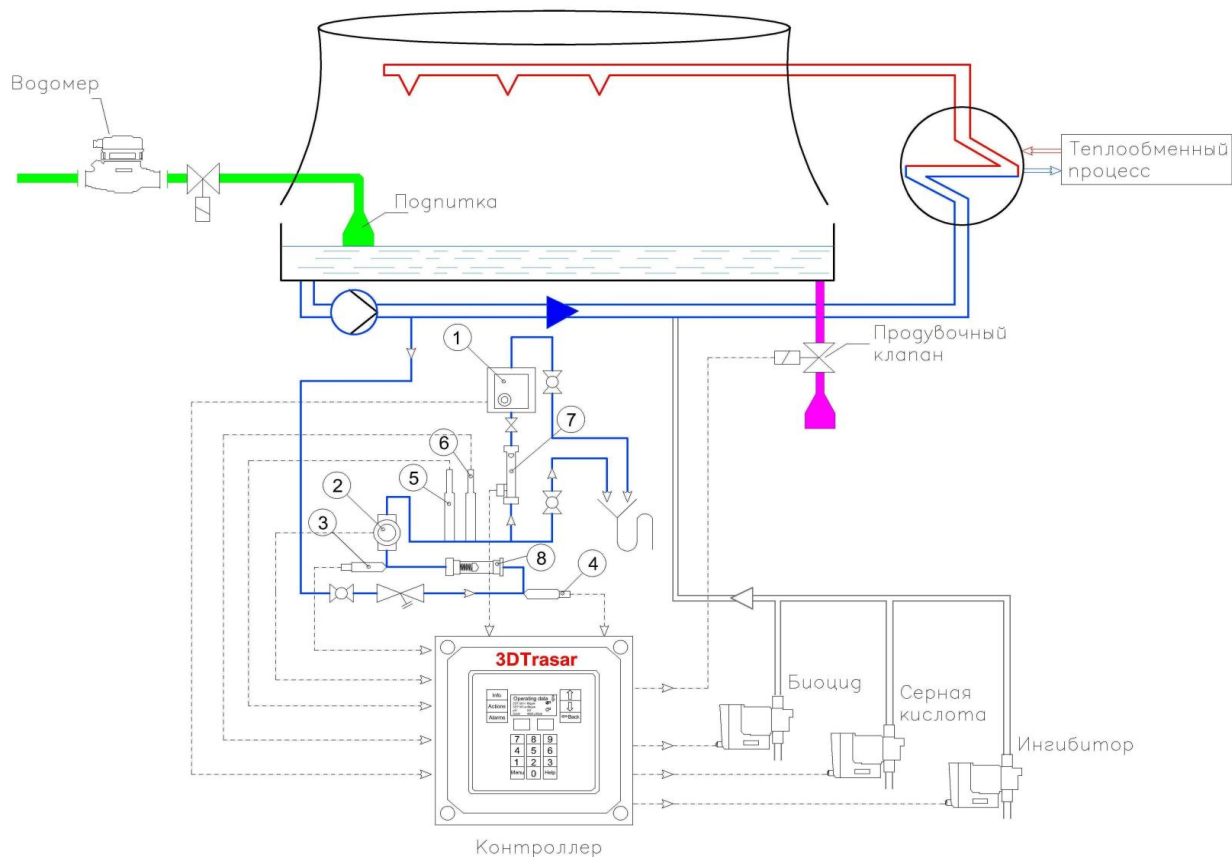
* Капитальный ремонт ПВ-1, ** Текущий ремонт ПВ-2.

Теплообменники из углеродистой стали не подходят для работы при таком водно-химическом режиме, поскольку:

- высокий уровень коррозии выводит из строя ТО раньше заданного заводом-изготовителем срока их службы (4 года вместо 10 лет);
- повышенная шероховатость поверхностей приводит к их значительному заносу отложениями, и подшламой (точечной) коррозии;
- трубки из углеродистой стали не выдерживают частые очистки ТО.

2.7. Сведения о реагентной обработке оборотной воды МПЦ:

Контроль параметров работы по II контурам оборотного водоснабжения ПВ-1 и ПВ-2 осуществляется двумя системами автоматического контроля 3DTRASAR (см. рис. 2.7.1).



1. Флюорометр. 2. Датчик электропроводности. 3. Датчик коррозии (нержавеющая сталь). 4. Датчик коррозии (углеродистая сталь). 5. Датчик pH. 6. Датчик окислительно-восстановительного потенциала. 7. Ротаметр. 8. Расходомер.

Реагентная обработка воды 1-ого контура:

- Ингибитор коррозии Nalco 73190 – доза 10 мг/л (постоянно, пропорционально подпитке. Расход подпитки для расчета $\approx 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ на каждую печь, т.е. $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ на две печи).

Годовой расход ингибитора коррозии Nalco 73190 – 1303,7 кг/год.

- Биоцид Nalco 73500 – доза 100 мг/л (на объем воды в 1-ом контуре систем охлаждения ПВ-1 и ПВ-2 ($V_{c1} \approx 85+143=228 \text{ м}^3$) один раз в 2 недели).

Годовой расход биоцида Nalco 73500 – 273,6 кг/год.

Реагентная обработка воды 2-ого контура:

- Ингибитор накипи Nalco 3DT138 – доза 60 мг/л (постоянно пропорционально продувке $\approx 19 \text{ м}^3/\text{ч}$ на обе печи).

Годовой расход ингибитора накипи Nalco 3DT138 – 7822,1 кг/год.

- Биоцид Nalco STA-BR-EX ST40 – доза 1 мг/л (постоянно пропорционально циркуляционному потоку $\approx 2800 \text{ м}^3/\text{ч}$ на обе печи).

Годовой расход биоцида Nalco STA-BR-EX ST40 – 22814,4 кг/год.

- Биоцид Nalco 7330 - доза 100 мг/л (в течение теплого времени года (7,5 месяцев) на объем воды в системе один раз в 2 недели $V_{c2} \approx 965 \text{ м}^3$).

Годовой расход биоцида Nalco 7330 – 1351 кг/год.

2.8. Реализация программы по улучшению системы охлаждения ПВ-1 и ПВ-2.

На рисунках 2.8.1 и 2.8.2 приведены, соответственно, планируемая и реализованная на январь 2015 года, схемы системы охлаждения ПВ.

Планируемая схема, включает:

1. Реагентную обработку воды 1-го и 2-го контуров компании «Nalco»;
2. Механическую фильтрацию и деаэрацию химически очищенной воды (подпитки) 1-го контура охлаждения;
3. Работу пластинчатых теплообменников для охлаждения химически очищенной воды после ее деаэрации;
4. Механическую фильтрацию воды 1-го (закрытого) и 2-го (открытого) контуров;
5. Работу пластинчатых теплообменников как более эффективных и дешевых, по сравнению с кожухотрубными;
6. Использование скоростных винтовых теплообменников;
7. Замену напорных трубопроводов на полиэтиленовые;
8. Замену оросителей и каплеуловителей на градирне.

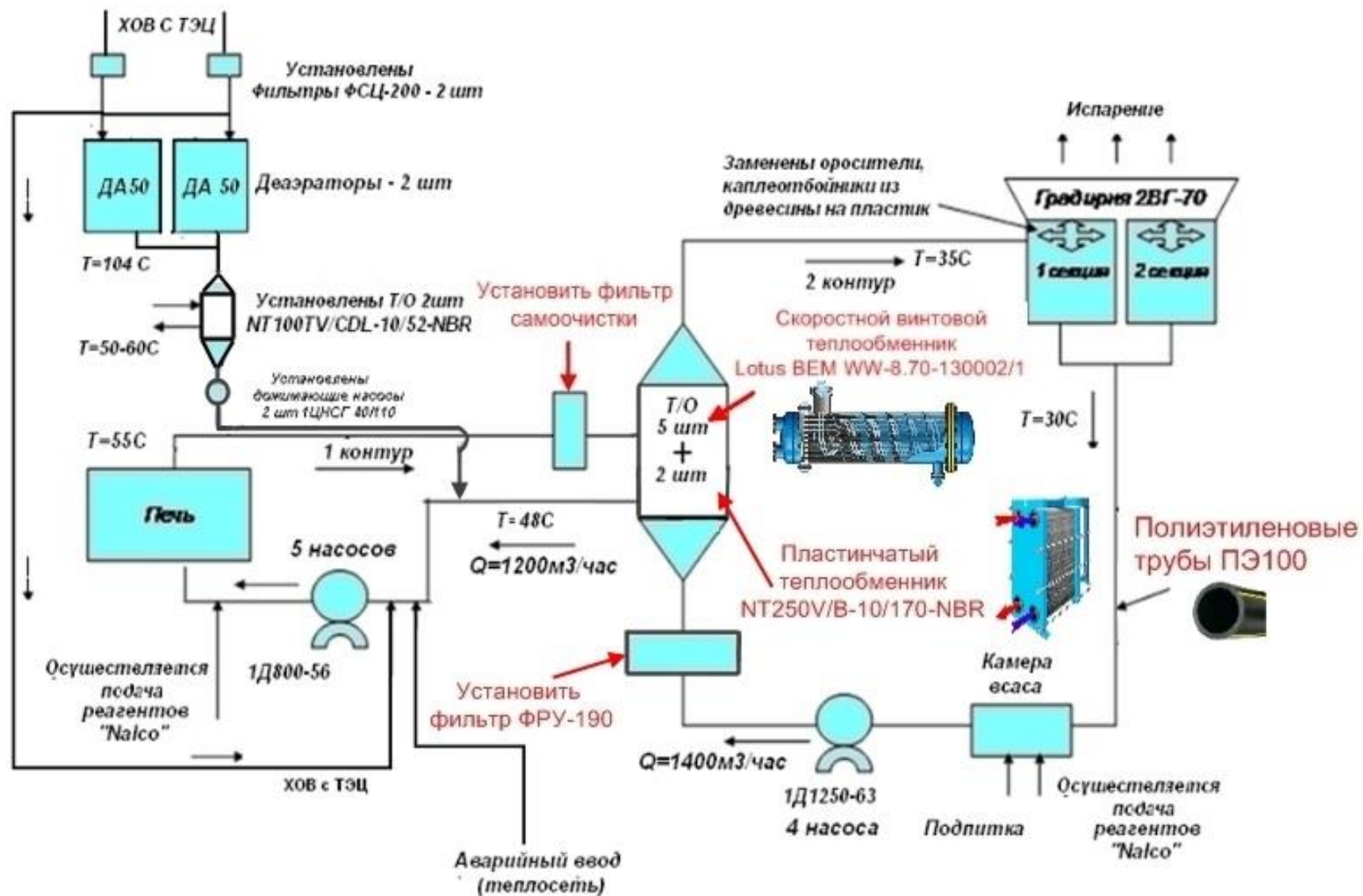


Рис. 1.8.1. Планируемая схема обратного водоснабжения Печи Ванюкова.

К концу 2014 года, были выполнены следующие мероприятия направленные на реализацию предложенной схемы (см. рисунок 2.8.2):

1. С весны 2011 года в МПЦ проводят реагентную обработку воды 1-го и 2-го контуров. Программа реагентной обработки включает комплекс реагентов направленных на подавление процессов коррозии, накипеобразования и биообрастания.

2. Опробованы мехфильтры, деаэраторы и пластинчатые теплообменники установленные на подпиточной химочищенной воде 1-го контура.

3. В октябре 2013 года запущен в работу фильтр ручного управления (далее ФРУ) на открытом контуре охлаждения ПВ-1. Параметры работы ФРУ в приложении 7. За 2 месяца эксплуатации перепад давления на ФРУ не превышал 0,3 бар, даже при работе на одном блоке, расход охлаждающей воды, при этом в пределах 1400-1500 м³/ч.

4. В ноябре 2013 года опробованы пластинчатые теплообменники установленные в контуре охлаждения ПВ-1.

5. В январе 2015г. был опробован скоростной винтовой теплообменник «Lotus», который продемонстрировал большие перепады температур как на первичном (до 10,7 °С), так и на вторичном контуре (до 11,0 °С).

Из запланированных мероприятий по улучшению оборотной системы охлаждения, осталось реализовать следующие:

1. Организовать механическую фильтрацию (сетка с ячейками 250-500 мкм) воды 1-го контура ПВ-1 и ПВ-2;

2. Организовать механическую фильтрацию (сетка с ячейками 500-2000 мкм) воды 2-го контура ПВ-2;

3. Постепенное, по мере износа, замещение теплообменников 1400-ТП-16-М1 на скоростные винтовые теплообменники с трубками из нержавеющей стали.

4. Замена участка трубопровода 2-го контура от насосной станции до теплообменников.

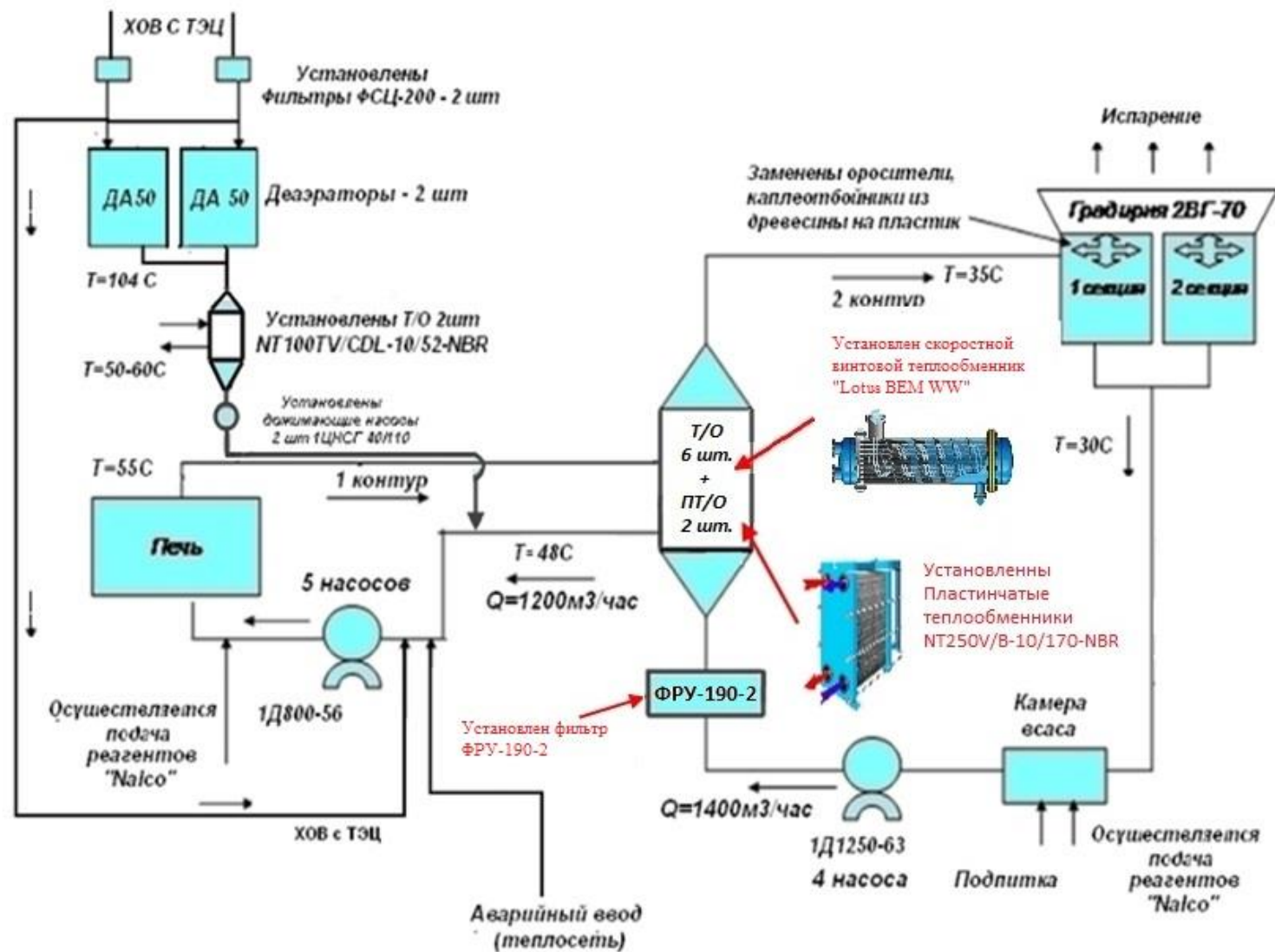


Рис. 2.8.2. Реализованная в конце 2014 года схема оборотного водоснабжения ПВ-1.

Дополнительно, к мероприятиям по усовершенствованию системы оборотного водоснабжения, рекомендуется установить фильтры тонкой очистки перед пластинчатыми теплообменниками ПВ-1. Поскольку работать в данных условиях им не представляется возможным:

- высокое содержание взвешенных частиц очень быстро блокируют зазоры между пластинами, уменьшая пропускную способность и создавая высокий перепад давления.

Для удаления механических примесей и продуктов коррозии могут применяться фильтры механической очистки (автоматические самопромывные фильтры, грязевики), которые предназначены для фильтрования ила, окалины, песка, частиц ржавчины, грязи и взвешенных частиц.

По данным ведомостей на протяжении всего периода эксплуатации перепад на фильтре ФРУ-190-2 находится практически на одном и том же уровне, примерно 0,3 бар. Это говорит о том, что основная часть мехпримесей не задерживается в нем. Т.е. ФРУ задерживает только крупные частицы размером более 2 мм. Для увеличения эффективности его работы по удалению мелкой взвеси (размером менее 1,0-0,5 мм) рекомендуется заменить имеющуюся сетку с толщиной фильтрации 2 мм на новую сетку с толщиной фильтрации 1,0 - 0,5 мм. Сетку с толщиной фильтрации менее 0,5 мм устанавливать не рекомендуется, поскольку это может привести к:

А) увеличению перепада давления до 1,0-1,5 бар;

Б) частым промывкам (сбросу воды в дренаж) по перепаду давления.

2.9. Выводы и рекомендации.

Выводы:

1. Продолжается поэтапная работа по внедрению рекомендованной схемы модернизации оборотной системы водоснабжения ПВ-1 и ПВ-2:

- *Смонтирован и введен в эксплуатацию ФРУ, позволяющий избежать заноса вторичного контура теплообменников мехпримесями размером более 2 мм (ПВ-1).*

- *Проведены пробные пуски пластинчатых теплообменников (ПВ-1).*

- *Смонтирован скоростной винтовой теплообменник (ПВ-1);*

- *Регулярно проводятся предпусковые работы (ПВ-1 и ПВ-2).*

2. Осмотр теплообменного оборудования и трубопроводов после продолжительного периода эксплуатации показал следующее:

- *со стороны трубного пространства 2-го контура на входе в теплообменники не обнаружено большого скопления отложений, как это было ранее (в 2012-2013 гг.);*

- *поверхность трубных решеток и внутренняя поверхность труб всех вскрываемых теплообменников со стороны 2-го контура имеют слой отложений, в основном состоящий из продуктов коррозии и взвеси, толщиной до 3 мм.*

- *со стороны трубного пространства 2-го контура обнаружено небольшое количество крупных частиц (кусочки бетона, отслоившиеся отложения и т.д.);*

Общее состояние поверхностей теплообменников неудовлетворительное.

3. Несмотря на неудовлетворительное состояние внутренних поверхностей теплообменников, частота очисток снизилась с 23 в 2013 г. до 12 в 2014 году, т.е. почти в 2 раза.

4. Срок службы теплообменников марки 1400-ТП-16-М1 с трубками из углеродистой стали, в условиях существующего водно-химического режима, ниже заложенного заводом-изготовителем (4-5 лет эксплуатации, вместо 10 лет).

5. Перепад на фильтре ФРУ-190-2 находится практически на одном и том же уровне (0,3 бар) на протяжении всего периода эксплуатации. Это говорит о том, что основная часть мехпримесей не задерживается в нем. Он лишь играет роль грязевика, который задерживает крупные частицы размером более 2 мм. Для увеличения эффективности его работы по удалению мелкой взвеси (размером менее 1,0-0,5 мм) рекомендуется заменить имеющуюся сетку с толщиной фильтрации 2 мм на новую сетку с толщиной фильтрации 1,0 - 0,5 мм. Сетку с толщиной фильтрации менее 0,5 мм устанавливать не рекомендуется, поскольку это приведет увеличению перепада давления до 1,0 бар и к частым промывкам (сбросу воды в дренаж) по перепаду давления.

6. Скоростной винтовой кожухотрубный теплообменник, запущенный в январе 2015 г., показал отличные результаты. Температурные перепады на обоих контурах составили более 10 °С. Вскоре после запуска данного теплообменника температура воды 1-го контура на выходе из теплообменников снизилась с 55 °С до 41 °С.

7. Из запланированных мероприятий по совершенствованию работы оборотной системы охлаждения ПВ-1 и ПВ-2 осталось реализовать следующие:

- Механическую фильтрацию (сетка с ячейками 250-500 мкм) воды 1-го контура ПВ-1 и ПВ-2
- Механическую фильтрацию воды (сетка с ячейками 500-1000 мкм) 2-го контура ПВ-2;
- Постепенное, по мере износа, замещение теплообменников 1400-ТП-16-М1 на скоростные винтовые теплообменники с трубками из нержавеющей стали.

Рекомендации:

1. Продолжить работы по модернизации системы оборотного водоснабжения:
 - *ввести в эксплуатацию пластинчатые теплообменники на подпитке 1-го контура охлаждения.*
 - *обеспечить обязательное выполнение предпусковых работ во время остановов ПВ, для фиксации состояния оборудования и трубопроводов оборотной системы и обеспечения защиты теплообменников от их аварийных заносов (особенно там, где еще не установлен ФРУ).*
 - *обеспечить контроль скорости коррозии в 1-ом и 2-ом контурах, восстановить работу коррозиометров установленных на контурах охлаждения ПВ-1 и ПВ-2.*

Замену напорных трубопроводов на полиэтиленовые проводить не рекомендуется, ввиду высокой стоимости данного мероприятия по сравнению с монтажом трубопроводов из стали.

Дополнительно, к мероприятиям по совершенствованию системы оборотного водоснабжения, рекомендуется установить фильтры тонкой очистки (200-300 мкм) перед пластинчатыми теплообменниками ПВ-1. Поскольку работать в данных условиях, без предварительной фильтрации воды, им не представляется возможным (повышенное содержание взвешенных частиц засоряет межпластинчатое пространство).

2. Для повышения эффективности работы оборотной системы охлаждения продолжить исследования по подбору эффективной программы реагентной обработки охлаждающей воды первичного и вторичного контуров ПВ-1 и ПВ-2.

3. Ввиду невозможности очистки межтрубного пространства теплообменников по первичному контуру, рекомендуем проводить промывку перед их вскрытием, реагентами специально предназначенными для очищения от образовавшихся отложений.

4. Обеспечить контроль сброса из системы в открытых контурах охлаждения ПВ-1 и ПВ-2. Т.е. исключить неконтролируемый расход воды из системы. Установить автоматизированный продувочный клапан, работающий на поддержание определенного коэффициента упаривания. Это мероприятие обеспечит экономию реагентов, повысит качество биоцидной обработки воды.

5. Составить и утвердить режимную карту водно-химического режима оборотных контуров охлаждения ПВ-1 и ПВ-2.

6. Обеспечить максимальный расход через теплообменники для исключения застойных зон и снижения образования отложений на поверхностях теплообмена.

7. Постепенная замена теплообменников с трубками из углеродистой стали на теплообменники с трубками из нержавеющей стали.

3. ОБОРОТНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕРНОКИСЛОТНОГО ЦЕХА

3.1. Характеристика системы охлаждения СКЦ.

Таблица 3.1.1.

Характеристика системы охлаждения СКЦ.

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ЗНАЧЕНИЕ
1	Максимальная тепловая нагрузка градирни	$W=Q*\Delta T/860$	МВт	153
2	Количество секций в градирне		шт.	4
3	Объем системы	V	м ³	≈ 2 100
4	Объем бассейна градирни	V _{бас.}	м ³	1 800
5	Циркуляционный расход	Q	м ³ /ч	11 000
6	Объем подпитки	A _{сп.}	м ³ /ч	до 350
7	Испарение	$Q_{исп.}=Q* \Delta T*k,$ где k=0,00155	м ³ /ч	до 204
8	Продувка и капельный унос	$D_{сп.}=P+E_v=Q_{исп.}/(C-1)$	м ³ /ч	до 146
9	Температура на выходе из градирни	T ₁	°C	18-26
10	Температура на входе в градирню	T ₂	°C	25-37
11	Падение температуры	$\Delta T=T_2-T_1$	°C	7-11
12	Максимальная температура поверхности теплообмена	T _s	°C	90
13	Коэффициент упаривания	C	-	2,0-3,0
14	Число дней в работе		-	355
15	Теплообменники трубчатые		шт.	3
16	Теплообменники пластинчатые		шт.	3
17	Материалы, соприкасающиеся с охлаждающей водой	Углеродистая сталь (трубопроводы, кожухи теплообменников), нержавеющая сталь (трубки и пластины теплообменников).		

3.2. Качество подпиточной и оборотной воды СКЦ.

Таблица 3.2.1.

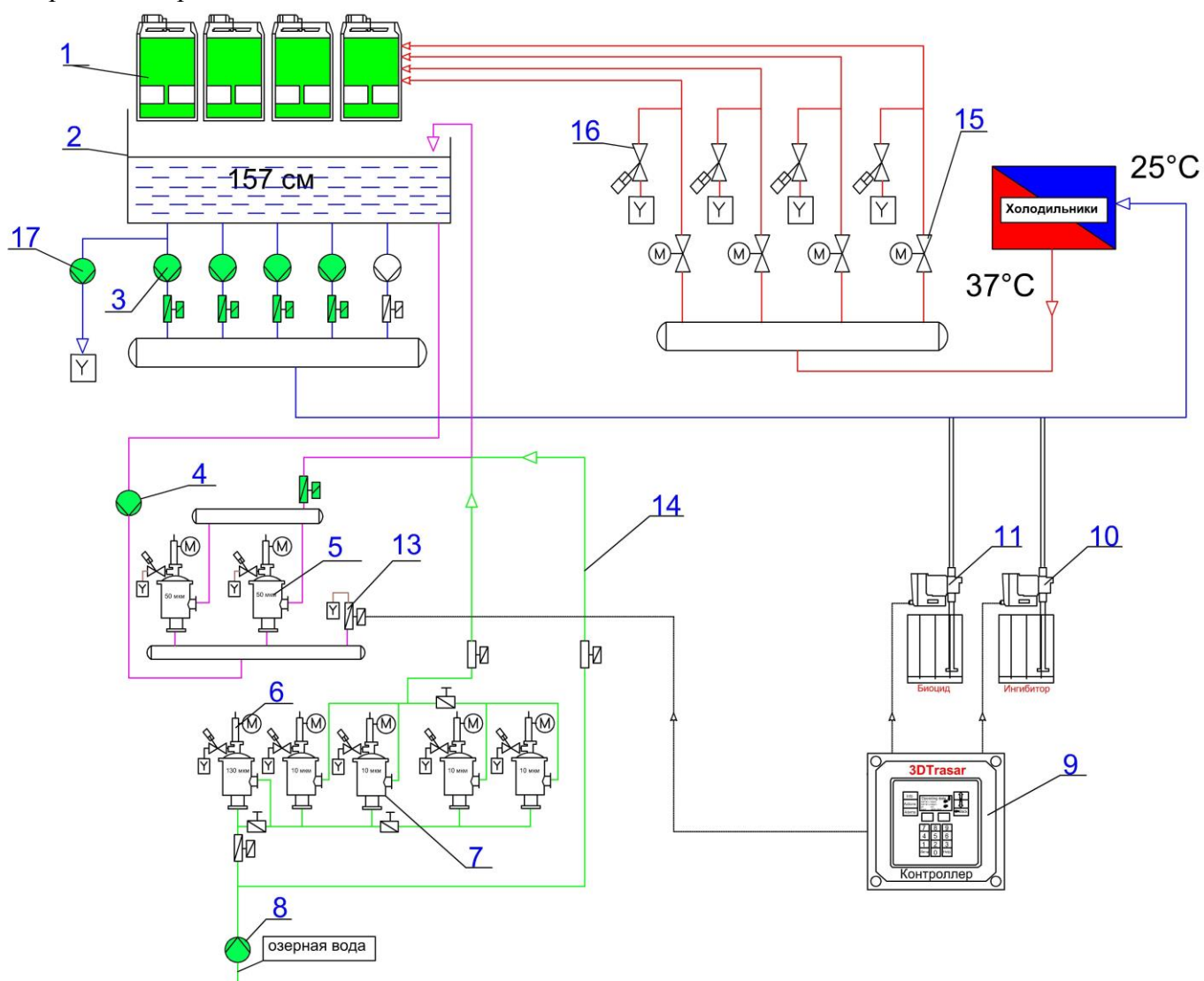
Качество подпиточной и оборотной воды.

№	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЕД.	ЗНАЧЕНИЕ
---	------------	-----	----------

П/П		ИЗМ.	ПОДПИТОЧНАЯ	ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ
1	рН	-	8,16-9,00	8,31-9,10
2	Общая жесткость	мг-экв./л	10,4-12,8	19,0-27,8
3	Общая щелочность	мг-экв./л	5,1-6,1	8,6-12,6
4	Мутность	мг/л	0,0-1,0	1,0-1,5
5	Солесодержание	мг/л	1450-1570	2820-4150
6	Сульфаты	мг/л	510-671	750-1110
7	Хлориды	мг/л	251-398	430-630
8	Железо общее	мг/л	0,01-0,07	0,01-0,25
9	Кремниевая кислота	мг/л	9,1-15,0	19,7-28,8
6	Окисляемость перманганатная	мг/л	2,6-3,44	3,1-7,5

3.3. Краткое описание существующей схемы охлаждения.

На СКЦ система охлаждения представляет собой полуоткрытую сеть с рециркуляцией воды, использующую атмосферный охладитель (градирню). Номинальная мощность охлаждения 153 МВт. Принципиальная схема оборотной системы охлаждения изображена на рис. 3.3.1.



1. Секции градирни – 4 шт.
2. Бассейн градирни – 1800 м³.

9. Контроллер «3DTrasar».
10. Станция дозирования ингибитора

- | | |
|---|--|
| 3. Циркуляционные насосы $Q_{ном.}=2750 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 5 шт. | коррозии и отложений – 1 шт. |
| 4. Циркуляционный насос сетчатых фильтров (50 мкм) $Q_{ном.}=350 \text{ м}^3/\text{ч}$. (не эксплуатируется) | 11. Станция дозирования биоцида – 1 шт. |
| 5. Сетчатые фильтры 50 мкм – 2 шт. (не эксплуатируются) | 13. Продувочный клапан Ду=50 мм для контроля уровня электропроводности (не эксплуатируется). |
| 6. Сетчатый фильтр 130 мкм – 1 шт. (не эксплуатируется) | 14. Обводная линия подпиточного трубопровода с автоматизированным клапаном. |
| 7. Сетчатые фильтры 10 мкм – 4 шт. (не эксплуатируются) | 15. Задвижки с электроприводом – 4 шт. |
| 8. Насос подпиточный $Q_{ном.}=350 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 2 шт. | 16. Сбросные клапаны Ду=50 мм – 4 шт. |
| | 17. Дренажный насос $Q_{ном.}=150 \text{ м}^3/\text{ч}$. |

Рис. 3.3.1. Принципиальная схема оборотной системы охлаждения СКЦ.

В состав охлаждающего контура входят 3 трубчатых теплообменника, и 3 пластинчатых теплообменника, 5 циркуляционных насосов ($Q_{ном.}=2750 \text{ м}^3/\text{ч}$) и 4-х секционная градирня. Объем оборотного контура $\approx 2 \cdot 100 \text{ м}^3$.

Конструкционные материалы теплообменного оборудования: углеродистая и нержавеющая сталь.

Циркуляционный расход, по данным последней проверки, составляет $9 \cdot 600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Большую часть времени градирня работает при максимальной гидравлической нагрузке, отключение какой-либо из секций происходит лишь при необходимости ремонта или других работ.

Продувка колеблется в зависимости от времени года и нагруженности цеха от 90 до $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Источником подпиточной воды системы оборотного охлаждения является озеро Балхаш (качество воды в таблице 3.2.1). Схема подачи исходной воды в помещение насосной станции СКЦ изображена на рис. 3.3.2. Согласно этой схеме вода, подаваемая на СКЦ, поступает из цеха тепло-водоснабжения (ТВС). В цех ТВС вода поступает от насосной станции ТЭЦ, при этом часть этой воды проходит через конденсаторы турбин. Таким образом, озерная вода может быть нагрета до 26-28 °С.

Подпитка контура осуществляется непосредственно в бассейн градирни насосной станцией производительностью $350 \text{ м}^3/\text{ч}$. Уровень в бассейне градирни поддерживается автоматически. Как только уровень воды в бассейне градирни снижается ниже заданного минимального уровня, открывается клапан с пневматическим приводом.

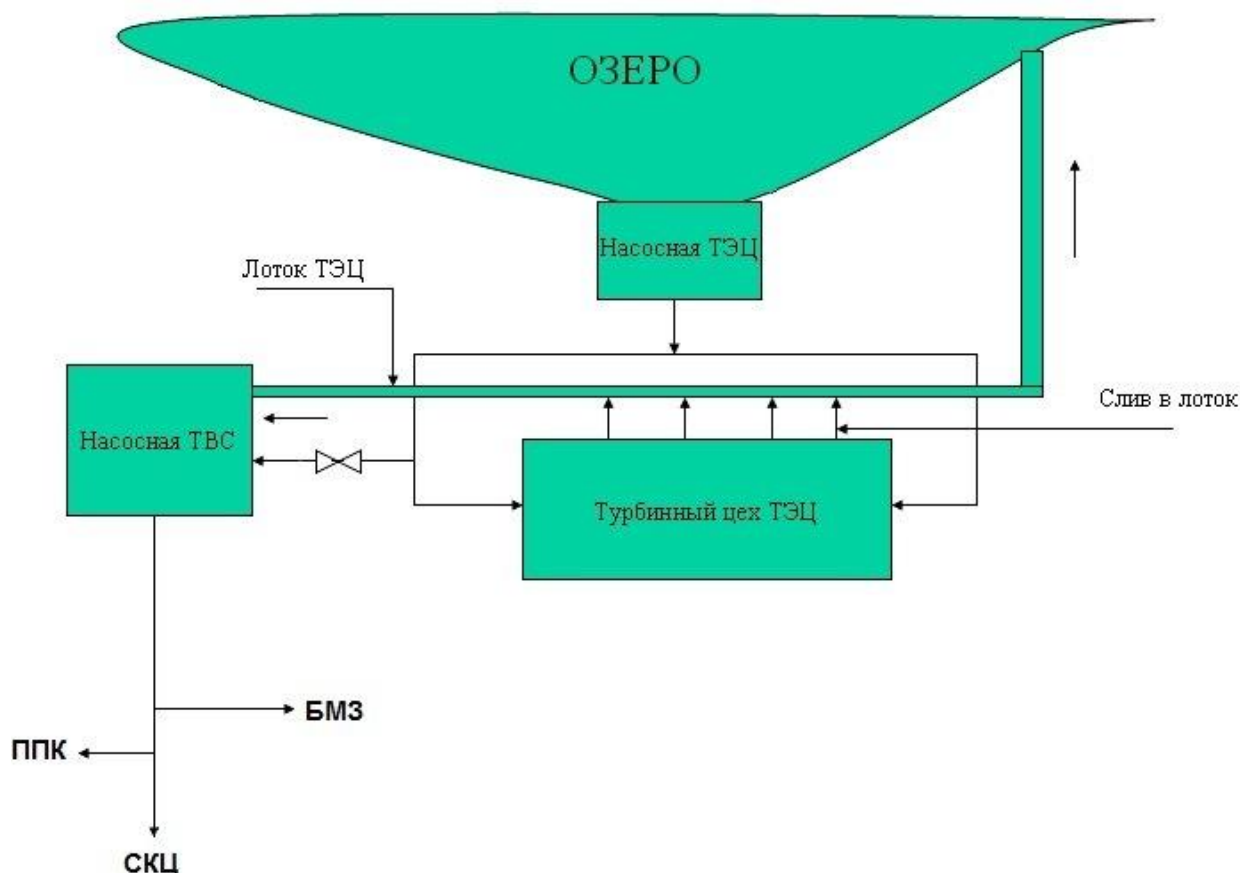


Рис. 3.3.2. Схема подачи озерной воды.

3.4. Технология реагентной обработки охлаждающей воды.

Внедренная на СКЦ технология реагентной обработки является комплексной, включающей в свой состав реагенты для контроля коррозии и отложениями, а также реагенты для обеспечения защиты оборудования от биологических обрастаний.

Контроль коррозии, отложений и микробиологии осуществляется при помощи дозирования комплекса реагентов компании Nalco. Целью обработки оборотной воды является обеспечение максимальной эффективности работы системы охлаждения. Это достигается за счет предотвращения коррозии, отложений солей жесткости и контроля за биологическим обрастанием.

Нормы расхода реагентов:

1. **Nalco 3TD 151** предназначен для предотвращения отложений и коррозии. Норма расхода составляет 78-82 мг/л сбрасываемой воды. Т.е. если продувка составляет 100 м³/ч, то расход ингибитора составит 100 000 л/ч*80 мг/л=8 кг/ч. В среднем расход ингибитора за смену равен 30-40 кг.

2. **Nalco STA-BR-EX ST 70** - окисляющийся биоцид, предназначен для предотвращения биологического загрязнения охлаждающей воды. Норма расхода составляет 80 кг/сутки (60 л/сутки). Станция дозирования ежедневно запускается персоналом градирни.

3. **Nalco 7330** - не окисляющийся биоцид предназначен для предотвращения биологического загрязнения охлаждающей воды. Этот биоцид дозируется залповыми дозами – по 200 кг один раз в 2 недели.

3.5. Система автоматического контроля и дозирования реагентов.

Компания «Nalco» произвела поставку и монтаж интегрированной системы контроля «3DTrasar» для управления дозировкой реагентов, контроля pH, коррозии, микробиологии, накипеобразования и продувки системы.

3DTrasar – это система постоянно действующей, дистанционно управляемой обработки и контроля параметров охлаждающей воды. Внешний вид и принципиальная схема дозирования и контроля приведены на рис. 3.6.1 и 3.6.2.

Требования, предъявляемые к системе охлаждения при применении «3DTrasar»:

- величина скорости потока воды через датчики коррозии должна соответствовать величине средней скорости потока воды в системе.

- поддержание определенного коэффициента упаривания (K_y).

В системе установлены следующие датчики:

- флюорометр;
- датчик электропроводности;
- pH-метр;
- датчик ОВП;
- датчики коррозии.

Расход воды через флюорометр должен составлять ≈ 150 л/ч.

3.6. Режим работы оборотной системы охлаждения СКЦ.

Поддерживаемые параметры работы оборотной системы:

Таблица 3.6.1.

Расчетные параметры качества оборотной воды

№п/п	Показатели	Ед. изм.	Значение
1	pH	-	8,5-9,5
2	Электропроводимость	$\mu\text{S/cm}$	6000-6300
3	Концентрация ингибитора	ppm	78-82

Персоналу оборотной системы водоснабжения дано распоряжение поддерживать расход охлаждающей воды на максимальном уровне (включение не менее 3 циркуляционных насосов, $Q \approx 8250$ м³/ч). Основные показатели качества воды (pH и электропроводность) дополнительно контролируются с помощью портативных приборов. В случае выявления отклонения данных показателей, незамедлительно принимаются соответствующие меры по их устранению.



Рис. 3.6.1. Внешний вид интегрированной системы контроля «3DTrasar».

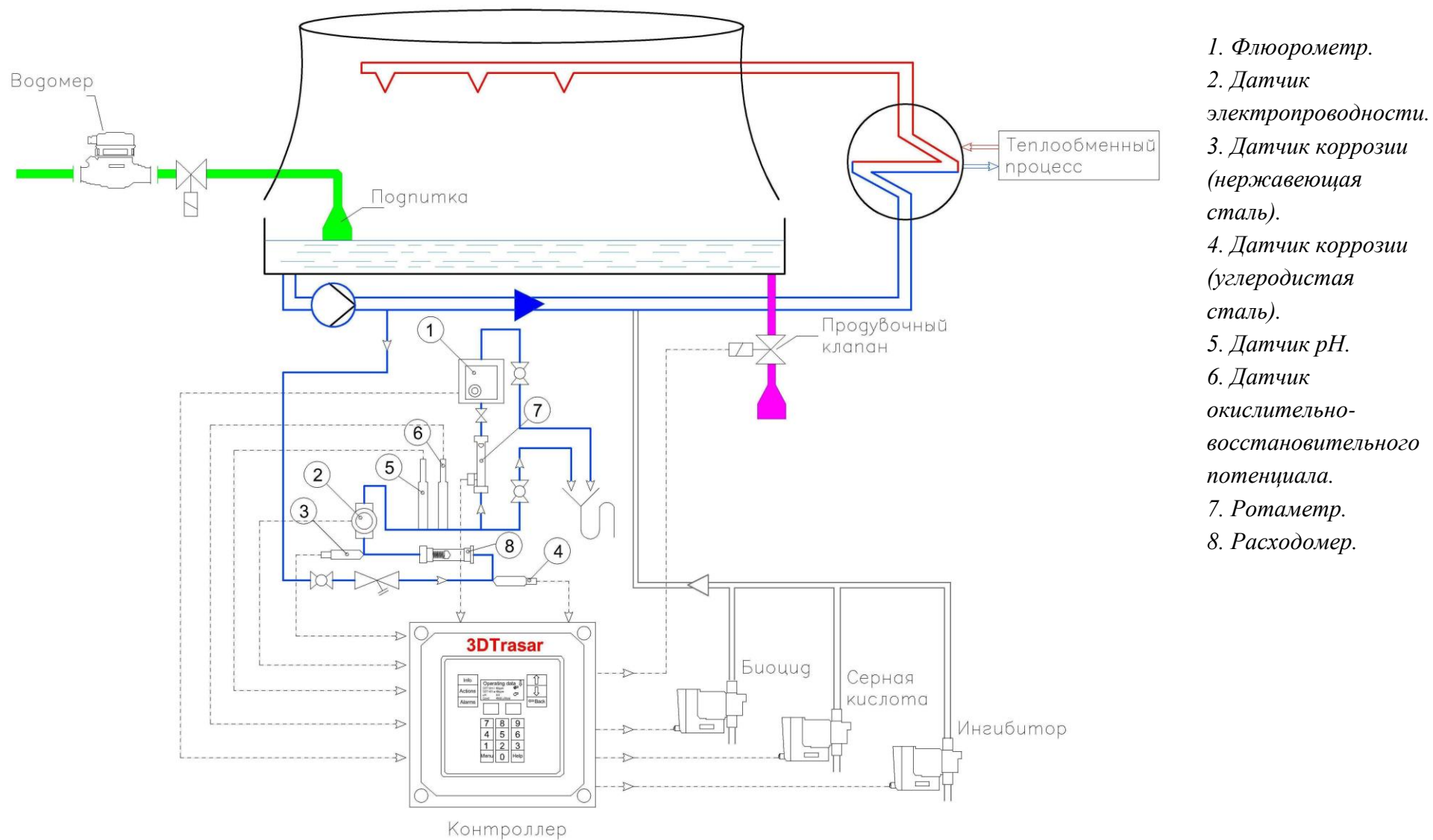


Рис.3.6.2. Принципиальная схема дозирования и контроля.

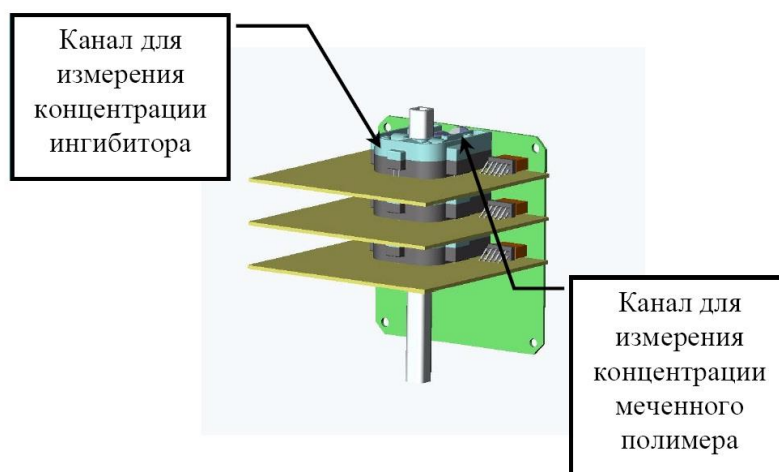


Рис. 3.6.3. Флюорометр.

Датчик электропроводности снабжен встроенным датчиком температуры, и имеет три или одну точки калибровки.

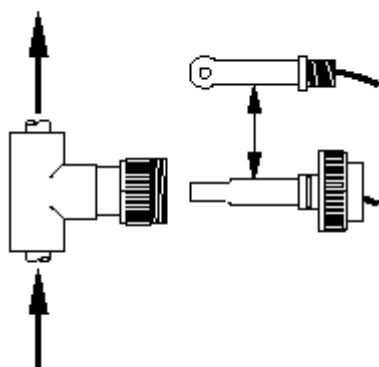


Рис. 3.6.4. Датчик электропроводности.

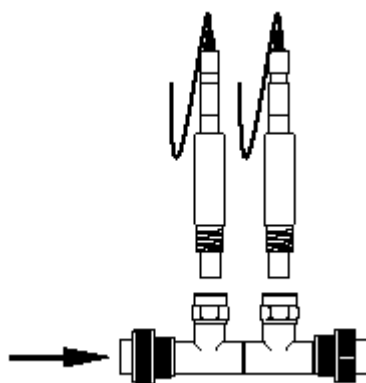


Рис.3.6.5. Датчики ОВП и pH

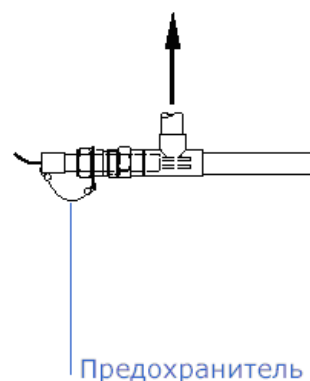


Рис.3.6.6. Датчик коррозии

Диапазон измерений датчиков pH и ОВП, соответственно – от 0 до 14 и от -1000 до +1000 мВ. Компенсация температуры проводится от датчика электропроводности. Имеют две или одну точку компенсации.

Датчики коррозии изготавливаются из нержавеющей и углеродистой. Величина скорости потока через датчики коррозии должна соответствовать величине скорости потока воды в системе.

С помощью системы «3DTrasar» можно узнать скорость коррозии, уровень микробиологии, суммарный съем тепла в теплообменниках, степень концентрирования системы, расход воды поступающей на подпитку и продувку.

3.7. Теплообменное оборудование.

В СКП установлена серия кожухотрубных теплообменников прямоточного (1 шт. на отметке 0 см. рис. 3.7.1) и противоточного типа (2 шт. на отметке 0 см. рис. 3.7.2, 3.7.3) и пластинчатых теплообменников (3 шт. на отметке 7 200 см. рис. 3..4).

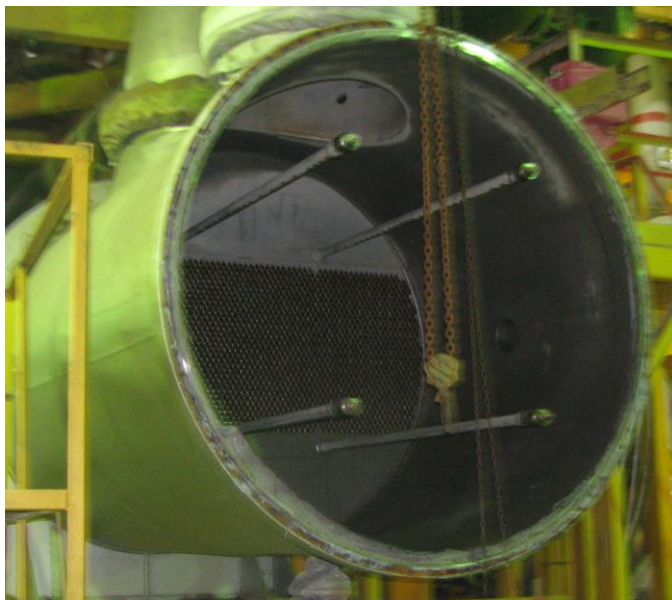


Рис. 3.7.1. Холодильник промежуточного абсорбера №7823.



Рис. 3.7.2. Холодильник сушильной кислоты №7813.

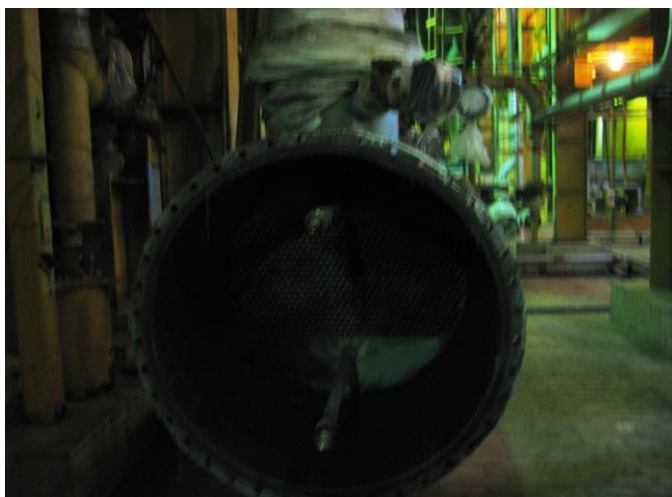


Рис. 3.7.3. Холодильник конечного абсорбера (готовой продукции) №7876.



Рис. 3.7.4. Пластинчатые теплообменники башии охлад. кислоты А, В и С.

Все кожухотрубные теплообменники имеют анодную защиту. Кислота течет по внутреннему пространству теплообменника, а охлаждающая вода течет в трубках. Теплообменник работает с формированием защитной пленки на всех поверхностях, вступающих в контакт с кислотой, для уменьшения коррозии. Эта пленка образуется и сохраняется путем подведения регулируемого электрического напряжения или потенциала к охладителю. Регулятор ANOTROL автоматически корректирует выходную мощность, сохраняя тем самым потенциал на желаемом заданном уровне. Сигнализатор высокой температуры предупреждает оператора, когда кислота недостаточно охлаждена.

Состояние теплообменного оборудования (холодильников серной кислоты) удовлетворительное. Все холодильники вскрываются один раз в год (обычно осенью), во время планово-профилактического ремонта (ППР) оборудования СКЦ. Аварийных остановов в связи с их повреждением нет.

Перед вскрытием холодильников, для очистки поверхности со стороны охлаждающей воды, проводят циркуляцию через них 5%-ым раствором лимонной кислоты.

После проведения циркуляции раствора лимонной кислоты на поверхности трубной решетки холодильников оставался налет светло-коричневого цвета толщиной $\approx 0,5$ мм, который легко удалялся струей воды.

Внутренняя поверхность корпуса холодильника покрыта отложениями светло-коричневого цвета (толщиной до 2 мм). Обнаружены следы коррозии.



Рис. 3.7.6.

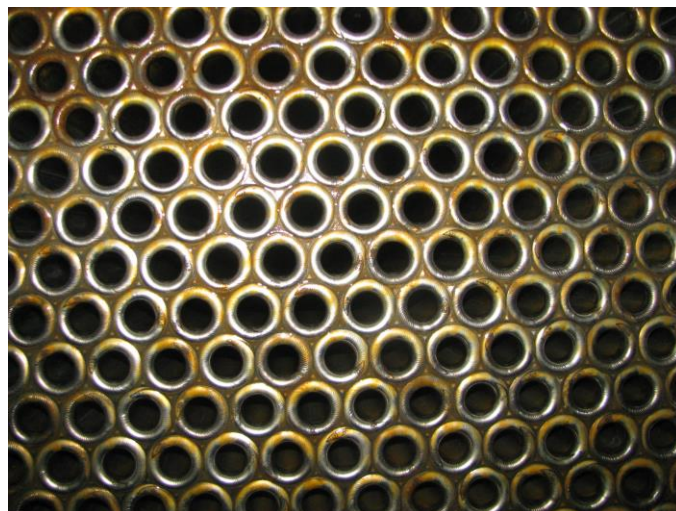


Рис. 3.7.7.

Холодильник промежуточного абсорбера после замачивания 5%-ым раствором лимонной кислоты.

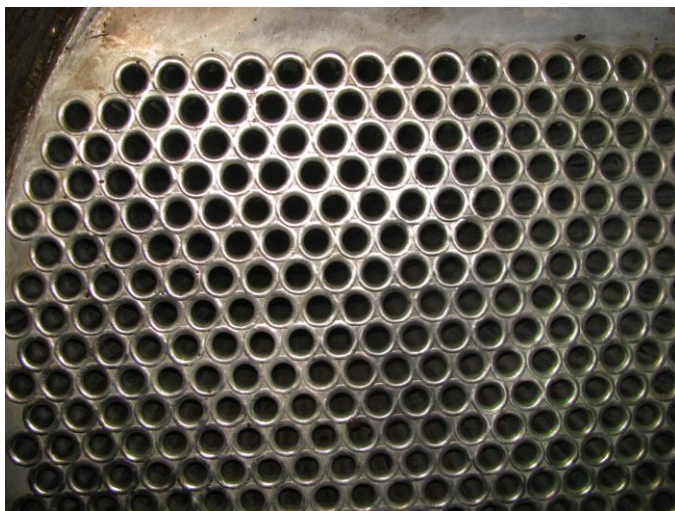


Рис. 3.7.8.

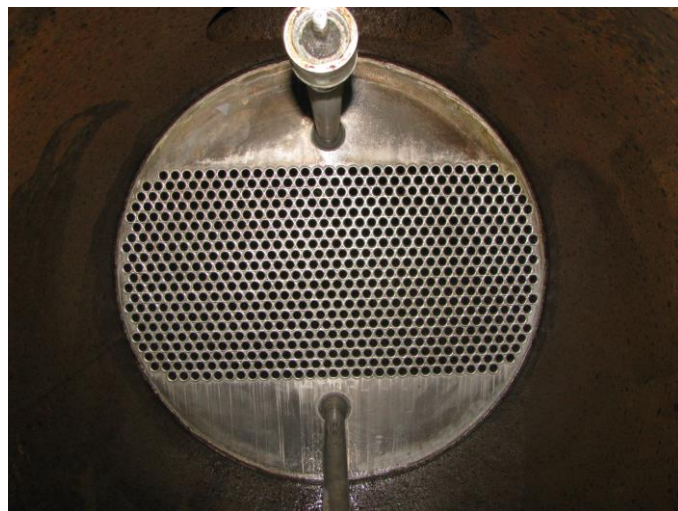


Рис. 3.7.9.

Холодильник сушильной кислоты после замачивания в 5%-ом растворе лимонной кислоты.

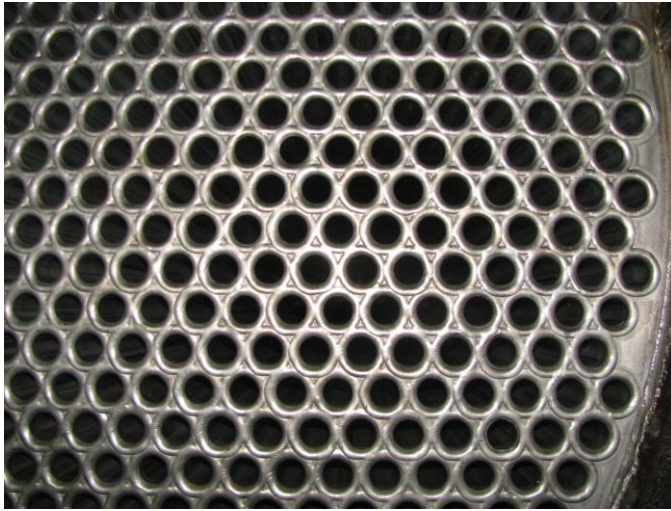


Рис. 3.7.10.



Рис. 3.7.11.

Холодильник готового продукта после замачивания в 5%-ом растворе лимонной кислоты.

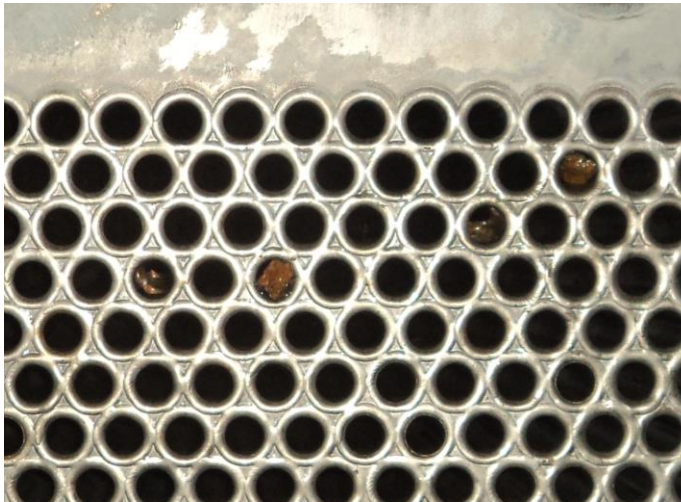


Рис. 3.7.12. Холодильник сушильной кислоты.

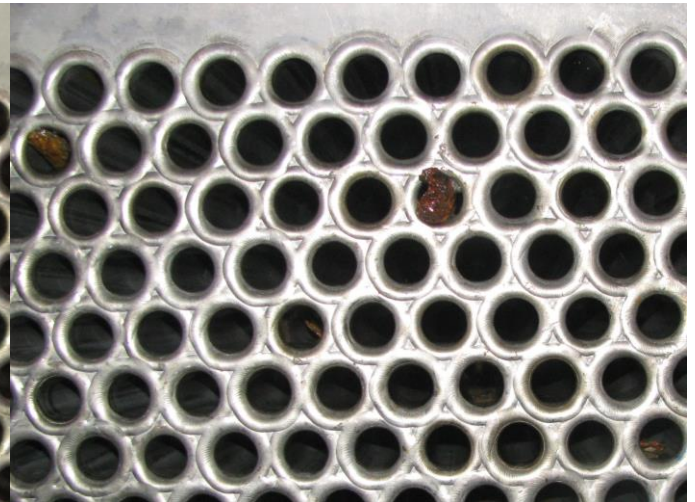


Рис. 3.7.13. Холодильник продукта.



*Рис. 3.7.14. Пластинчатый холодильник
кислоты (на стороне воды)*



*Рис. 3.7.15. Пластинчатый холодильник
кислоты (на стороне кислоты)*



*Рис. 3.7.16. Поверхность пластины
холодильника кислоты (на стороне воды)*



*Рис. 3.7.17. Поверхность пластины
холодильника кислоты (на стороне кислоты)*

Некоторые трубы на входе охлаждающей воды забиты кусочками окалина и продуктами коррозии (см. рис. 3.7.12, 3.7.13).

Пластинчатые холодильники кислоты (см. рис. 3.7.14-3.7.17) наиболее чувствительны к качеству оборотной воды, в них застревают грубые включения (камни, песок, окалина и т.д.), и например, такие, случайно попавшие в оборотку, предметы, как кусочки резиновой прокладки. Имеется небольшой налет отложений, состоящий в основном из мехпримесей, ила, небольшого количества накипи.

3.8. Анализ существующего водно-химического режима (ВХР).

В ходе исследования ВХР оборотной системы охлаждения выявлено:

1. Отклонения в поддерживаемых параметрах (например, электропроводности и концентрации ингибитора) охлаждающей воды (см. рис. 3.8.1).
2. Обычно, расход ингибитора, дозируемого в контур оборотного охлаждения, зависит от количества сбрасываемой воды из системы. Т.е. чем больше продувка из системы, тем больше расход ингибитора.

Пример:

Расчет расхода ингибитора за месяц (30 дней), при средней расчетной продувке 116 м³/ч равен:

$$G_{\text{инг.}} = Q_{\text{прод.}} \cdot D_{\text{инг.}} \cdot 24 \cdot 365 / 1000 = 116 \cdot 80 \cdot 24 \cdot 30 / 1000 = 6685,7 \text{ кг/месяц.}$$

Расход продувки, в свою очередь, зависит от температурного режима охлаждаемого оборудования, температуры наружного воздуха и поддерживаемого значения электропроводности в контуре.

По разным причинам, технологию реагентной обработки охлаждающей воды на СКЦ привязали к производству кислоты. Т.е. на предприятии приняли некоторую норму расхода реагентов на 1 тонну производимой кислоты. В таблице 3.8.1 приводятся эти нормы.

Таблица 3.8.1.

Удельные расходы реагентов для обработки охлаждающей воды на единицу производимой продукции (серной кислоты)

№п/п	Наименование технологических материалов	Ед. изм.	Плановая норма расхода	Фактический удельный расход
1	Nalco 3TD 151	Грамм на тонну серной кислоты	47,1	45,2
2	Nalco STA-BR-EX ST 70		28,1	29,2
3	Nalco 7330		2,4	2,4

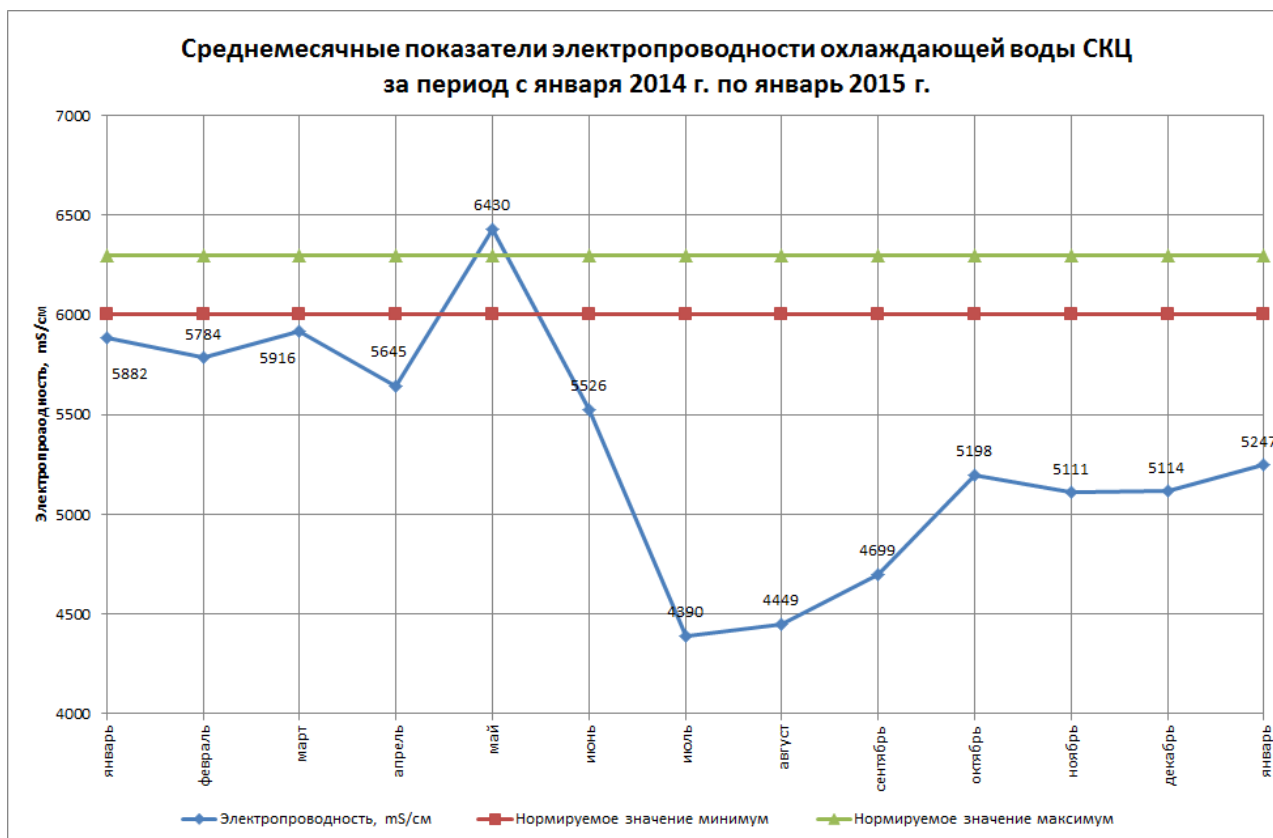


Рис. 3.8.1.

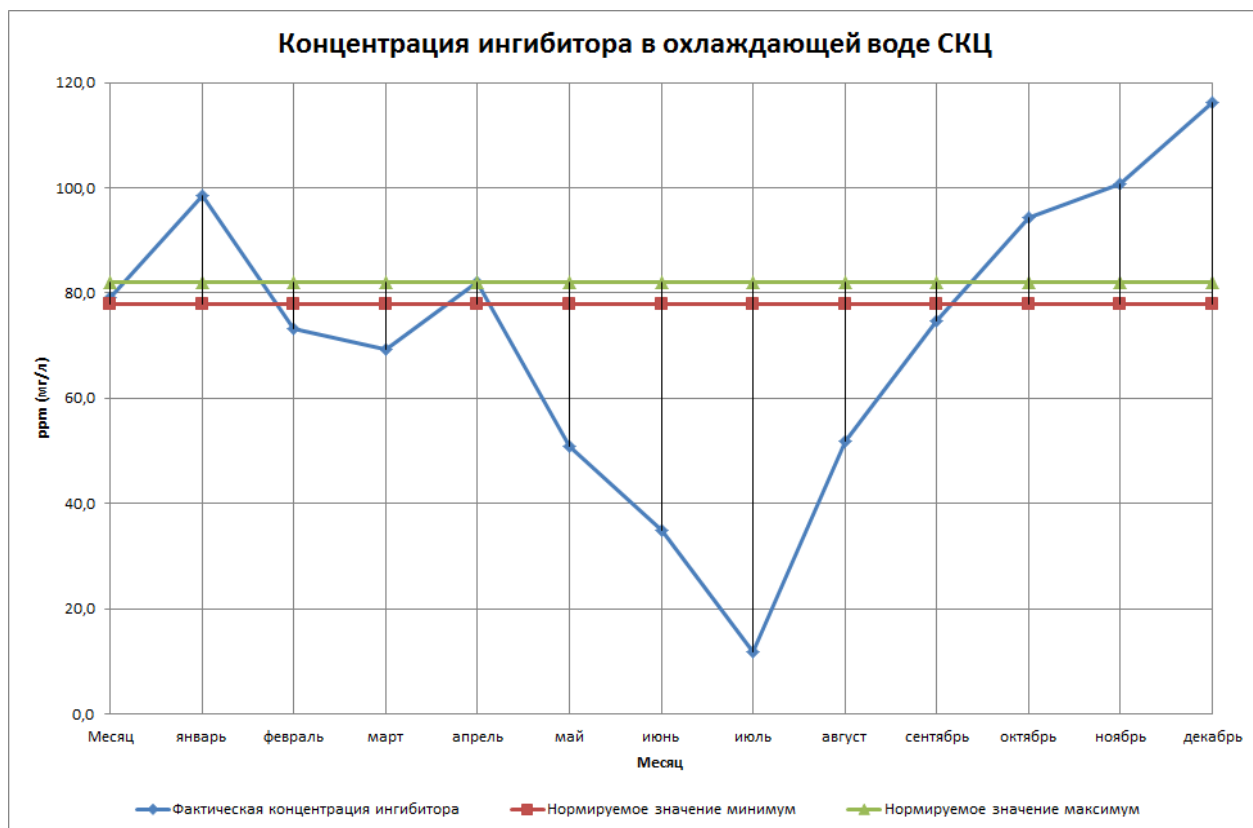


Рис. 3.8.2.

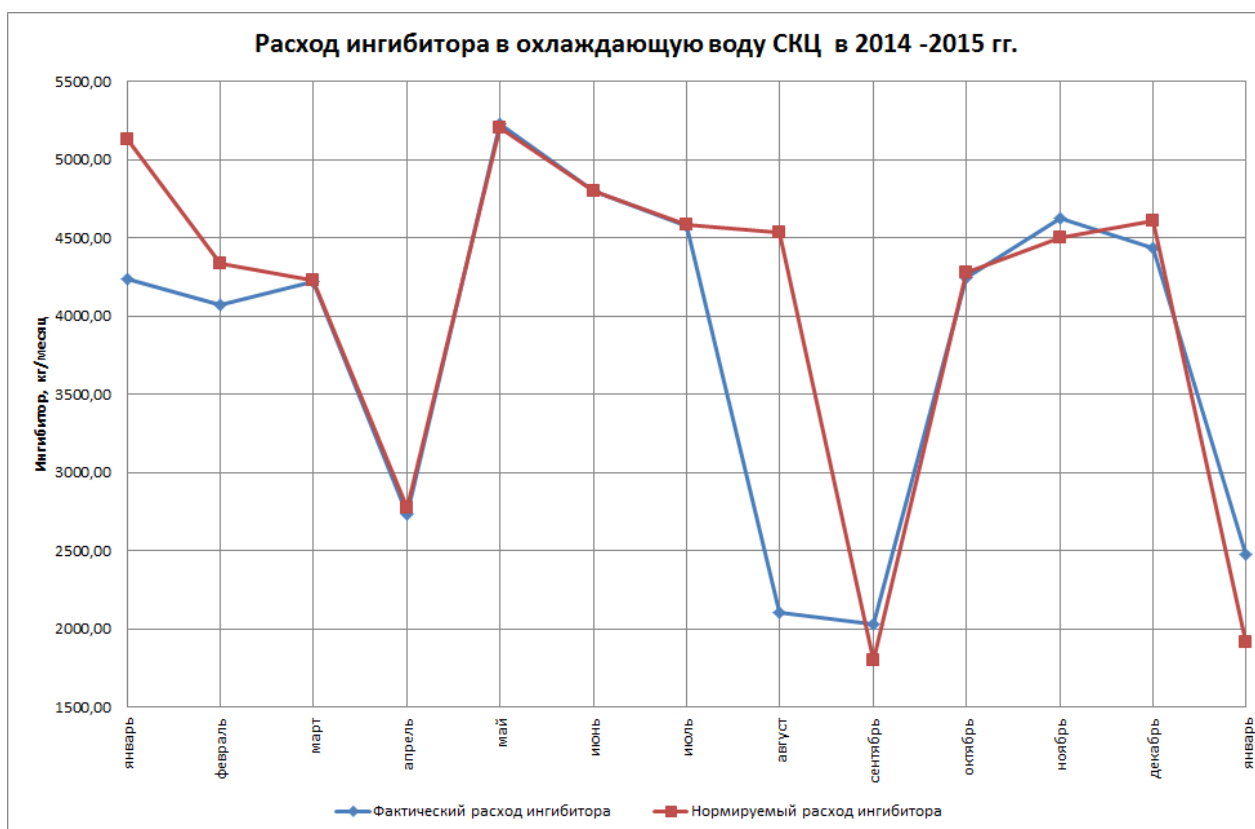


Рис. 3.8.3.

3.9. Выводы и рекомендации.

Выводы:

1. В период мониторинга оборотной системы водоснабжения заданные параметры, такие как электропроводность и концентрация ингибитора в охлаждающей воде, не всегда поддерживались в пределах нормы. Объясняется это тем, что в СКЦ технологию реагентной обработки охлаждающей воды привязали к производству кислоты. Т.е. на предприятии приняли нормы расхода реагентов на 1 тонну производимой кислоты, которые старается соблюдать персонал градирни (см. рис. 3.7.1-3.7.3).

2. Осмотр холодильного оборудования выявил следующее:

- поверхности трубных решеток холодильников промежуточного абсорбера, сушильной кислоты и продукта практически чистые. Имеющийся налет, толщиной не более 0,5 мм, легко удаляется.

- из общего количества трубок всех кожутрубных теплообменников всего 10 трубок на $\frac{1}{2}$ сечения забиты ржавчиной/окалиной.

- осмотр поверхностей пластинчатых теплообменников выявил наличие отложений, в основном состоящих из мехпримесей (на стороне воды) толщиной ≈ 1 мм. Кроме этого, обнаружены, кусочки резиновой прокладки, окалина и песок.

На стороне кислоты пластинчатых теплообменников обнаружен слой отложений толщиной до 1,5 мм.

Общее состояние поверхностей холодильников удовлетворительное.

3. Смонтированное и запущенное в 2008 г. заводом-изготовителем водоподготовительное оборудование (автоматические мехфильтры, установка обратного осмоса 250 м³/ч, станции дозирования реагентов) вышло из строя. Однако, возможно его восстановление при замене ряда комплектующих.

4. Эффективность химической промывки теплообменников проводимой на СКЦ подтверждается при каждом их вскрытии. Поверхности теплообмена после замачивания и циркуляции слабым раствором кислоты (5% лимонной кислоты) практически чистые. Оставшиеся отложения легко смываются струей воды.

Рекомендации:

1. Рекомендуется установить фильтр-грязевик грубой очистки, с тонкостью фильтрации 1000-2000 мкм, на весь поток охлаждающей воды.

2. Необходимо выполнить ревизию и ремонт автоматических фильтров установленных на подпитке и обратном контуре.

3. Рекомендуется проводить химическую промывку теплообменников по методике используемой на СКЦ в других цехах, при условии соответствия промываемого оборудования.

4. Вышедшее из строя водоподготовительное оборудование (установка обратного осмоса, автоматические фильтры, станции дозирования) можно восстановить и применить при разработке технического решения по подготовке подпиточной воды для котлов-утилизаторов на МПЦ.

4. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КИСЛОРОДА

Предприятие по производству кислорода проводит очистку теплообменников от отложений механическим путем. Этот способ не достаточно эффективно устраняет отложения, очень трудоемок и приводит к повреждениям трубок.

Существует способ очистки с помощью специальных реагентов, который при правильно подобранном режиме может дать отличные результаты без нанесения вреда теплообменнику.

4.1. Осмотр поверхности воздухоохладителя «ВОТ-380» перед химической промывкой.

Осмотр поверхности воздухоохладителя «ВОТ-380» перед химической промывкой выявил следующее:

Поверхность трубной доски воздухоохладителя покрыта слоем отложений толщиной от 2 до 5 мм. Налет очень твердый, имеет хорошее сцепление с поверхностью теплообмена. Имеются следы процессов коррозии под отложениями. Кроме этого, были обнаружены фрагменты пластика и дерева перекрываемые проход в трубки (рис. 4.1.1.1-4.1.6).

Общее состояние поверхности воздухоохладителя «ВОТ-380» неудовлетворительное.



Фото 4.1.1. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (вход).



Фото 4.1.2. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (выход).



Фото 4.1.3. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (вход).



Фото 4.1.5. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (вход).

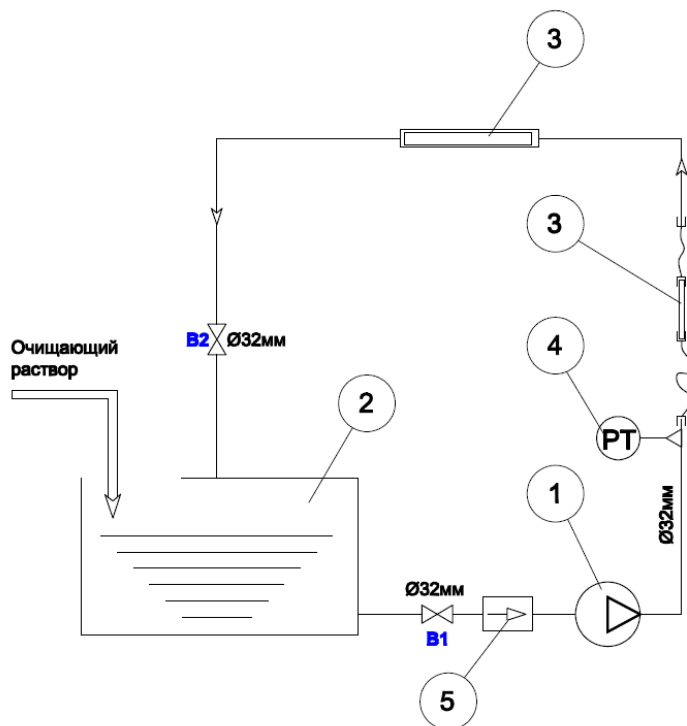
Фото 4.1.4. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (выход).



Фото 4.1.6. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» (выход).

4.2. Лабораторные испытания по очистке отложений с образцов трубок

Принципиальная схема экспериментальной установки для промывки образцов трубок приводится на рисунках 4.2.1, 4.2.2.



- 1. Насос циркуляционный, $Q=2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=38 \text{ м}$, корпус НЖ - 1 шт.
- 2. Емкость, 10 л, химстойкий пластик - 1 шт.
- 3. Ячейка для установки трубки - 2 шт.
- 4. Термо-манометр, $120 \text{ }^\circ\text{C}/4 \text{ бар}$ - 1 шт.
- 5. Обратный клапан $\text{Ø}32\text{мм}$ PVC - 1 шт.
- B1-B2 - Кран шаровый, $\text{Ø}32\text{мм}$ PVC - 2 шт.

Рис. 4.2.1. Принципиальная схема экспериментальной установки для промывки образцов трубок.

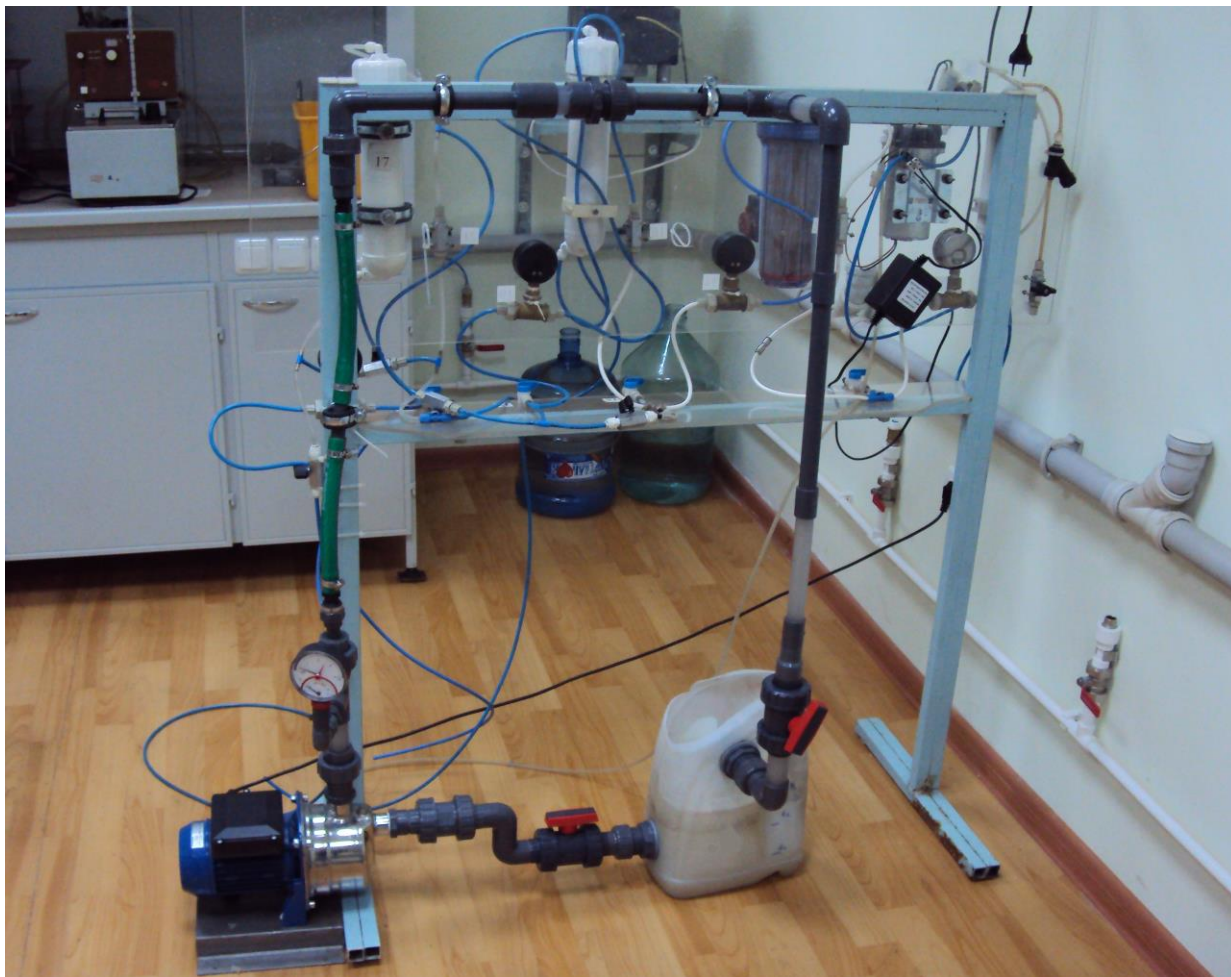


Рисунок 4.2.2. Внешний вид экспериментальной установки для промывки образцов трубок.

Циркуляционный насос предназначен для циркуляции промывочного раствора через установленные трубки (скорость циркуляции от 1,0 до 2,0 м/с). Конструкционный материал насоса, соприкасающийся с промывочным раствором – нержавеющая сталь.

Промываемые образцы помещаются либо в верхнюю горизонтальную ячейку (разборный корпус), либо соединяются шлангами вертикально.

Термоманометр, расположенный на напорной стороне насоса, предназначен для определения давления и температуры при промывке. По мере отмывки отложений с образца давление падает.

Обвязка и фитинги выполнены из химически стойкого материала.

Испытания проводились с 5% и 10% рабочими растворами. **Приготовление раствора:** поместить в емкость 300 г концентрированного вещества и добавить 5700 г дистиллированной воды, перемешать до полного растворения. рН полученного раствора в пределах 2,0-2,1.

Исследуемые образцы перед испытаниями взвесили и сфотографировали.

4.2.1. Условия испытаний для каждого образца:

1. Образец №1: циркуляция с подогревом (до 63°C) кусочка трубки с отложениями в течение 2,5 часа.
2. Образец №2: спаяли 2 трубки оловом и произвели циркуляцию раствора с подогревом до 73°C.

В результате промывок 2-х образцов отложения полностью удалены. Спаянные оловом трубки испытывались при более высокой температуре, после промывки соединение не повредилось. Результаты испытаний приводятся в таблице 4.2.1.

На рисунках 4.2.2-4.2.7 видно, что отложения отмываются до поверхности металла.

Таблица 4.2.1

№ образца	Вес образца до промывки, грамм	Вес образца после промывки, грамм	Разница в весе, грамм	Время промывки, минут	Концентрация раствора, %	Средняя температура раствора, °С	рН раствора в начале и в конце опыта
1	58,0	46,5	11,5	150	5	47,5	2,0-2,5
2	104,9	104,3	0,6	240	10	48,5	2,0-2,3

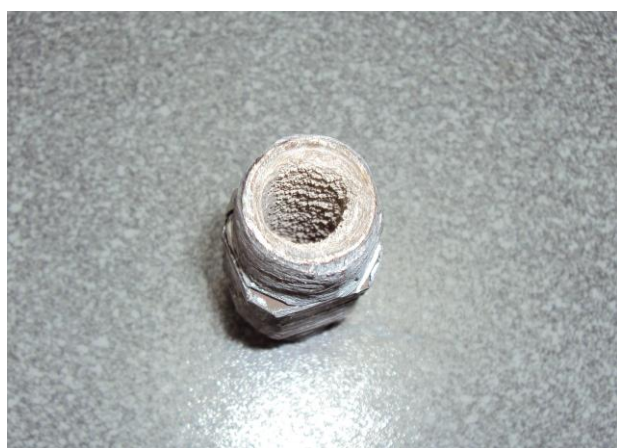


Фото 4.2.2. Образец №1 - трубка с воздухоохладителя (до промывки)

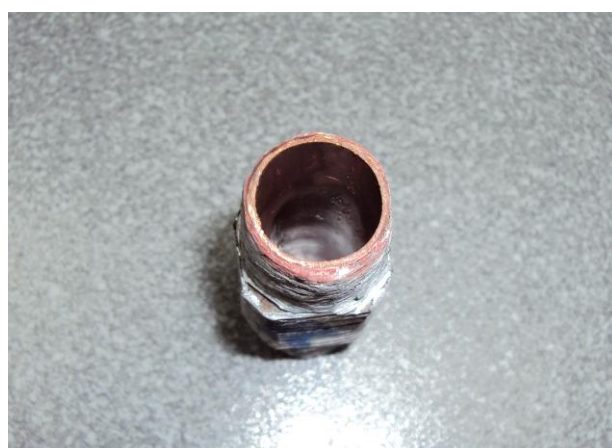


Фото 4.2.3. Образец №1 - трубка с воздухоохладителя (после промывки)

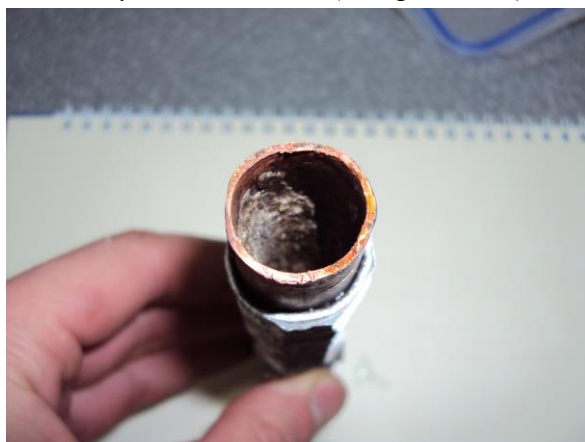


Фото 4.2.4. Образец №2 - спаянные оловом 2 трубки воздухоохладителя (до промывки)

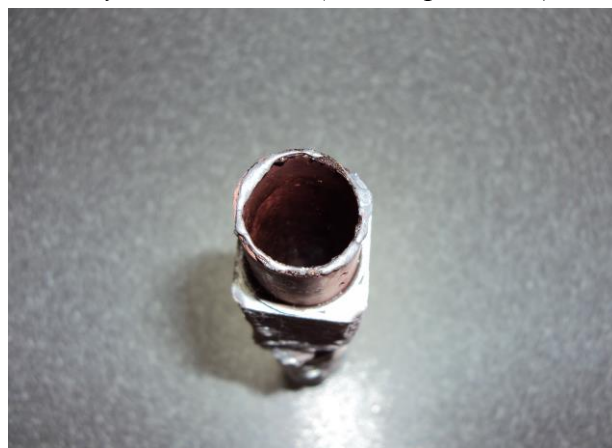


Фото 4.2.5. Образец №2 - спаянные оловом 2 трубки с воздухоохладителя (после промывки)



Фото 4.2.6. Образец №2 - спаянные оловом 2 трубки воздухоохладителя (до промывки)



Фото 4.2.7. Образец №2 – спаянные оловом 2 трубки с воздухоохладителя (после промывки)

4.3. Описание установки для промывки теплообменников

Принципиальная схема установки для промывки теплообменников приводится на рисунке 4.3.1.

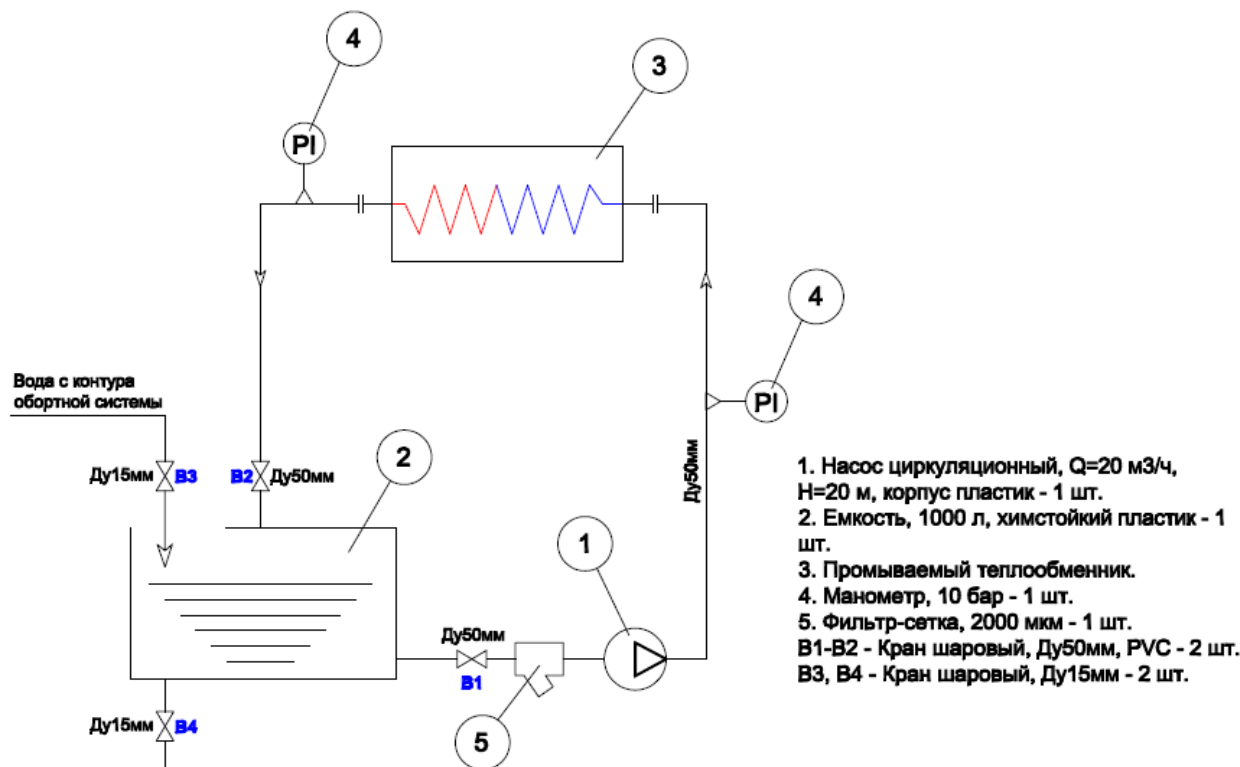


Рисунок 4.3.1. Принципиальная схема установки для промывки теплообменников.

1. Циркуляционный насос предназначен для циркуляции промывочного раствора через теплообменник с требуемой скоростью (от 0,5 до 2,0 м/с). Конструкционный материал насоса, соприкасающийся с промывочным раствором, химически стойкий пластик.

2. Емкость предназначена для приготовления рабочего (промывочного) раствора. Требуемый объем определяется исходя из внутритрубного объема промываемого теплообменника. Объем бака должен быть больше внутреннего объема теплообменника минимум в 2 раза.

3. Промываемый теплообменник подсоединяется к установке фланцами.

4. Манометры на входе и выходе (теплообменника) предназначены для замера перепада давления при промывке. Как правило, по мере отмытки отложений перепад падает.

5. Фильтр-сетка с тонкостью фильтрации 500-1000 мкм предназначена для предотвращения возврата в теплообменник крупных частиц.

Вся обвязка и фитинги выполнены из химически стойкого материала.



Фото 4.3.1.



Фото 4.3.2.

Внешний вид установки для промывки теплообменников.

4.4. Регламент проведения химической промывки теплообменника.

4.4.1. Цель:

Удаление твердых отложений с поверхностей теплообмена (водяная сторона) воздухоохладителя (далее В/О).

4.4.2. Состав оборудования для очистки В/О.

Для химической очистки используется станция химической очистки, которая состоит из:

- Емкости 1000 л,
- Насоса,
- Проточного электронагревателя,
- Запорно-регулирующей арматуры,
- 2-х манометров.

4.4.3. Необходимые химические реагенты.

- Органическая кислота;
- Ингибитор коррозии стали (уротропин).

4.4.4. Порядок проведения химической очистки В/О.

Химическая очистка трубного пространства В/О проводится путем циркуляции очищающего раствора в течение 24 часов.

1. Вскрытие крышек В/О.

Вскрытие В/О производится для фиксации исходного состояния поверхности В/О. Требуется сфотографировать трубную решетку, составить акт, в котором подробно описать увиденное на поверхностях внутритрубного пространства. Требуется сделать проход на забитых трубках для беспрепятственной циркуляции раствора через них. Опрессовать каждую трубку, при выявлении свищей, заглушить.

2. Закрытие крышек В/О.

После составления акта осмотра внутренней поверхности В/О, закрыть крышки и сделать опрессовку давлением от 2 до 6 атм.

3. Приготовление очищающего раствора.

Для проведения химической очистки данного В/О, необходимо приготовить 800 л 10-ти % рабочего раствора, с добавлением в него ингибитора коррозии (1%).

Ополосните изнутри емкость и дренируйте ее, для удаления возможных загрязнений. Затем, наполните емкость требуемым количеством (80 кг) концентрированного моющего вещества и ингибитора коррозии (8 кг). Наполните емкость водой до отметки 800 л. Значение pH раствора должно быть в пределах 2-2,5.

4. Циркуляция очищающего раствора через трубный пучок В/О.

Для начала циркуляции раствора:

- открыть арматуру на всасе насоса (на 100%) и на выходе из В/О (на 50%);
- включить насос и водонагреватель;
- проследить за состоянием обвязки, при обнаружении течи, устранить;
- проследить за давлением до и после В/О (в норме 1,5-2,0 бар).

Через 30 минут после начала циркуляции отберите пробу с бака для замера значения pH. По необходимости, добавить моногидрат (5-6 кг) для доведения значения pH моющего раствора до 2,0-2,5. После добавления моногидрата, замер pH повторить через 30 минут.

Во время циркуляции постоянно контролируйте значение pH моющего раствора (каждый час). При необходимости корректируйте значение pH моющего раствора в соответствии с таблицей 3.4.1 концентрированным моющим раствором, добавляя его в емкость СР-станции.

Таблица 4.4.1.

Диапазон pH очищающего раствора в зависимости от температуры.

Температура раствора, °C	≤ 20	≤ 45	≤ 60
Диапазон значений pH раствора	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Если произойдет интенсивное помутнение или окрашивание моющего раствора, то рекомендуется заменить моющий раствор на свежеприготовленный.

Через 24 часа промывки произвести отмывку В/О от моющего раствора.

Отключите насос и подогреватель.

Слейте моющий раствор из емкости, убедитесь, что в емкости нет осевшей взвеси, при необходимости удалите ее, вымывая потоком чистой воды.

Наполните емкость СР-станции водой и включите циркуляционный насос.

Циркуляцию В/О проводить не менее 15 минут при этом контролируйте значение pH раствора. При достижении стабильных (не изменяющихся) значений pH произведите дренирование раствора.

Повторите отмывку В/О, пока pH промывочной воды не будет отличаться от исходной на 2 единицы. По окончании отмывки, дренируйте емкость и В/О.

4.4.5. Объем химического контроля:

- Замер значения pH промывочного раствора (каждые 30-60 минут).

4.4.6. Основные меры безопасности при проведении промывки.

Станция химической очистки должна эксплуатироваться только специально обученным и уполномоченным персоналом, изучившим соответствующую инструкцию по эксплуатации.

Персонал, работающий с концентрированным моющим раствором, должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (спецодежда, спецобувь, защитные очки, перчатки резиновые).

Перед началом работы убедитесь что:

- в рабочей зоне, где предполагается проведение химочистки, нет посторонних людей;
- никто не может быть травмирован при запуске СР-станции.

Перед включением СР-станции убедитесь в отсутствии видимых повреждений и в соблюдении нормальных условий эксплуатации. Любые замеченные повреждения и отклонения от нормы необходимо устранить.

Перед запуском СР-станции необходимо удалить из рабочей зоны все материалы, нахождение которых там не требуется для ее работы.

Перед каждым запуском СР-станции в действие убедитесь в исправности приборов контроля (манометры).

Необходимо учитывать рекомендации по безопасности для рабочих и вспомогательных сред, предоставляемые соответствующими поставщиками отдельного оборудования (СР-станции).

4.4.7. Проведение химической промывки теплообменника «ВОТ-380»

Для проведения опытной химической очистки выбрали теплообменный аппарат типа «ВОТ-380».

18.07.2014г. в 15 часов 30 минут, в присутствии представителей ППК и НАО «АУЭС» он был вскрыт, при этом выявлены следующие показатели:

1. Отложения на трубной доске толщиной от 2 до 5 мм;
2. Отложения на стенках трубок от 1 до 3 мм;
3. Заглушено 12 трубок;
4. Общее количество трубок, не имеющих прохода 107 шт., всего трубок 264 шт. Т.е. 40% от общего числа заблокированы.

Источником воды для приготовления раствора была контурная вода с системы оборотного водоснабжения. Ее температура составляла 35-40 °С.

Первоначальная концентрация активного вещества в приготавливаемом растворе была 5%. По мере срабатывания (это видно по падению значения pH) добавлялось еще 1-2 % от общей массы раствора.

Раствор №1:

Первоначальный промывочный раствор приготавливался с концентрацией активного вещества 10%. При общем объеме воды 800 л, было добавлено 80 кг сухого вещества. Значение pH раствора составило 2. Добавлен ингибитор коррозии 8 кг (1% от общей массы воды). Температура раствора 37°C. Подогреватель не поддерживал температуру на требуемом уровне (40°C). Через час температура раствора составила 30°C и оставалась таковой до конца промывки.

Длительность промывки данным раствором составила 2 часа, после чего он был заменен на новый. Столь короткий период промывки объясняется быстрым его срабатыванием (значение pH поднялось до 3,5), а также потемнением и образованием большого количества мусора и осадка в емкости.

Раствор №2:

Второй рабочий раствор приготавливался на следующий день 19.07.2014г. Начало промывки вторым раствором в 10:30. Концентрации активных веществ изменены для более щадящего режима очистки:

- общий объем раствора 800 л;
- концентрация активного моющего вещества 5% (40 кг);
- концентрация ингибитора коррозии 2% (16 кг).

Длительность второй промывки составила 22 часа. Раствор быстро помутнел, значение pH снизилось до 3,5 за 3 часа. Так, по мере необходимости добавлялось активное очищающее вещество. Общее количество дополнительно израсходованного моющего вещества составило (за 22 часа) ≈ 20 кг.

К концу промывки вторым раствором, т.е. на следующий день 20.07.2014г. в 8:30, в емкости скопилось большое количество осадка в виде светло-коричневых хлопьев. После этого было принято решение поменять раствор на вновь приготовленный.

Раствор №3:

3. Концентрации активных веществ и объем как в предыдущем случае:

- общий объем раствора 800 л;
- концентрация активного моющего вещества 5% (40 кг);
- концентрация ингибитора коррозии 2% (16 кг).

Длительность третьей промывки составила 23 часа (с 20.07.2014 г. 10:40 до 21.07.2014г. 9:30). В самом начале третьей процедуры, в течение часа раствор принял темный окрас. Значение pH снизилось до 3,5 за 4 часа. За все время завершающей промывки было дополнительно израсходованно ≈ 20 кг активного очищающего вещества.

Отмывка теплообменника от остатков раствора.

Далее раствор поменяли на обычную воду. Произвели отмывку теплообменника от раствора водой трижды, т.е. вода менялась три раза. Каждая отмывка (циркуляция) длилось 15 минут.

4.4.8. Визуальный осмотр теплообменника после химической промывки

Вскрытие теплообменника «ВОТ-380» 21.07.2014г., после проведения опытной химической очистки, в присутствии представителей ППК и НАО «АУЭС» выявило следующее:

1. Со стороны входа промывочного раствора поверхность трубной решетки отмыта на 85% (фото 4.4.1);
2. Со стороны выхода промывочного раствора поверхность трубной решетки отмыта – на 25% (фото 4.4.2);
3. Отложения в основном легко отслаиваются от поверхности трубной решетки;
4. Трубки, изначально имеющие проход, промыты практически до металла (фото 4.4.3, 4.4.4);
5. Часть трубок промыты не до конца, расположены они в основном по периметру (фото 4.4.5);
6. 95 трубок, не имевших изначально прохода, так и остались закрытыми (фото 4.4.6, 4.4.7);
7. Опрессовка теплообменника (давлением до 5 бар) не выявила наличие свищей.



Фото 4.4.1. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (вход).



Фото 4.4.2. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (выход).

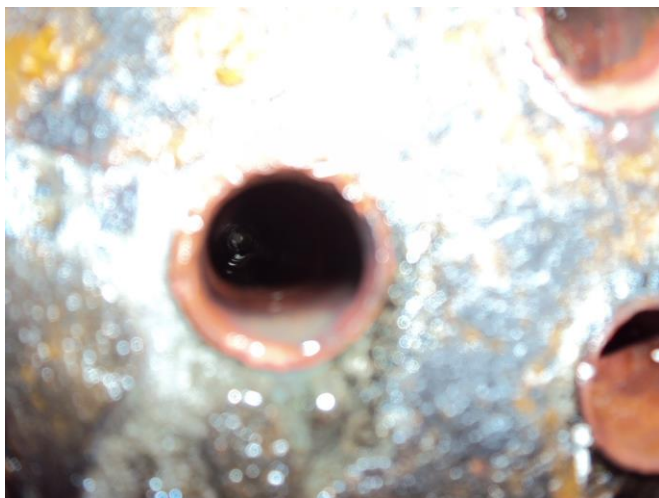


Фото 4.4.3. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (вход).



Фото 4.4.4. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (выход).



Фото 4.4.5. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (вход).



Фото 4.4.6. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (выход).



Фото 4.4.7. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (вход).



Фото 4.4.8. Трубная доска воздухоохладителя «ВОТ-380» после промывки (выход).

4.5. Выводы и рекомендации

Выводы:

Теплообменник отмыт не полностью. Основными причинами не достаточно эффективной промывки является:

1. Отсутствие потока на 95 трубках;
2. Расход раствора через теплообменник не достаточно высок для равномерного заполнения всех трубок. По периметру трубной решетки скорость потока низкая.

По расчетам скорость потока через теплообменник составляла:

$$w = G(\text{м}^3/\text{ч})/S(\text{м}^2) = 20 \text{ м}^3/\text{ч} / 0,02654 \text{ м}^2 = 753,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,21 \text{ м/с}.$$

3. Возможно, не достаточно высокая температура раствора (во время процедуры она находилась на уровне 25-30 °С);

Рекомендации:

1. Перед проведением промывки теплообменного аппарата необходимо обеспечить проход на всех трубках (минимальная ширина прохода 5 мм);
2. Обеспечить расход воды через теплообменник 30-40 м³/ч;

3. Требуется подогрев раствора до 40-45 °С и поддержание его на этом уровне в течение всего процесса промывки.

4. По окончании химической промывки провести отмывку чистой водой внутренней поверхности теплообменника.

5. Требуется подбор оптимальной концентрации активного моющего вещества в растворе. Провести дополнительные лабораторные испытания для подбора концентрации активного вещества очищающего раствора.

6. Провести промывку одного теплообменного аппарата обеспечив устранение выявленных недостатков.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ В ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ МПЦ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ.

5.1. Общее.

Купоны (пластинки) из углеродистой и нержавеющей стали, помещенные в оборотную воду, дают хорошее представление об условиях, имеющих место в данной системе и о виде коррозионных процессов. Скорость коррозии рассчитывается на основании потери веса купона за определенный промежуток времени.

Купоны устанавливаются в специальных змеевиках (рис. 5.1.1). Змеевик присоединяется к системе при помощи шланга или трубы. Существуют два варианта обеспечения протока воды через змеевик – со свободным сливом или в систему под давлением. В любом случае, подача воды в змеевик должна быть снизу, а выход сверху. Свободный конец купона должен быть ориентирован по направлению потока воды. Проток воды через змеевик должен составлять около 1 м/с. При установке в одном змеевике купонов из различных материалов (например, меди и углеродистой стали) необходимо располагать углеродистые купоны перед медными, во избежание гальванической коррозии, которая может повлиять на точность результата.

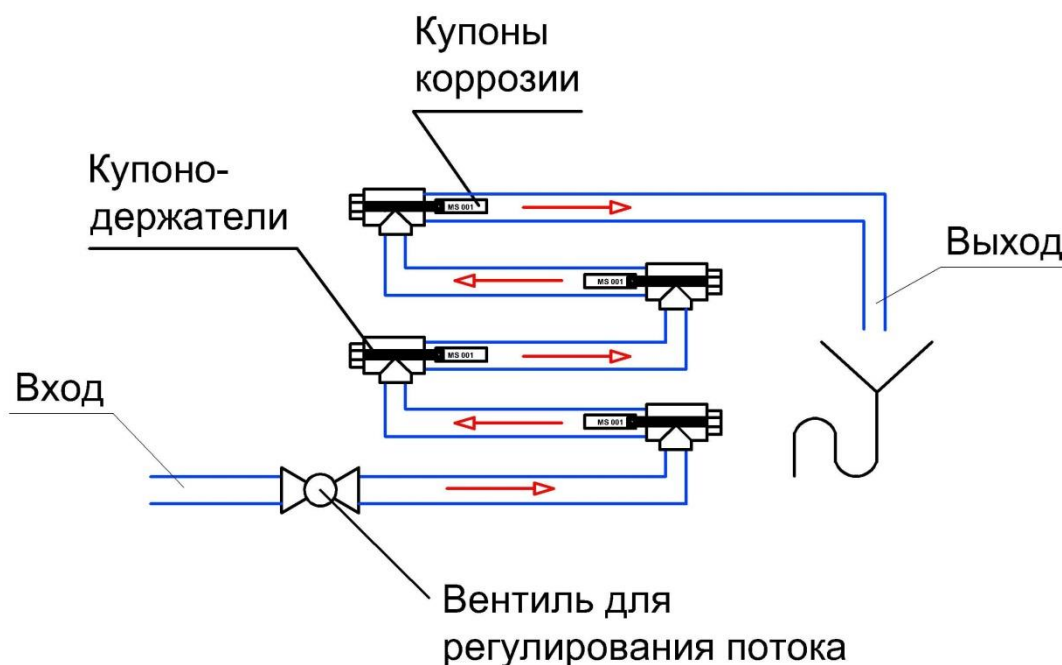


Рис.5.1.1. Змеевик для установки купонов коррозии.

Купоны вынимают через время, предусмотренное программой испытаний (обычно 30, 60, 90, 365 суток). После снятия купоны визуально проверяют на наличие отложений, местной (локальной) коррозии и т.п.

5.2. Процедура измерения потери веса купонов.

1. Очистить купон от отложений, не используя для этого металлические предметы, чтобы не повредить поверхность купона.
2. Погрузить купон на 30 минут в толуол (или любой другой растворитель) для удаления возможных следов нефтепродуктов.
3. Высушить купон на воздухе.
4. Погрузить купон на 30 секунд в ингибированную соляную кислоту.
5. Промыть купон под струей проточной воды.

6. Немедленно погрузить купон на 10 секунд в насыщенный содовый раствор для нейтрализации остатков кислоты.

7. Промыть купон в дистиллированной воде, обработать ацетоном и сушить в сушильном шкафу при 40-50 °С в течение 2 часов.

8. Охладить купон до комнатной температуры и взвесить его.

Скорость коррозии определяется по следующей формуле:

$$П \text{ (мм/год)} = 3650 \cdot \text{Потери веса (г)} / [\text{плотность металла (г/см}^3\text{)} \cdot \text{площадь поверхности купона (см}^2\text{)} \cdot \text{время выдержки (сут.)}].$$

В случае, если отложения с поверхности купона не удастся удалить в течение 30 секунд в ингибированной соляной кислоте, то необходимо повторить процедуру очистки купона применяя поправочный коэффициент – на каждое дополнительное погружение в кислоту (30 секунд) необходимо вычитать из полученных потерь веса 1 мг.

5.3. Проведение опыта.

В оборотной системе охлаждения МПЦ установлены 2 змеевика с 3-мя купонодержателями в каждом. Точки установки:

1. Трубопровод подпитки 2-го контура -1 змеевик.

2. Обратный трубопровод ОСО 2-го контура (после теплообменников) – 1 змеевик.

В период с марта по декабрь проведен ряд опытов по определению скорости коррозии, результаты этих опытов приведены в таблицах 5.3.1 и 5.3.2.

1. Период опыта с 11.03.14г. по 13.04.14г. (34 сут.).

Среднее значение электропроводности 5624 мкСм/см, рН=8,68.

Отметим, что в этот период было очень сложно поддерживать **рекомендованный режим:**

- электропроводность 6000-6500 мкСм/см (регулирование расхода продувки),

- рН 8,4-8,8 (дозирование серной кислоты),

- концентрация фосфатов 4,5 – 7,8 мг/л (дозирование ингибитора «3DT138» пропорционально расходу продувки 60 мг/л).

Причиной нарушения режима было отсутствие автоматизированной подпитки и продувки оборотной системы, а также неполадки датчика рН системы «3DTrasar».

Как можно видеть из рис. 5.3.1 и 5.3.2, в период опыта необходимый режим работы оборотной системы часто нарушался, как в отношении значения рН, так и электропроводности. Тем не менее, результат оказался удовлетворительным, средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,0937 мм/год, т.е. не превышала гарантированного значения 0,11 мм/год.

2. Период опыта с 13.04.14г. по 24.05.14г. (41 сут.).

Среднее значение электропроводности 5489 мкСм/см, рН=8,77.

В этот период также как и в предыдущий было сложно поддерживать рекомендованный режим, и он практически не отличался по параметрам от предыдущего (рис. 4.3.3 и 4.3.4). Результат исследования купона - скорость коррозии углеродистой стали 0,1899 мм/год, т.е. имело место превышение гарантированного значения 0,11 мм/год.

3. Период опыта с 18.05.14г. по 8.06.14г. (21 сут.) и с 24.05.14г. по 08.06.14г. (15 сут.).

Среднее значение электропроводности 5846 мкСм/см, рН=8,76.

Данные опыты мы были вынуждены прервать, поскольку снова имело место нарушение рекомендованного режима.

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,3905 мм/год и 0,3569 мм/год соответственно.

4. Период опыта с 08.06.14г. по 08.07.14г. (30 сут.).

Среднее значение электропроводности 6233 мкСм/см, рН=8,73.

В этот период были выдержаны все рекомендации (рис. 5.3.7 и 5.3.8), т.е. режим соответствовал их требованиям, однако в результате средняя скорость коррозии углеродистой стали превысила норму, и составила 0,2375 мм/год.

Далее принимаем решение изменить режим повысить дозу ингибитора коррозии с 60 мг/л до 80 мг/л, меняют режим работы оборотной системы на 5500-6000 мкСм/см и устанавливают новые купоны коррозии.

5. Период опыта с 09.07.14г. по 20.08.14г. (41 сут.).

Среднее значение электропроводности 5900 мкСм/см, рН=8,79.

Как было сказано выше, дозировка в этот период была увеличена до 80 мг/л. Режим работы оборотной системы в период этого опыта серьезных нарушений не имел (рис.5.3.9 и 5.3.10).

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,1007 мм/год.

После проведения планово-предупредительных работ в период с 21.08.14г. по 10.09.14г., оборотная система была переведена на режим работы 5000 мкСм/см, с дозой ингибитора 60 мг/л. Однако после полного израсходования ингибитора (19.09.14г.) установили следующий режим работы оборотной системы: электропроводность 3500-4000 мкСм/см, рН 8,4-8,8.

6. Период опыта с 15.10.14г. по 26.10.14г. (11 сут.).

Среднее значение электропроводности 3608 мкСм/см, рН=8,71.

В этот период не дозировались никакие химические реагенты, электропроводность охлаждающей воды была снижена на максимально возможное значение.

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 1,0004 мм/год.

Столь короткий срок выдержки не позволяет говорить о достаточной достоверности полученных результатов.

7. Период опыта с 27.10.14г. по 24.11.14г. (28 сут.).

Рекомендованный режим:

- электропроводность 4400-4600 мкСм/см (регулирование расхода продувки),
- рН 8,4-8,8 (дозирование серной кислоты),
- концентрация фосфатов 4,5 – 7,8 мг/л (дозирование ингибитора «3DT138» пропорционально расходу продувки 60 мг/л).

Среднее значение электропроводности 4461 мкСм/см, рН=8,59 (рис. 5.3.11 и 5.3.12).

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,1453 мм/год.

8. Период опыта с 24.11.14г. по 23.12.14г. (29 сут.).

В этот период запустили дозирование дополнительного ингибитора меди «Nalco 73190».

Поддерживаемые параметры остались прежними, за исключением рН. С 30 ноября прекратили дозирование серной кислоты. При этом значение рН охлаждающей воды большую часть периода превышал норму 8,4-8,8.

Среднее значение электропроводности 4416 мкСм/см и рН=8,87 (рис. 5.3.13 и 5.3.14).

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,0565 мм/год.

5.4. Выводы:

1. Результаты нескольких опытов по определению скорости коррозии купонов из нержавеющей стали показали, что их скорость коррозии не превышает гарантированного значения (0,05 мм/год), и составляют не более 0,003 мм/год.

2. Скорость коррозии купонов (в период с марта по июль) из углеродистой стали в циркуляционном контуре при поддержании изначально принятых расчетных параметров охлаждающей воды (электропроводность 6000-6500 мкСм/см, рН=8,4-8,8, доза ингибитора 60 мг/л) составляет от 0,0902 до 0,3260 мм/год.

3. Средняя скорость коррозии купонов (в период с июля по август) из углеродистой стали в циркуляционном контуре при поддержании измененных расчетных параметров охлаждающей воды (электропроводность 5900-6000 мкСм/см, рН=8,4-8,8, доза ингибитора 80 мг/л) составляет 0,1007 мм/год.

4. Средняя скорость коррозии купонов (в период с октября по ноябрь) из углеродистой стали в циркуляционном контуре при поддержании расчетных параметров охлаждающей воды принятых в конце октября (электропроводность 4400-4600 мкСм/см, рН=8,4-8,8, доза ингибитора 60 мг/л) составляет 0,1453 мм/год.

5. С 24.11.14г. запустили дозирование дополнительного ингибитора меди «Nalco 73190».

Поддерживаемые параметры остались прежними, за исключением рН. С 30 ноября прекратили дозирование серной кислоты. При этом значение рН охлаждающей воды большую часть периода превышало норму 8,4-8,8.

Средняя скорость коррозии углеродистой стали составила 0,0565 мм/год.

На полученный результат, возможно, повлияло введение дополнительного ингибитора меди, но несомненно и то, что отсутствие подкисления, и как следствие высокое значение общей щелочности снизило коррозионную активность охлаждающей воды, и сместило равновесие в сторону образования накипи на поверхностях нагрева.

6. Опыты по определению скорости коррозии в подпиточной (озерной) воде, показали результаты от 0,3239 до 0,8687 мм/год. Т.е. скорость коррозии углеродистой стали в необработанной исходной воде, значительно превышает скорость коррозии в более концентрированной, но обработанной химическими реагентами циркуляционной воде.

Таблица 5.1.

Определение защитного эффекта ингибитора «Nalco 3DT138»

Период опыта: с 11.03.14г. по 13.04.14г.											
№п/п	Место установки	№ купона	Тип металла	Плотность металла	Площадь поверхности купона	Вес до опыта	Вес после опыта	Потеря в весе	Период опыта	Интенсивность коррозии	Скорость коррозии
				г/см ³	см ²	г	г	г	сутки	г/(м ² *сутки)	мм/год
1	Контур охл.	MQ1824	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,6331	10,5258	0,1073	28	1,9393	0,0902
2	Контур охл.	M79549	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,9751	10,8347	0,1404	34	2,0898	0,0972
3	Контур охл.	S16168	НЖ SS304	8,9	19,76	13,0648	13,0767	-0,0119	28	-0,2151	-0,0088
Период опыта: с 13.04.14г. по 24.05.14г.											
4	Контур охл.	M79909	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,8690	10,5381	0,3309	41	4,0844	0,1899
Период опыта: с 13.04.14г. по 20.08.2014г.											
5	Контур охл.	S16169	НЖ SS304	8,9	19,76	13,0720	13,0750	-0,0030	129	-0,0118	-0,0005
Период опыта: с 18.05.14г. по 8.06.14г.											
6	Контур охл.	A1	Сталь 3	7,85	22,9424	14,2176	13,8219	0,3957	21	8,2131	0,3819
7	Контур охл.	A2	Сталь 3	7,85	22,5778	14,1953	13,7884	0,4069	21	8,5820	0,3990
Средняя скорость коррозии:											0,3905
Период опыта: с 18.05.14г. по 18.06.14г.											
8	Контур охл.	НЖ1	НЖ "12x18Н9Т"	8,9	23,6137	14,5352	14,5300	0,0052	30	0,0734	0,0030
Период опыта: с 24.05.14г. по 8.06.14г.											
№п/п	Место установки	№ купона	Тип металла	Плотность металла	Площадь поверхности купона	Вес до опыта	Вес после опыта	Потеря в весе	Период опыта	Интенсивность коррозии	Скорость коррозии
				г/см ³	см ²	г	г	г	сутки	г/(м ² *сутки)	мм/год

9	Контур охл.	M79002	Угл. Сталь	7,85	19,76	11,0646	10,8182	0,2464	15	8,3131	0,3865
10	Контур охл.	M79003	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,8374	10,6288	0,2086	15	7,0378	0,3272
Средняя скорость коррозии:											0,3569
Период опыта: с 8.06.14г. по 8.07.14г.											
11	Контур охл.	M79001	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,9763	10,7931	0,1832	30	3,0904	0,1437
12	Контур охл.	M79004	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,7088	10,4288	0,2800	30	4,7233	0,2196
13	Контур охл.	M79005	Угл. Сталь	7,85	19,76	11,0515	10,7191	0,3324	30	5,6073	0,2607
14	Контур охл.	M79007	Угл. Сталь	7,85	19,76	11,0413	10,6534	0,3879	28	7,0109	0,3260
Средняя скорость коррозии:											0,2375
Период опыта: с 9.07.14г. по 20.08.14г.											
15	Контур охл.	M79008	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,9071	10,6572	0,2499	41	3,0846	0,1434
16	Контур охл.	MQ1801	Угл. Сталь	7,85	19,76	10,4898	10,4168	0,0730	41	0,9011	0,0419
17	Контур охл.	M79009	Угл. Сталь	7,85	19,76	11,0112	10,8077	0,2035	41	2,5118	0,1168
Средняя скорость коррозии:											0,1007
Период опыта: с 15.10.14г. по 26.10.14г.											
18	Контур охл.	E1	Сталь 3	7,85	19,7153	13,0930	12,5191	0,5739	11	26,4631	1,2304
19	Контур охл.	E2	Сталь 3	7,85	22,1303	14,5196	14,0548	0,4648	11	19,0935	0,8878
20	Контур охл.	E3	Сталь 3	7,85	21,6988	13,2198	12,7666	0,4532	11	18,9872	0,8828
Средняя скорость коррозии:											1,0004
Период опыта: с 27.10.14г. по 24.11.14г.											
21	Контур охл.	F1	Сталь 3	7,85	21,1703	13,9872	13,8073	0,1799	28	3,0349	0,1411
22	Контур охл.	F2	Сталь 3	7,85	24,7003	15,6893	15,4666	0,2227	28	3,2200	0,1497
23	Контур охл.	F3	Сталь 3	7,85	22,2703	14,3134	14,1189	0,1945	28	3,1191	0,1450
Средняя скорость коррозии:											0,1453
Период опыта: с 24.11.14г. по 23.12.14г.											
№п/п	Место установки	№ купона	Тип металла	Плотность металла	Площадь поверхности купона	Вес до опыта	Вес после опыта	Потеря в весе	Период опыта	Интенсивность коррозии	Скорость коррозии
				г/см ³	см ²	г	г	г	сутки	г/(м ² *сутки)	мм/год
24	Контур охл.	K1	Сталь 3	7,85	22,2703	14,6633	14,5776	0,0857	29	1,3270	0,0617
25	Контур охл.	K2	Сталь 3	7,85	23,5903	15,1565	15,0732	0,0833	29	1,2176	0,0566

26	Контур охл.	КЗ	Сталь 3	7,85	22,2703	14,2706	14,1996	0,0710	29	1,0993	0,0511
Средняя скорость коррозии:											0,0565

Таблица 5.2

Период опыта: с 16.06.14г. по 8.07.14г.											
№п/п	Место установки	№ купона	Тип металла	Плотность металла	Площадь поверхности купона	Вес до опыта	Вес после опыта	Потеря в весе	Период опыта	Интенсивность коррозии	Скорость коррозии
				г/см ³	см ²	г	г	г	сутки	г/(м ² *сутки)	мм/год
4	Подпитка	B1	Сталь 3	7,85	21,2460	13,0483	12,5392	0,5091	22	10,8919	0,5064
5	Подпитка	B2	Сталь 3	7,85	21,2460	13,1368	12,5418	0,5950	22	12,7297	0,5919
6	Подпитка	B3	Сталь 3	7,85	21,2460	13,1765	12,3032	0,8733	22	18,6838	0,8687
Средняя скорость коррозии:											0,6557
Период опыта: с 16.06.14г. по 20.08.14г.											
7	Подпитка	C1	Сталь 3	7,85	20,9660	13,2258	12,2766	0,9492	65	6,9651	0,3239
Период опыта: с 09.07.14г. по 20.08.14г.											
8	Подпитка	D1	Сталь 3	7,85	20,9660	13,1712	12,1595	1,0117	41	11,7694	0,5472
9	Подпитка	D2	Сталь 3	7,85	20,9660	13,1985	12,0828	1,1157	41	12,9792	0,6035
10	Подпитка	D3	Сталь 3	7,85	20,9660	13,1349	11,9789	1,1560	41	13,4481	0,6253
Средняя скорость коррозии:											0,5920

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 11.03.14г. по 13.04.14г.

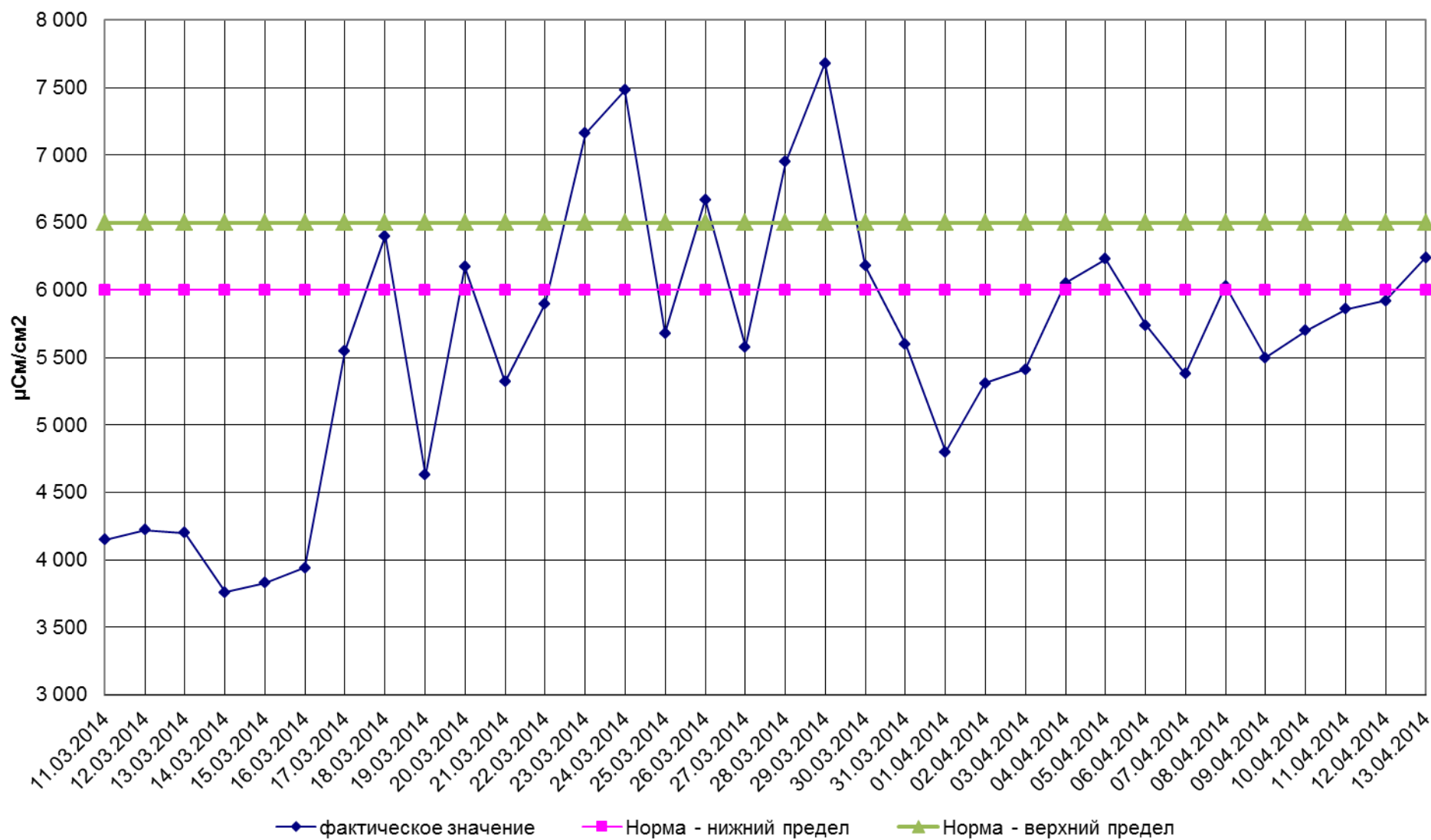


Рис. 5.3.1.

рН охлаждающей воды в период с 11.03.14г. по 13.04.14г.

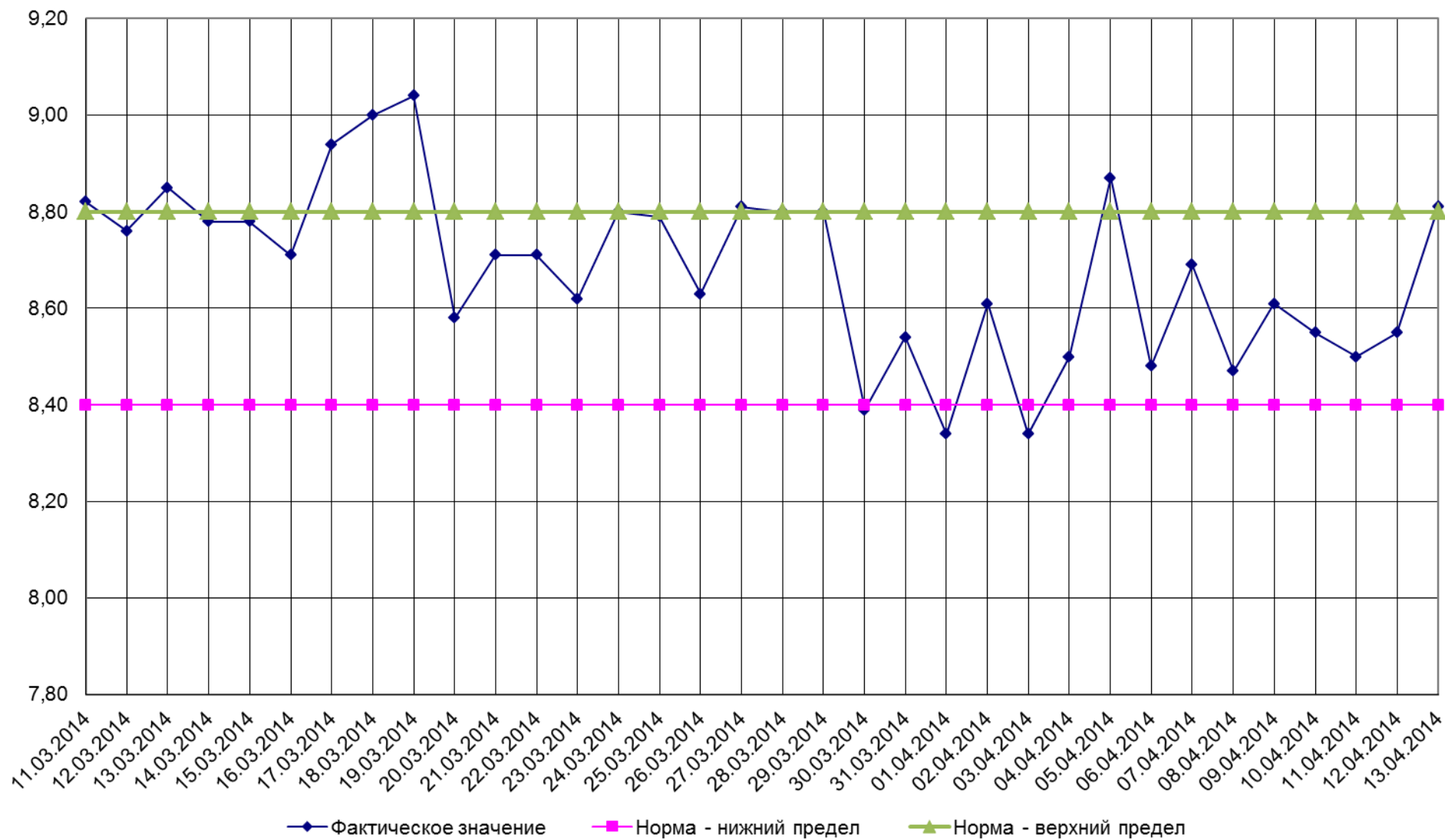


Рис. 5.3.2.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 13.04.14г. по 24.05.14г.

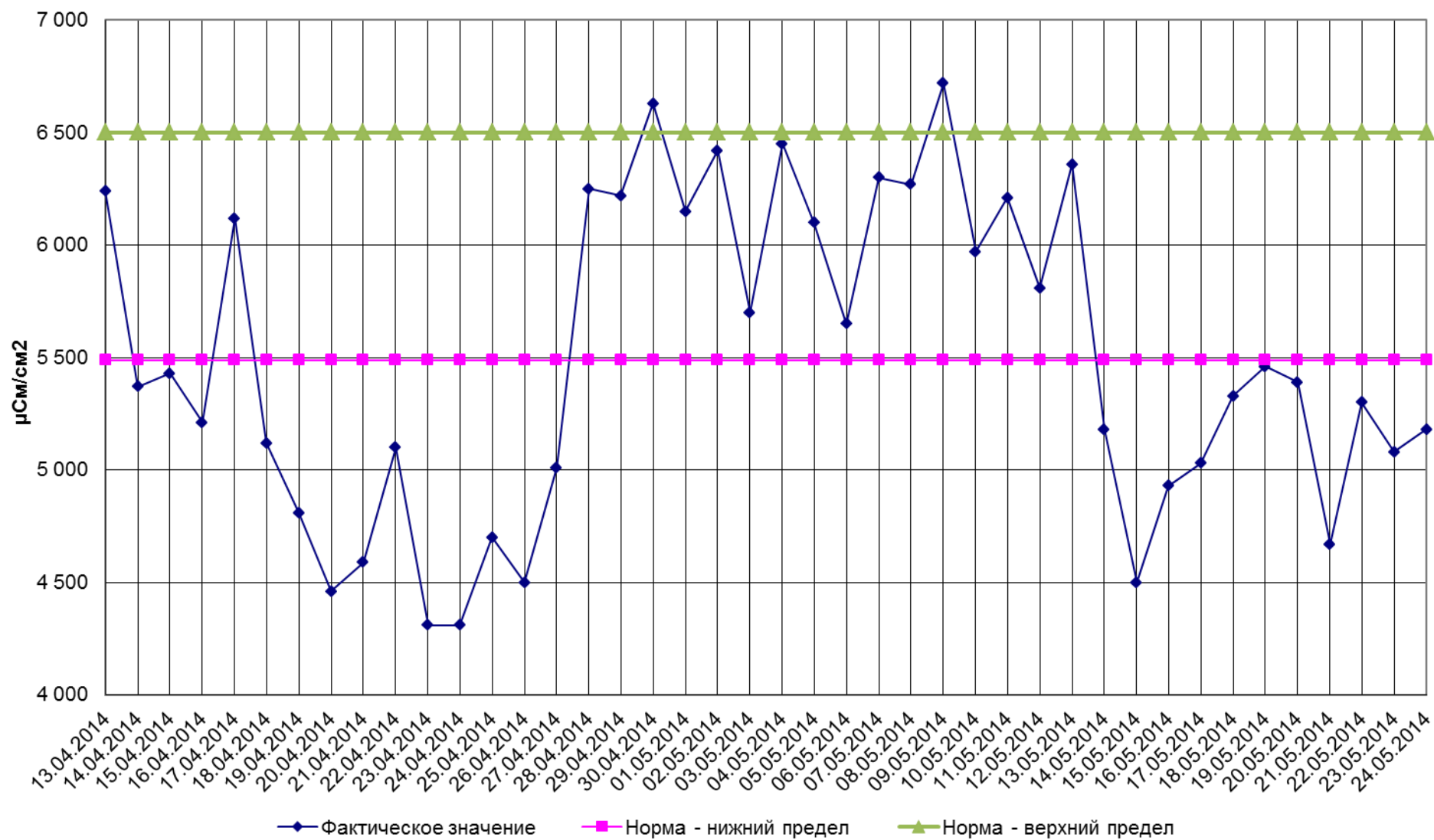


Рис. 5.3.3.

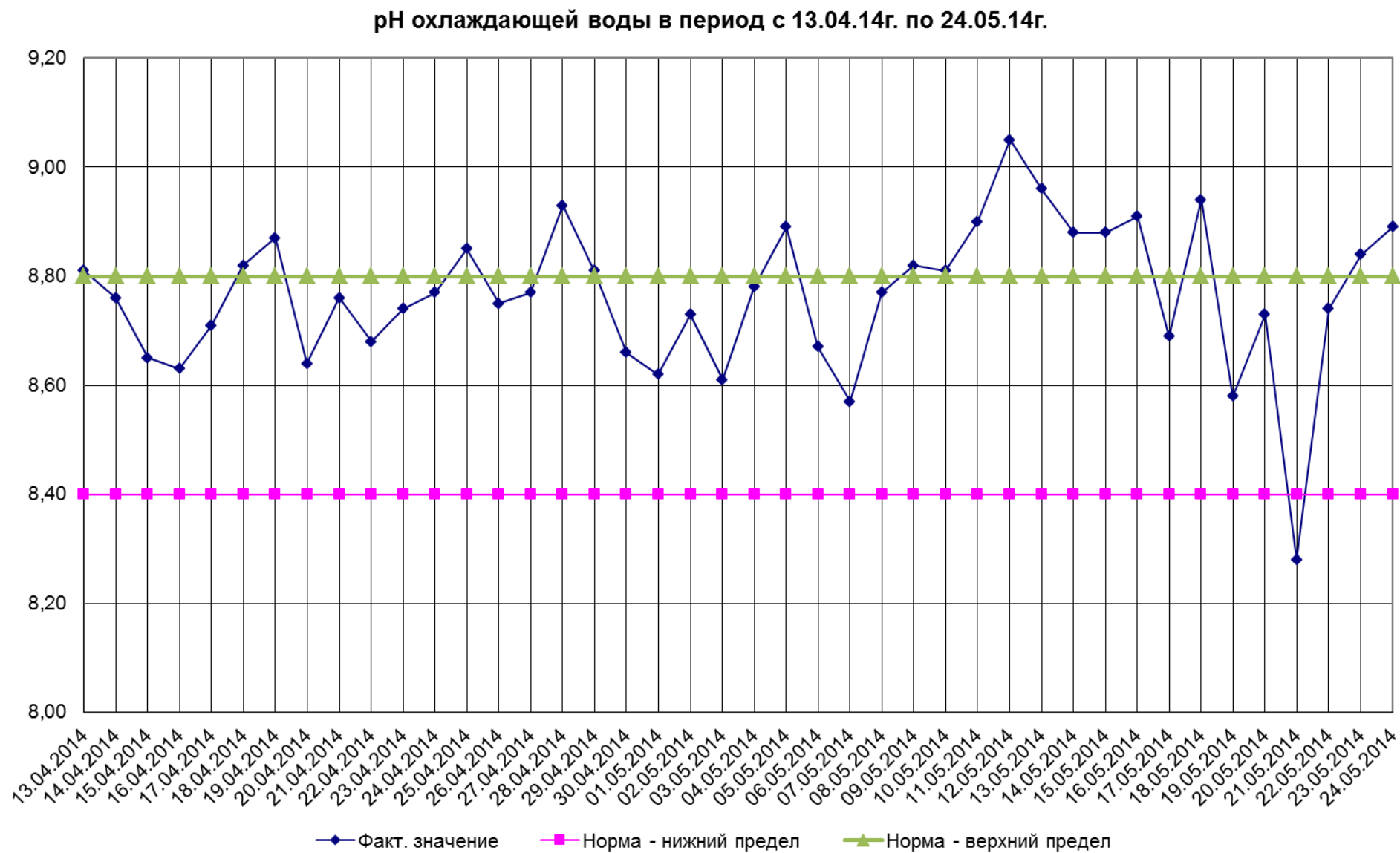


Рис. 5.3.4.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 18.05.14г. по 08.06.14г.

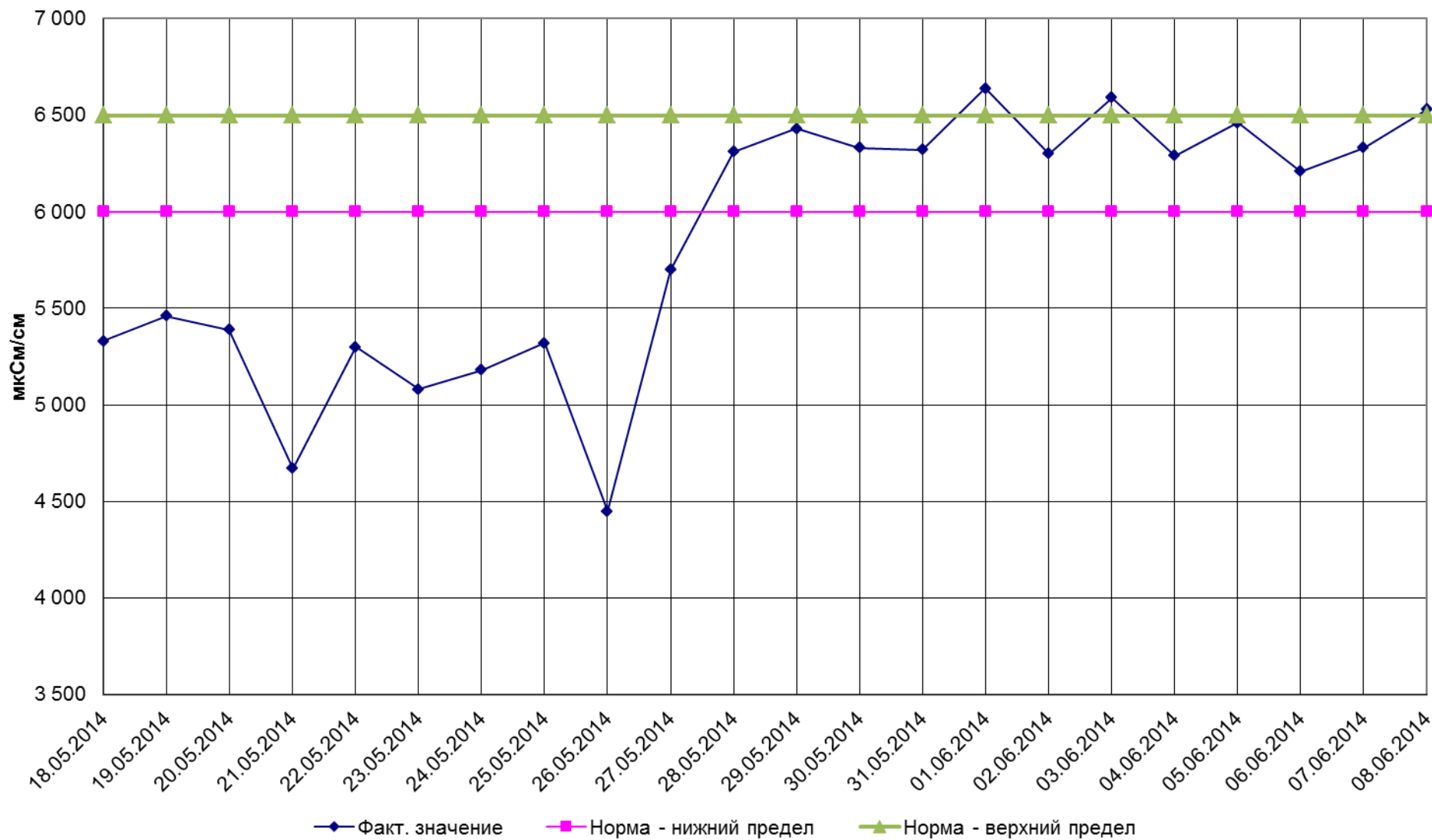


Рис. 5.3.5.

рН охлаждающей воды в период с 18.05.14г. по 08.06.14г.

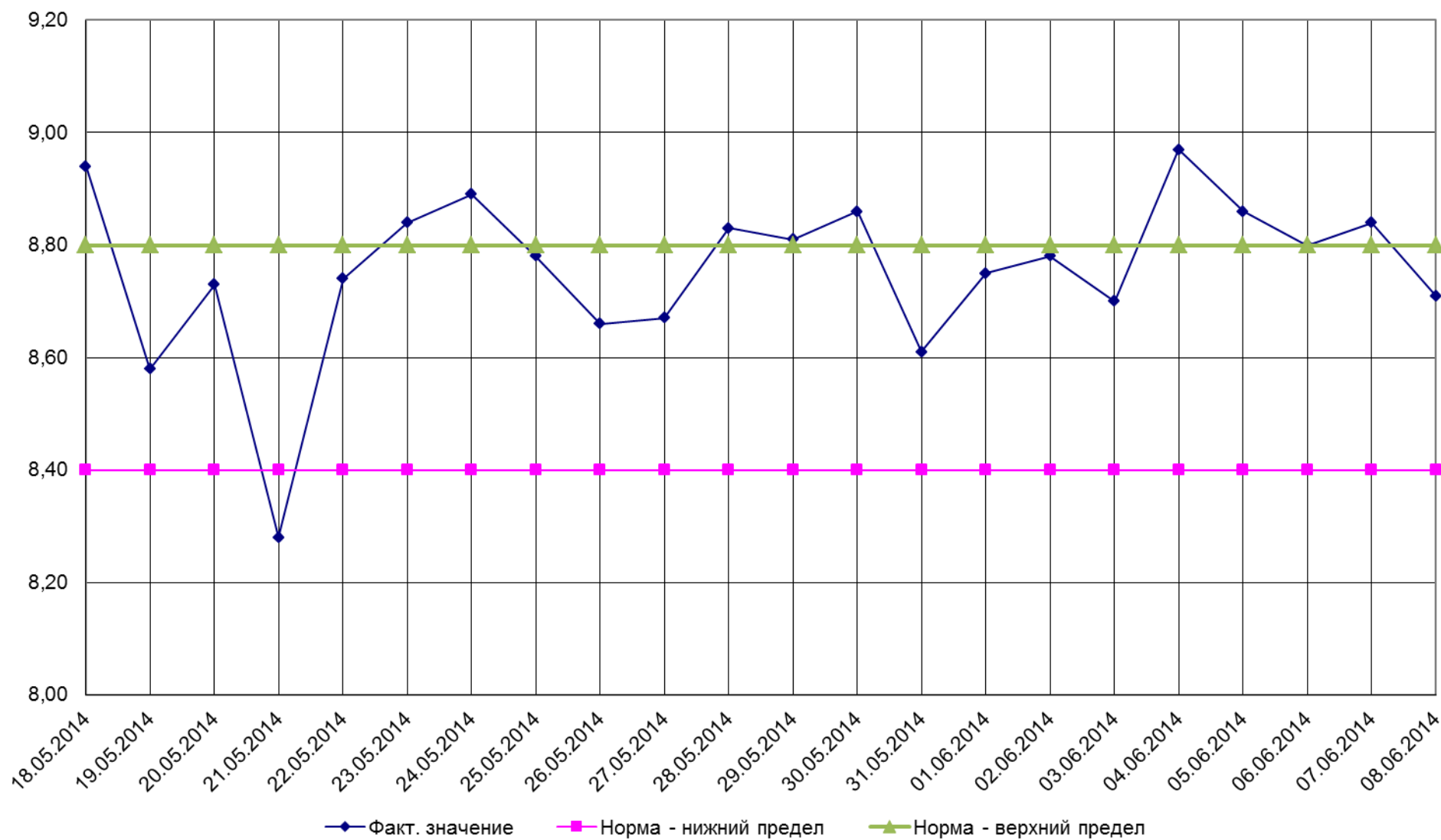


Рис. 5.3.6.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 08.06.14г. по 08.07.14г.

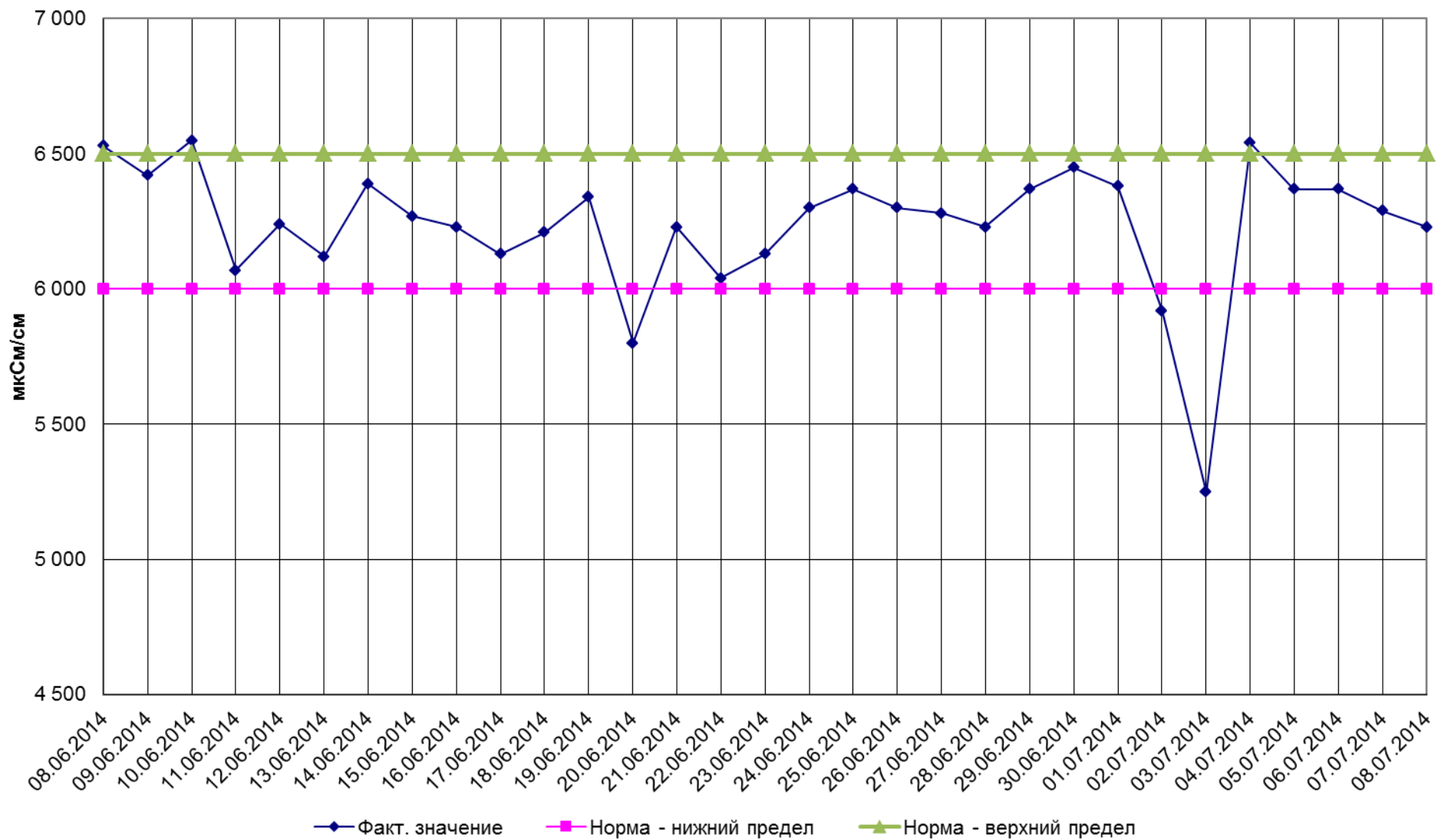


Рис. 5.3.7.

рН охлаждающей воды в период с 08.06.14г. по 08.07.14г.

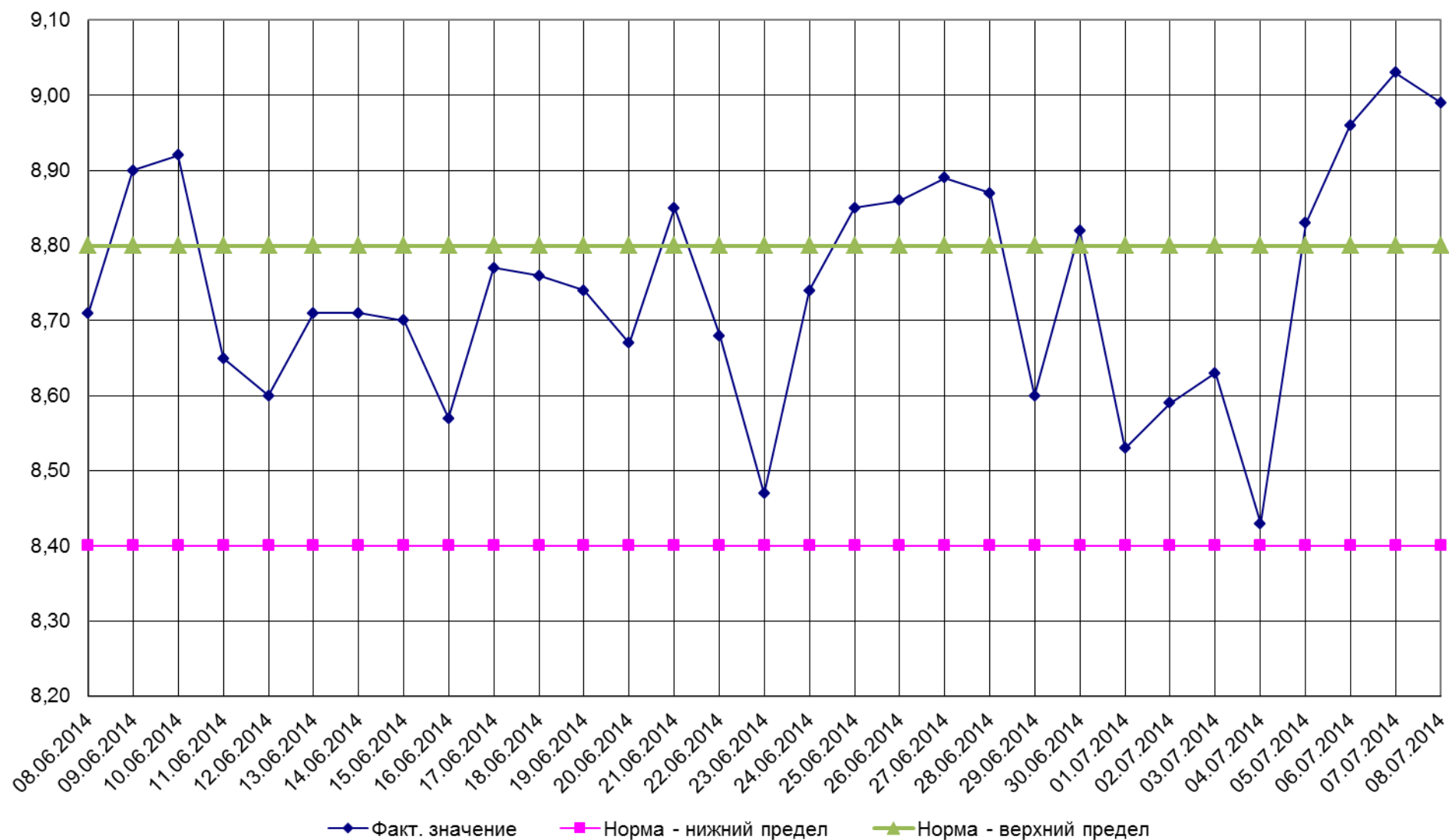


Рис. 5.3.8.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 09.07.14г. по 20.08.14г.

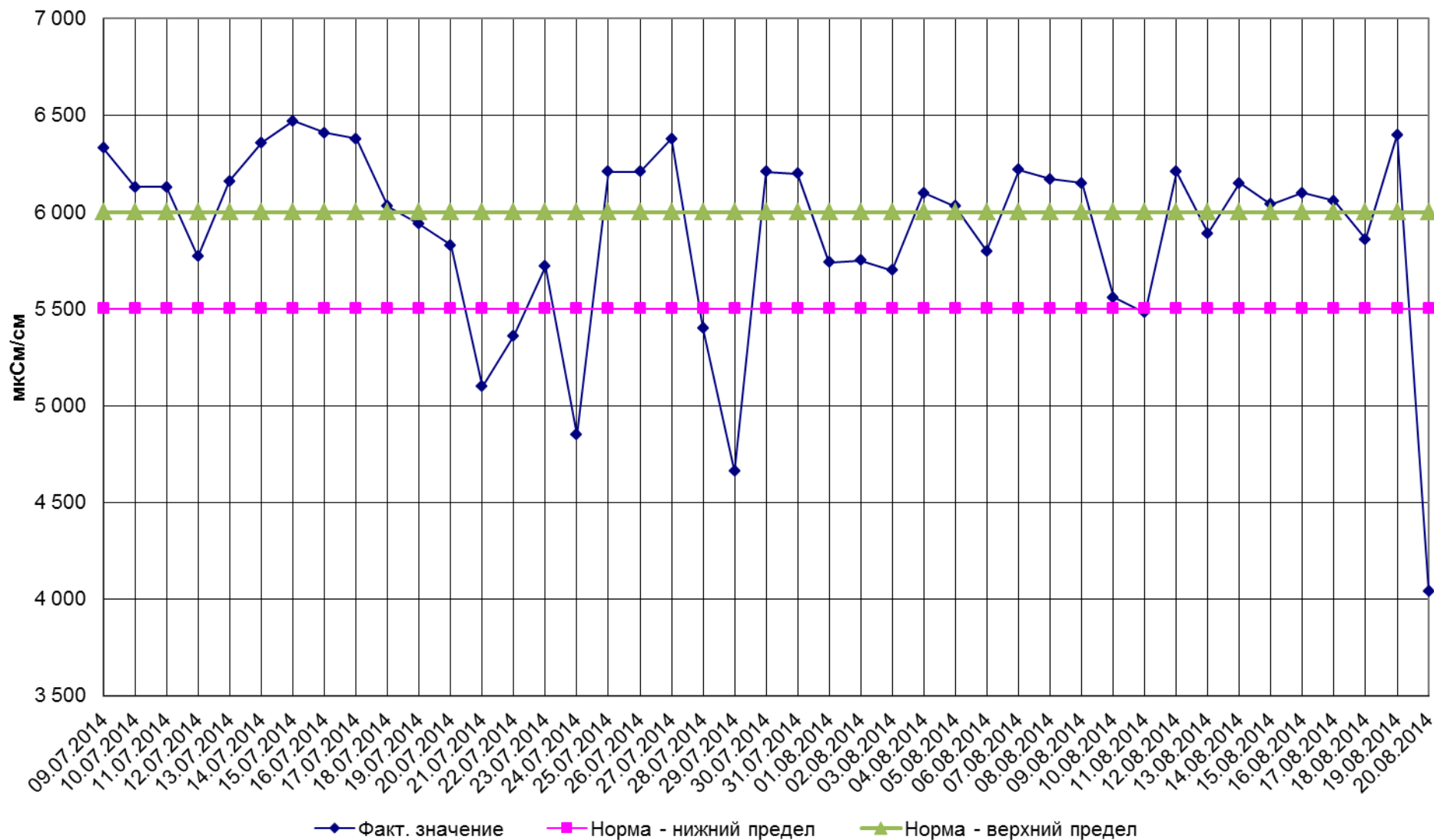


Рис. 5.3.9.

рН охлаждающей воды в период с 09.07.14г. по 20.08.14г.

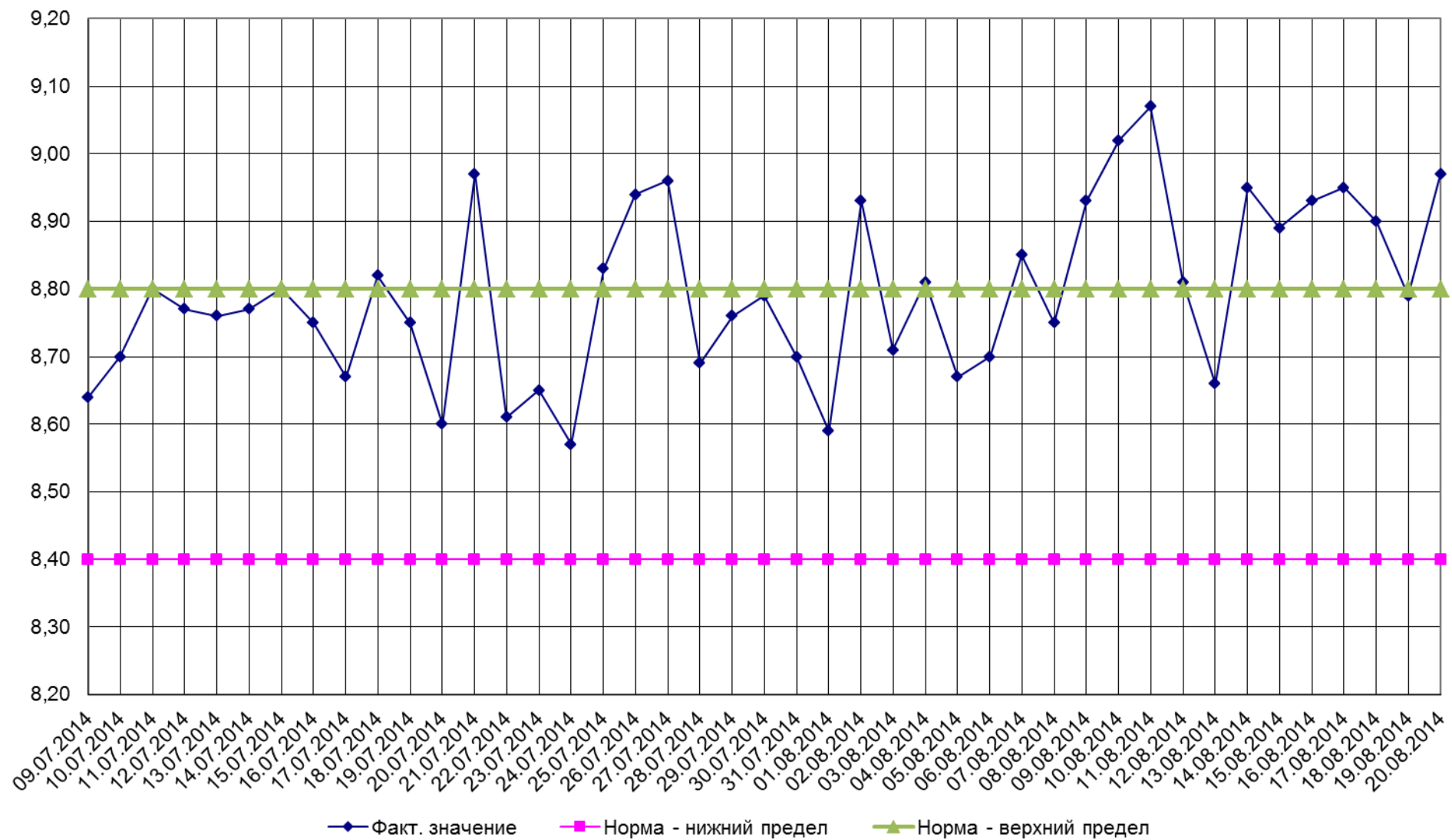


Рис. 5.3.10.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 27.10.14г. по 24.11.14г.

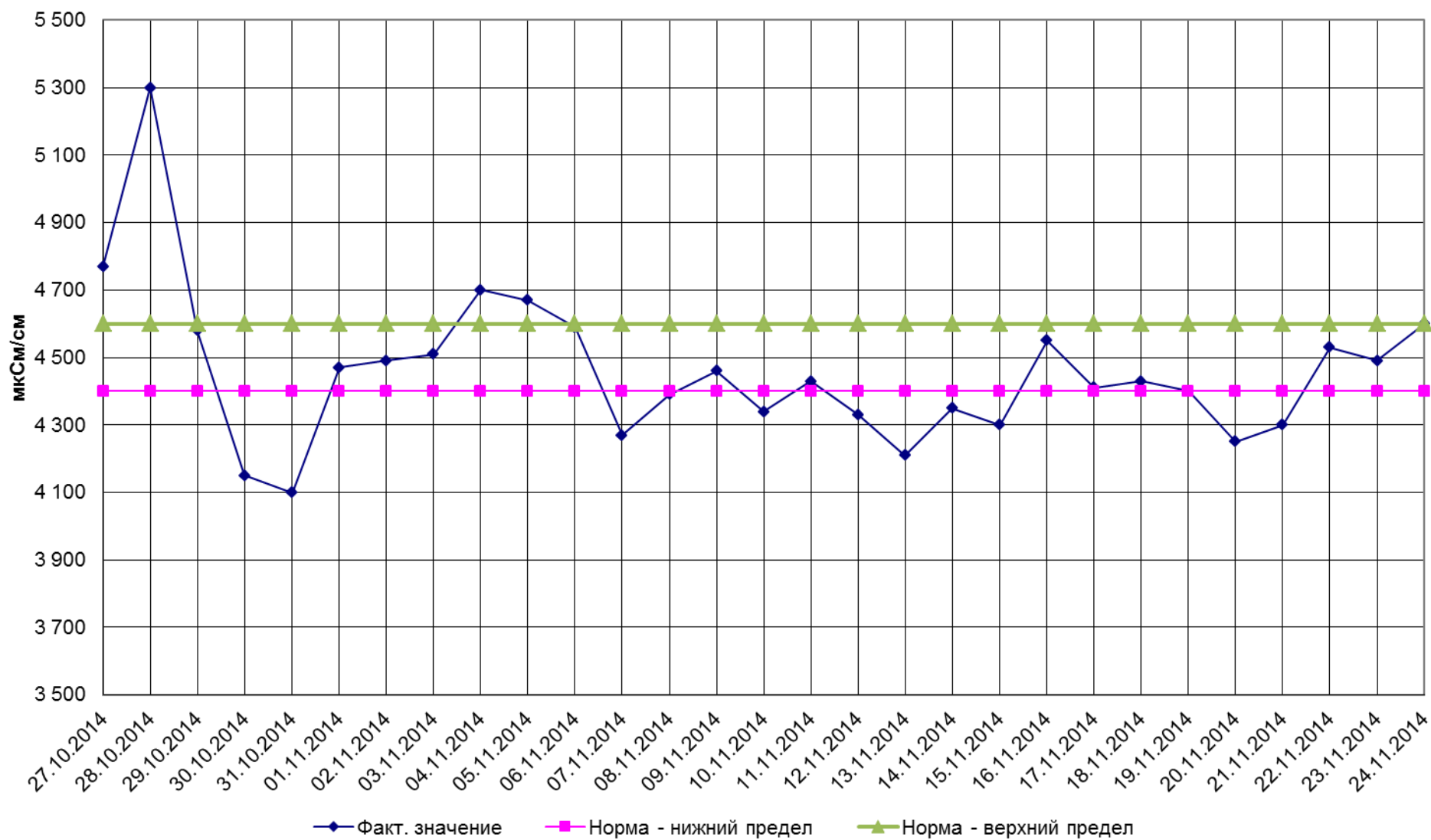


Рис. 5.3.11.

рН охлаждающей воды в период с 27.10.14г. по 24.11.14г.

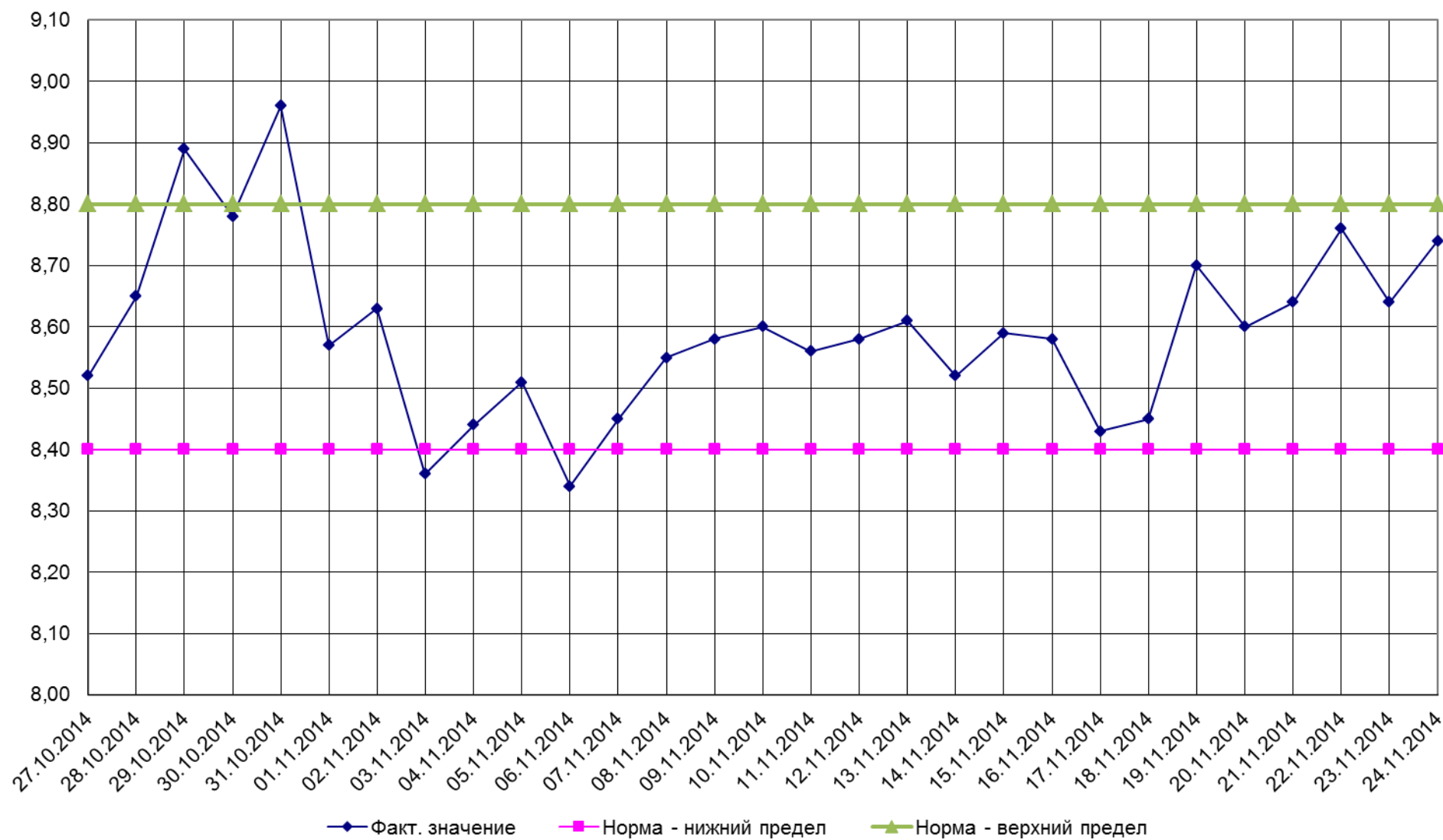


Рис. 5.3.12.

Удельная электропроводность охлаждающей воды в период с 24.11.14г. по 23.12.14г.

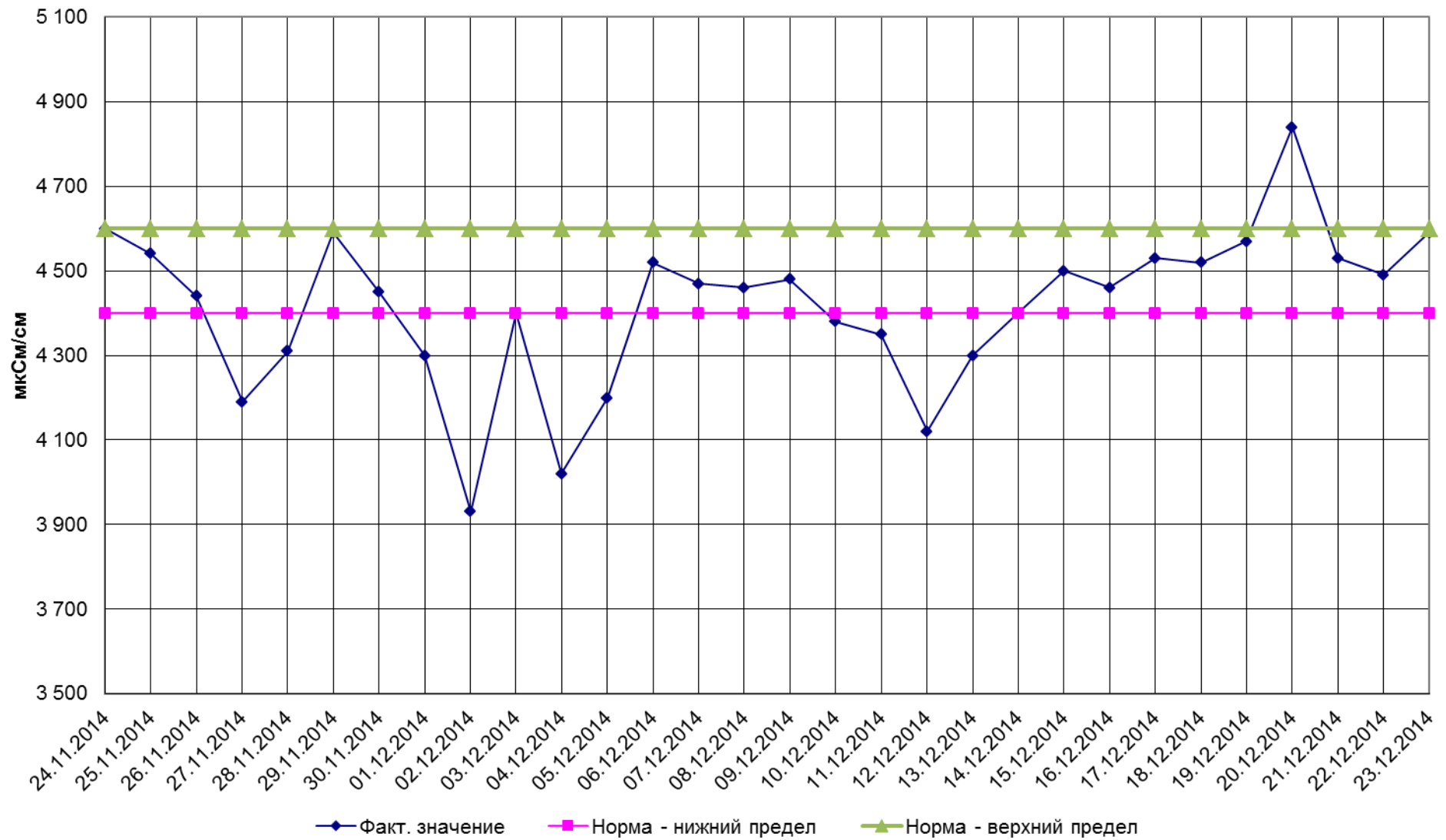


Рис. 5.3.13.

рН охлаждающей воды в период с 24.11.14г. по 23.12.14г.

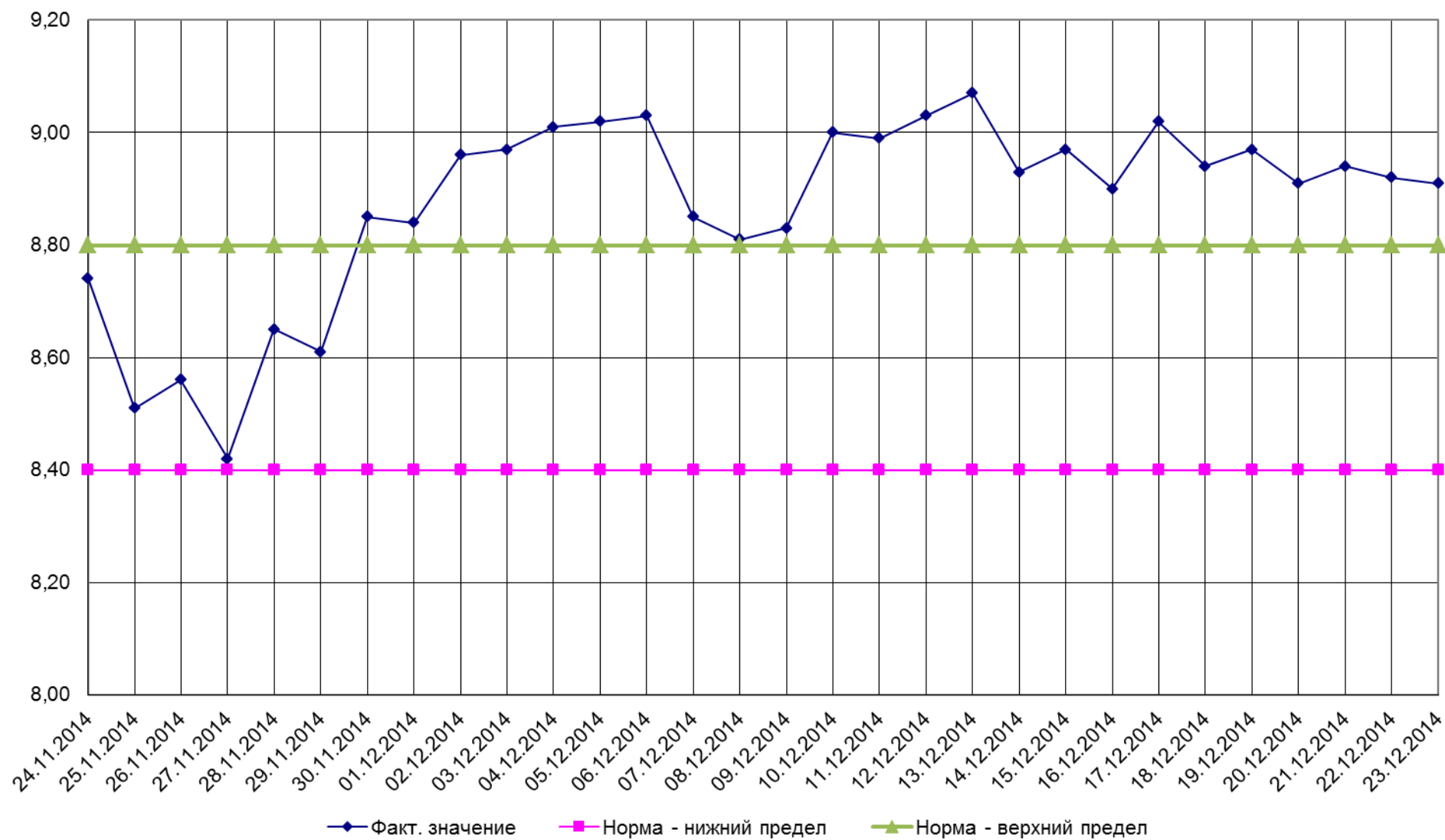


Рис. 5.3.14.

6. ОЦЕНКА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА 2-ГО КОНТУРА ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МПЦ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПЕРЕСЫЩЕНИЯ.

Водный режим обратной системы охлаждения должен обеспечивать безнакипный режим ее работы с минимальной интенсивностью коррозии оборудования.

Для методов ограничения накипеобразования характерно их многообразие, и выбор метода зависит от многих факторов (состав накипи, качество воды и т. д.).

Основными соединениями, составляющими накипь в системе охлаждения, являются CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaSO_4 и продукты коррозии конструкционных материалов. Преобладание того или другого соединения в накипи определяется в основном температурным режимом и качеством воды. При этом следует иметь в виду, что преобладание в накипи CaSO_4 является нарушением водно-химического режима теплообменного оборудования. Из-за сложности удаления сульфатной накипи должны поддерживаться условия, гарантирующие безнакипный режим по CaSO_4 . Такие условия достигаются выбором температурного режима работы, величиной продувки (степени концентрирования) или предварительной обработкой исходной воды.

Накипь образуется только из пересыщенных растворов, т.е. при условии $a_{\text{Kt}} \cdot a_{\text{An}} > \text{PP}_{\text{KtAn}}$.

Например, пересыщение воды по CaSO_4 наблюдается при $a_{\text{Ca}} \cdot a_{\text{SO}_4} > \text{PP}_{\text{CaSO}_4}$.

Длительная эксплуатация теплообменного оборудования показала, что несмотря на принимаемые меры по ограничению накипеобразования образование щелочных накипей (CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MgCO_3) является одной из основных причин снижения технико-экономических показателей работы таких установок.

Выбор метода ограничения щелочного накипеобразования зависит от качества воды, технологической схемы, конструкции и режима работы системы охлаждения, поэтому должен проводиться на основании вариантных расчетов интенсивности накипеобразования индивидуально с учетом всех факторов.

Для оценки интенсивности накипеобразования используется уравнение

$$J = K_0 \cdot C, \quad (1)$$

где J —интенсивность накипеобразования, $\text{г/м}^2\text{ч}$; K_0 —общий коэффициент массопереноса, м/с ; C —пересыщение раствора, г/м^3 .

В условиях турбулентного потока с точностью, достаточной для практических расчетов, K_0 может быть рассчитан по уравнению:

$$K_0 = 0,023 D/d \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Sc}^{1/3} \quad (2)$$

где D — коэффициент диффузии бинарного электролита накипеобразователя, определяемого по номограмме; d —диаметр трубы.

Определение пересыщения по щелочным накипеобразователям представляет основную трудность в оценке интенсивности накипеобразования.

Для определения пересыщения предварительно проводится определение состояния (насыщенное, пересыщенное) воды по всем накипеобразователям. С этой целью на основании исходного качества воды с учетом теплотехнических параметров определяются концентрации свободных ионов. Расчет этих концентраций проводится потому, что общие концентрации компонентов представляют сумму концентраций ионов и ионных пар. При этом концентрации ионных пар зависят от степени концентрирования и температуры, что существенно влияет на растворимость, а следовательно, на пересыщение воды по накипеобразователям.

6.1. Количественные закономерности изменения ионного состава многокомпонентных растворов в условиях работы теплообменного оборудования.

Наибольшую сложность при расчете ионного состава в многокомпонентных солевых растворах (такowymi являются подпиточные воды системы охлаждения) вызывает расчет компонентов, составляющих общую щелочность раствора. Если известна общая щелочность

$$\text{Щ}_0 = [\text{HCO}_3^-]_0 + 2[\text{CO}_3^{2-}]_0 + [\text{OH}^-]_0 - [\text{H}^+] \quad (3)$$

и рН или концентрация CO_2 , то расчет ионных составляющих общей щелочности не представляет сложности. Однако очень часто приходится иметь дело с системами, в которых определить эти параметры экспериментально, не нарушая углекислотного состояния системы, очень сложно или невозможно. В этом случае изменение углекислотного равновесия в процессе нагрева можно определить по известному исходному составу воды.

Условие углекислотного равновесия, согласно протекающим в растворе процессам



описываются системой уравнений:

$$\begin{aligned} ([\text{CO}_3^{2-}] * f_{\text{CO}_3} * [\text{CO}_2] * f_{\text{CO}_2}) / ([\text{HCO}_3^-]^2 * f_{\text{HCO}_3}^2) &= K_2 / K_1, \\ ([\text{OH}^-] * f_{\text{OH}} * [\text{CO}_2] * f_{\text{CO}_2}) / ([\text{HCO}_3^-] * f_{\text{HCO}_3}) &= K_w / K_1, \end{aligned} \quad (6)$$

где $[C_j]$ —концентрации соответствующих компонентов, Моль/л; f_i —коэффициенты активности соответствующих компонентов; K_w —ионное произведение воды; K_2 , K_1 —термодинамические константы диссоциации углекислоты по первой и второй ступеням.

В результате смещения углекислотного равновесия при нагревании концентрация бикарбонат-ионов снизится на $2 * \text{Моль/л}$, тогда, согласно уравнению (4), концентрация карбонат-ионов возрастет на x Моль/л. Если уменьшение HCO_3^- -ионов за счет гидролиза обозначить через y Моль/л, то возрастание гидроксил-ионов составит y Моль/л. При этом концентрация растворенной углекислоты, Моль/л, в случае закрытой системы составит:

$$[\text{CO}_2] = [\text{CO}_2]_{\text{и}} + x + y \quad (7)$$

Таким образом, условия углекислотного равновесия запишутся в виде

$$\begin{aligned} (([\text{CO}_2]_{\text{и}} + x) * f_{\text{CO}_3} * ([\text{CO}_2]_{\text{и}} + x + y)) / ([\text{HCO}_3^-]_{\text{и}} - 2x - y)^2 * f_{\text{HCO}_3}^2 &= K_2 / K_1, \\ (([\text{OH}^-]_{\text{и}} + y) * f_{\text{OH}} * ([\text{CO}_2]_{\text{и}} + x + y)) / ([\text{HCO}_3^-]_{\text{и}} - 2x - y) * f_{\text{HCO}_3} &= K_w / K_1, \end{aligned} \quad (9)$$

При расчете ионного состава многокомпонентных солевых растворов, какими являются подпиточные воды, полученную систему уравнений необходимо дополнить уравнениями материального баланса присутствующих в растворе компонентов, уравнениями констант диссоциации и коэффициентов активности ионов и ионных пар. Уравнения материального баланса для каждого из компонентов, обычно присутствующих в воде, можно записать в виде

$$[\text{Na}^+]_0 = [\text{Na}^+] + [\text{NaHCO}_3] + [\text{NaCO}_3^-] + [\text{NaSO}_4^-] + [\text{NaOH}^0];$$

$$\begin{aligned}
[\text{Ca}^{2+}]_0 &= [\text{Ca}^{2+}] + [\text{CaHCO}_3^+] + [\text{CaCO}_3^0] + [\text{CaSO}_4^0] + [\text{CaOH}^+]; \\
[\text{Mg}^{2+}]_0 &= [\text{Mg}^{2+}] + [\text{MgHCO}_3^+] + [\text{MgCO}_3^0] + [\text{MgSO}_4^0] + [\text{MgOH}^+]; \\
[\text{SO}_4^{2-}]_0 &= [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Na SO}_4^-] + [\text{Ca SO}_4^0] + [\text{MgSO}_4^0]; \\
[\text{HCO}_3^-]_0 &= [\text{HCO}_3^-] + [\text{NaHCO}_3^0] + [\text{CaHCO}_3^+] + [\text{MgHCO}_3^+]; \quad (10) \\
[\text{CO}_3^{2-}]_0 &= [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{NaCO}_3^-] + [\text{Ca CO}_3^0] + [\text{MgCO}_3^0]; \\
[\text{OH}^-]_0 &= [\text{OH}^-] + [\text{NaHO}^0] + [\text{CaOH}^+] + [\text{MgOH}^+].
\end{aligned}$$

Концентрация приводимых в уравнениях (10) ионных пар определяется из уравнений:

$$\begin{aligned}
[\text{Na HCO}_3^-]^0 &= ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * [\text{HCO}_3^-] * f_{\text{HCO}_3^-}) / (K_{\text{NaHCO}_3} * f_{\text{NaHCO}_3}); \quad (11) \\
[\text{NaCO}_3^-] &= ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * [\text{CO}_3^{2-}] * f_{\text{CO}_3^{2-}}) / (K_{\text{NaCO}_3} * f_{\text{NaCO}_3}); \\
[\text{Na SO}_4^-] &= ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * [\text{SO}_4^{2-}] * f_{\text{SO}_4^{2-}}) / (K_{\text{Na SO}_4} * f_{\text{Na SO}_4}); \\
[\text{NaHO}^0] &= ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * [\text{OH}^-] * f_{\text{OH}^-}) / (K_{\text{NaHO}} * f_{\text{NaHO}}); \\
[\text{CaHCO}_3^+] &= [\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * [\text{HCO}_3^-] * f_{\text{HCO}_3^-} / (K_{\text{Ca HCO}_3} * f_{\text{Ca HCO}_3}); \\
[\text{CaCO}_3^0] &= [\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * [\text{CO}_3^{2-}] * f_{\text{CO}_3^{2-}} / (K_{\text{CaCO}_3} * f_{\text{CaCO}_3}); \\
[\text{CaSO}_4^0] &= [\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * [\text{SO}_4^{2-}] * f_{\text{SO}_4^{2-}} / (K_{\text{CaSO}_4} * f_{\text{CaSO}_4}); \\
[\text{CaOH}^+] &= [\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * [\text{OH}^-] * f_{\text{OH}^-} / (K_{\text{CaHO}} * f_{\text{CaHO}}); \\
[\text{MgHCO}_3^+] &= [\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * [\text{HCO}_3^-] * f_{\text{HCO}_3^-} / (K_{\text{MgHCO}_3} * f_{\text{MgHCO}_3}); \\
[\text{MgCO}_3^0] &= [\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * [\text{CO}_3^{2-}] * f_{\text{CO}_3^{2-}} / (K_{\text{MgCO}_3} * f_{\text{MgCO}_3}); \\
[\text{MgSO}_4^0] &= [\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * [\text{SO}_4^{2-}] * f_{\text{SO}_4^{2-}} / (K_{\text{MgSO}_4} * f_{\text{MgSO}_4}); \\
[\text{MgOH}^+] &= [\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * [\text{OH}^-] * f_{\text{OH}^-} / (K_{\text{MgHO}} * f_{\text{MgHO}});
\end{aligned}$$

где K_{KtAn} - константа диссоциации соответствующей ионной пары.

Ионные концентрации всех компонентов, и в частности компонентов углекислотного равновесия, преобразуются с помощью уравнений материального баланса и констант диссоциации к виду

$$\begin{aligned}
[\text{HCO}_3^-] &= [\text{HCO}_3^-]^0 / (1 + ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * f_{\text{HCO}_3^-}) / (K_{\text{NaHCO}_3} * f_{\text{NaHCO}_3}) + ([\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * f_{\text{HCO}_3^-}) / (K_{\text{CaHCO}_3} * f_{\text{CaHCO}_3}) + ([\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * f_{\text{HCO}_3^-}) / (K_{\text{MgHCO}_3} * f_{\text{MgHCO}_3})); \\
[\text{CO}_3^{2-}] &= [\text{CO}_3^{2-}]^0 / (1 + ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * f_{\text{CO}_3^{2-}}) / (K_{\text{NaCO}_3} * f_{\text{NaCO}_3}) + ([\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * f_{\text{CO}_3^{2-}}) / (K_{\text{CaCO}_3} * f_{\text{CaCO}_3}) + ([\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * f_{\text{CO}_3^{2-}}) / (K_{\text{MgCO}_3} * f_{\text{MgCO}_3})); \\
[\text{OH}^-] &= [\text{OH}^-]^0 / (1 + ([\text{Na}^+] * f_{\text{Na}^+} * f_{\text{OH}^-}) / (K_{\text{NaHO}} * f_{\text{NaHO}}) + ([\text{Ca}^{2+}] * f_{\text{Ca}^{2+}} * f_{\text{OH}^-}) / (K_{\text{CaHO}} * f_{\text{CaHO}}) + ([\text{Mg}^{2+}] * f_{\text{Mg}^{2+}} * f_{\text{OH}^-}) / (K_{\text{MgHO}} * f_{\text{MgHO}})). \quad (12)
\end{aligned}$$

Для краткости знаменатели полученных выражений в уравнении (12) обозначим через V_{HCO_3} , V_{CO_3} , V_{OH} соответственно. Тогда, если x и y — изменения ионных концентраций карбонат- и гидроксил-ионов, согласно вышеизложенному, $[\text{HCO}_3^-]_{\text{и}}^0$, $[\text{OH}^-]_{\text{и}}^0$, $[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{и}}^0$ — исходные общие концентрации компонентов, то их ионные концентрации для данных условий запишутся в виде

$$\begin{aligned} [\text{HCO}_3^-] &= ([\text{HCO}_3^-]_{\text{и}}^0 + 2V_{\text{CO}_3} - x - V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3}; \\ [\text{CO}_3^{2-}] &= ([\text{CO}_3^{2-}]_{\text{и}}^0 + V_{\text{CO}_3} - x) / V_{\text{CO}_3}; \\ [\text{OH}^-] &= ([\text{OH}^-]_{\text{и}}^0 + V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{OH}} \end{aligned} \quad (13)$$

а концентрация уголекислоты в случае закрытой системы

$$[\text{CO}_2] = ([\text{CO}_2]_{\text{и}}^0 + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * U \quad (14)$$

В результате условия уголекислотного равновесия (9) преобразуются к виду

$$\begin{aligned} &(((\text{CO}_3^{2-}]_{\text{и}}^0 / V_{\text{CO}_3} + x) * f_{\text{CO}_3} * ([\text{CO}_2]_{\text{и}} + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * f_{\text{CO}_2} * U) / (([\text{HCO}_3^-]_{\text{и}}^0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - \\ &V_{\text{OH}} - y)^2 / V_{\text{HCO}_3}) * f_{\text{HCO}_3}^2 = K_2/K_1; \\ &(([\text{OH}^-]_{\text{и}}^0 / V_{\text{OH}} + y) * f_{\text{OH}} * ([\text{CO}_2]_{\text{и}} + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * f_{\text{CO}_2} * U) / (([\text{HCO}_3^-]_{\text{и}}^0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - \\ &V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3}) * f_{\text{HCO}_3} = K_w/K_1. \end{aligned} \quad (15)$$

Следует отметить, что в связи с отсутствием в настоящее время общей теории растворов электролитов существует некоторый произвол при расчете коэффициентов активности присутствующих в растворе компонентов. Как показывают исследования, наилучшую сходимость с экспериментальными данными дают расчетные формулы, основанные на модифицированном уравнении Дебая—Хюккеля. Поэтому в расчетах коэффициенты активности ионов и заряженных ионных пар определяли согласно выражению

$$\lg f = - (Az^2 * m^{0.5}) / (1 + Ba * m^{0.5}) + bm \quad (16)$$

Коэффициенты активности незаряженных ионных пар можно с достаточной точностью определить по эмпирическому уравнению

$$\lg f = - (S * m^{0.5}) / (1 + Ba * m^{0.5}). \quad (17)$$

где A , B — константы, характеризующие растворитель; S — параметр; a — радиус гидратированного иона или ионной пары; m — ионная сила раствора; z — заряд иона.

Решение полученной системы уравнений позволяет определить исходный ионный состав воды для заданных условий подогрева.

6.2. Методика расчета пересыщения по щелочным накипеобразователям.

Условием, характеризующим возможность образования отложений, является наличие пересыщения раствора по одному или нескольким накипеобразователям, т. е.

$$a_{\text{Кт}} * a_{\text{Ан}} > \text{ПР}_{\text{КтАн}}. \quad (18)$$

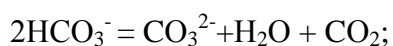
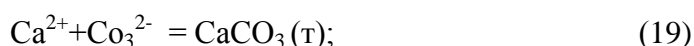
При этом абсолютная величина пересыщения по щелочным накипеобразователям ($C - C_s$), определяемая как разность между исходной общей концентрацией компонента -

накипеобразователя и его равновесной для тех же условий, зависит не только от исходного состава раствора и от условий проведения процесса и изменяется с изменением теплотехнических параметров работы. Кроме того, значительное влияние оказывают конструктивные особенности теплообменных аппаратов. Поэтому расчет величины пересыщения должен проводиться только применительно к данным конкретным условиям подготовки воды на теплообменных аппаратах

Равновесный ионный состав раствора, необходимый для расчета величины пересыщения, можно определить, решая исходную систему уравнений (10, 11, 15 - 17) совместно с уравнениями, описывающими реакции образования твердой фазы. При этом возможно несколько вариантов.

Вода пересыщена по карбонату кальция, т. е. расчет исходного ионного состава, что $a_{Ca} \cdot a_{CO_3} > PR_{CaCO_3}$.

В этом случае процессы, происходящие при образовании твердой фазы, описываются реакциями



Если обозначить снижение концентрации CO_3^{2-} за счет образования карбоната кальция через n Моль/л, то уменьшение общей концентрации карбонат-ионов и равное ему снижение общей концентрации Ca^{2+} составит, согласно (8), $V_{CO_3} - n$ Моль/л. В результате ионная концентрация кальция станет равной

$$[Ca^{2+}] = ([Ca^{2+}]_0^0 - V_{CO_3} - n) / (1 + ([HCO_3^-] * f_{HCO_3^-} * f_{Ca}) / (K_{CaHCO_3} * f_{CaHCO_3}) + ([CO_3^{2-}] * f_{CO_3^{2-}} * f_{Ca}) / (K_{CaCO_3} * f_{CaCO_3}) + ([SO_4^{2-}] * f_{SO_4^{2-}} * f_{Ca}) / (K_{CaSO_4} * f_{CaSO_4}) + ([OH^-] * f_{OH^-} * f_{Ca}) / (K_{CaOH} * f_{CaOH})). \quad (20)$$

Уменьшение концентрации карбонат-ионов при образовании карбоната кальция вызывает смещение углекислотного равновесия вправо. Обозначая увеличение концентрации карбонат-ионов за счет этого через x , а гидроксил-ионов через y , условия равновесия (14) можно записать в виде

$$([Ca^{2+}]_0^0 - V_{CO_3} - n) / V_{Ca} * ([CO_3^{2-}] / V_{CO_3} - n + x) * f_{Ca} * f_{CO_3} = PR_{CaCO_3};$$

$$((([CO_3^{2-}]_0^0 / V_{CO_3} - n + x) * ([CO_3^{2-}]_0^0 / V_{CO_3} - x + V_{OH} - y) * f_{CO_3} * f_{CO_2} * U) / (([HCO_3^-]_0^0 - 2V_{CO_3} - x - V_{OH} - y) / V_{HCO_3})^2 * f_{HCO_3}^2 = K_2 / K_1;$$

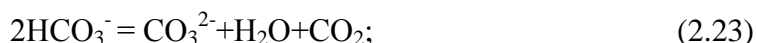
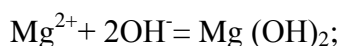
$$((([OH^-]_0^0 / V_{OH} + y) * ([CO_2]_0^0 + V_{CO_3} - x + V_{OH} - y) * f_{CO_2} * f_{OH} * U) / (([HCO_3^-]_0^0 - 2V_{CO_3} - x - V_{OH} - y) / V_{HCO_3}) * f_{HCO_3} = K_w / K_1. \quad (21)$$

где через V_{Ca} обозначен знаменатель выражения (20).

Решение данной системы уравнений совместно с уравнениями (10, 11, 15—17) позволяет определить равновесные концентрации компонентов и, таким образом, вычислить величину пересыщения воды по карбонату кальция:

$$[Ca^{2+}]_0 = [Ca^{2+}]_0^0 - [Ca^{2+}]_{РАВ} = V_{CO_3} - n \quad (22)$$

Вода пересыщена по гидроокиси магния, т. е. процесс образования твердой фазы характеризуется реакциями



Если обозначить аналогично предыдущему снижение ионной концентрации OH^- за счет образования гидроокиси магния через $2n$ Моль/л, то снижение общей концентрации магния составит, согласно (8), $V_{\text{OH}} - n$ Моль/л. В результате величина равновесной ионной концентрации магния и концентрации компонентов, определяющих углекислотное равновесие, будут равны

$$[\text{Mg}^{2+}] = ([\text{Mg}^{2+}]_0 - V_{\text{OH}} - n) / V_{\text{Mg}};$$

$$[\text{HCO}_3^-] = ([\text{HCO}_3^-]_0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3};$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = ([\text{CO}_3^{2-}]_0 / V_{\text{CO}_3} + x); \quad (24)$$

$$[\text{OH}^-] = ([\text{OH}^-]_0 / V_{\text{OH}} - 2n + y);$$

$$[\text{CO}_2] = ([\text{CO}_2]_0 + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * U,$$

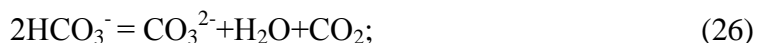
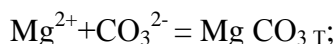
где x, y характеризуют смещение углекислотного равновесия в результате образования гидроокиси магния. В этом случае условия равновесия запишутся в виде

$$([\text{Mg}^{2+}]_0 - V_{\text{OH}} - n) / V_{\text{Mg}} = ([\text{OH}^-]_0 / V_{\text{OH}} - 2n + y)^2 * f_{\text{Mg}} * f_{\text{OH}}^2 = \text{ПР}_{\text{Mg}(\text{OH})_2};$$

$$(([\text{CO}_3^{2-}]_0 / V_{\text{CO}_3} + x) * f_{\text{CO}_3} * ([\text{CO}_2]_0 + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * f_{\text{CO}_2} * U) / (([\text{HCO}_3^-]_0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3})^2 * f_{\text{HCO}_3}^2 = K_2/K_1;$$

$$(([\text{OH}^-]_0 / V_{\text{OH}} - 2n + y) * f_{\text{OH}} * ([\text{CO}_2]_0 + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * f_{\text{CO}_2} * U) / (([\text{HCO}_3^-]_0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3}) * f_{\text{HCO}_3} = K_w/K_1. \quad (25)$$

При пересыщении воды по карбонату магния в растворе протекают реакции:



Снижение ионной концентрации CO_3^{2-} в результате образования магнезита на n Моль/л, а общей концентрации карбонат-ионов и магния соответственно на $V_{\text{CO}_3} - n$ Моль/л вызовет увеличение концентрации карбонат-ионов за счет смещения углекислотного равновесия на x Моль/л, а гидроксил-ионов—на y Моль/л. Тогда для ионных концентраций HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- , CO_2 получим:

$$[\text{HCO}_3^-] = ([\text{HCO}_3^-]_0 - 2V_{\text{CO}_3} - x - V_{\text{OH}} - y) / V_{\text{HCO}_3};$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = ([\text{CO}_3^{2-}]_0 / V_{\text{CO}_3} - n + x);$$

$$[\text{OH}^-] = ([\text{OH}^-]_0 / V_{\text{OH}} - n + y); \quad (27)$$

$$[\text{CO}_2] = ([\text{CO}_2]_0 + V_{\text{CO}_3} - x + V_{\text{OH}} - y) * U,$$

и условия равновесия для реакций (21) запишутся в виде

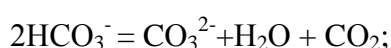
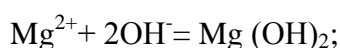
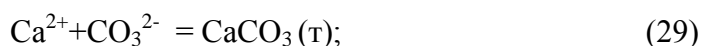
$$([Mg^{2+}]_{и}^0 - B_{ОН} - n) / B_{Mg} * ([CO_3^{2-}]_{и}^0 / B_{CO_3} - n + x) * f_{Mg} * f_{CO_3} = PP_{MgCO_3};$$

$$(((CO_3^{2-}]_{и}^0 / B_{CO_3} - n + x) * f_{CO_3} * ([CO_2]_{и}^0 + B_{CO_3} - x + B_{ОН} - y) * f_{CO_2} * U) / (([HCO_3^-]_{и}^0 - 2B_{CO_3} - x - B_{ОН} - y) / B_{HCO_3}) * f_{HCO_3} = K_2/K_1;$$

$$(((OH^-]_{и}^0 / B_{ОН} + y) * f_{ОН} * ([CO_2]_{и} + B_{CO_3} - x + B_{ОН} - y) * f_{CO_2} * U) / (([HCO_3^-]_{и}^0 - 2B_{CO_3} - x - B_{ОН} - y) / B_{HCO_3}) * f_{HCO_3} = K_W/K_1. \quad (28)$$

На определенной ступени подогрева возможно достижение пересыщения одновременно по карбонату кальция и гидроокиси магния.

В этом случае имеют место процессы, описываемые реакциями:



Обозначая, как и ранее, уменьшение концентрации CO_3^{2-} ионов за счет образования карбоната кальция через n Моль/л, а уменьшение OH^- ионов за счет образования гидроокиси магния через $2m$ Моль/л, получим для условий равновесия уравнения в виде

$$([Ca^{2+}]_{и}^0 - B_{CO_3} - n) / B_{Ca} * ([CO_3^{2-}]_{и}^0 / B_{CO_3} - n + x) * f_{Ca} * f_{CO_3} = PP_{CaCO_3};$$

$$([Mg^{2+}]_{и}^0 - B_{ОН} - m) / B_{Mg} = ([OH^-]_{и}^0 / B_{ОН} - 2m + y)^2 * f_{Mg} * f_{ОН}^2 = PP_{Mg(OH)_2};$$

$$(((CO_3^{2-}]_{и}^0 / B_{CO_3} - n + x) * f_{CO_3} * ([CO_2]_{и} + B_{CO_3} - x + B_{ОН} - y) * f_{CO_2} * U) / (([HCO_3^-]_{и}^0 - 2B_{CO_3} - x - B_{ОН} - y) / B_{HCO_3})^2 * f_{HCO_3}^2 = K_2/K_1;$$

$$(((OH^-]_{и}^0 / B_{ОН} - 2m + y) * f_{ОН} * ([CO_2]_{и} + B_{CO_3} - x + B_{ОН} - y) * f_{CO_2} * U) / (([HCO_3^-]_{и}^0 - 2B_{CO_3} - x - B_{ОН} - y) / B_{HCO_3}) * f_{HCO_3} = K_W/K_1. \quad (30)$$

Величина пересыщения раствора по карбонату кальция в этом случае составит

$$[Ca^{2+}]_0 = [Ca^{2+}]_{и}^0 - [Ca^{2+}]_{РАВ}^0 = B_{CO_3} - n \quad (31)$$

а по гидроокиси магния

$$[Mg^{2+}] = ([Mg^{2+}]_{и}^0 - [Mg^{2+}]_{РАВ}^0 = B_{ОН} - m \quad (32)$$

Следует отметить, что полученные термодинамические соотношения характеризуют преимущественную направленность процесса образования твердой фазы, в то время как в реальных условиях на образование того или иного соединения или их смеси оказывает влияние и кинетика процесса. Предлагаемая методика расчета состава многокомпонентного раствора, в общем виде требует решения системы нелинейных уравнений, практическая реализация которого без средств вычислительной техники крайне затруднительна. Для решения поставленной задачи составляется программа для ЭВМ.

Решение всей системы уравнений проводится методом последовательных приближений, причем в первом приближении ионные концентрации компонентов принимаются равными их общим концентрациям. Кроме того, из всей системы уравнений выделяется подсистема для расчета концентраций углекислотных составляющих раствора. В связи с тем, что решение системы уравнений углекислотного равновесия в целом

неоднозначно и, кроме того, зависит от пересыщения раствора по тому или иному компоненту, использование такого приема позволило избежать появления решений, не имеющих физического смысла. После расчета исходного ионного состава и анализа полученного решения алгоритм программы дает возможность определить равновесный ионный состав раствора и пересыщение его по накипеобразователям. Разработанная программа при наличии соответствующих кинетических данных позволяет рассчитать состав и количество образующейся твердой фазы, а также интенсивность накипеобразования по тракту теплообменной установки и, таким образом, прогнозировать ее водный режим.

6.3. Расчетный эксперимент по определению пересыщения по накипеобразующим компонентам подпиточной воды системы охлаждения

На основании методики по определению пересыщения, был проведен расчетный эксперимент по исследованию зависимости пересыщения от исходного качества воды и температуры. Расчетный эксперимент был проведен при подогреве до температур: 30, 40, 50, 60 °С.

Качество исходной воды приведено в табл. 6.1. Расчет проведен для степени концентрирования воды 2; 3.

Таблица 6.1.

Химический состав охлаждающей воды, мг-экв/л						
Степень концен-трирова-ния	Na⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	SO₄²⁻	Cl⁻	HCO₃⁻
Без подкисления						
Исходная вода	14,8	2,3	8,7	11,7	8,5	5,6
2	29,6	4,6	17,4	23,4	17	11,2
3	44,4	6,9	26,1	35,1	25,5	16,8
С подкислением до Щобщ. = 6,0 мг-экв/л						
2	29,6	4,6	17,4	28,6	17	6,0
3	44,4	6,9	26,1	45,9	25,5	6,0
С подкислением до Щобщ. = 8,0 мг-экв/л						
2	29,6	4,6	17,4	26,6	17	8,0
3	44,4	6,9	26,1	43,9	25,5	8,0

Результаты расчетов приведены на рис. 6.1, 6.2 и в табл. 6.2, 6.3.

Таблица 6.2.

Зависимость изменения произведений активностей и растворимостей CaCO₃ (x10⁸) от температуры

№п/п	Температура, °С	30	40	50	60
1	ПР кальцит, *10 ⁻⁸	0,275	0,222	0,172	0,13

2	ПР арагонит, $\cdot 10^{-8}$	0,4	0,324	0,253	0,19
3	ПА (исх.вода), $\cdot 10^{-8}$	0,434	0,417	0,393	0,365
4	ПА (исх.вода, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-8}$	0,985	0,962	0,906	0,8396
5	ПА (исх.вода, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-8}$	1,5	1,534	1,453	1,343
6	ПА (Щ=6 мг-экв/л, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-8}$	0,555	0,533	0,502	0,465
7	ПА (Щ=6 мг-экв/л, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-8}$	0,606	0,582	0,547	0,507
8	ПА (Щ=8 мг-экв/л, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-8}$	0,728	0,702	0,661	0,613
9	ПА (Щ=8 мг-экв/л, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-8}$	0,795	0,769	0,724	0,671

Таблица 6.3

Зависимость изменения произведений активностей и растворимостей CaSO_4 ($\cdot 10^3$) от температуры

№п/п	Температура, °С	30	40	50	60
1	ПР CaSO_4 , $\cdot 10^{-4}$	0,3100	0,2330	0,1740	0,1280
2	ПА (исх.вода), $\cdot 10^{-4}$	0,0092	0,0087	0,0081	0,0075
3	ПА (исх.вода, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-4}$	0,0215	0,0200	0,0184	0,0168
4	ПА (исх.вода, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-4}$	0,0347	0,0318	0,0291	0,0264
5	ПА (Щ=6 мг-экв/л, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-4}$	0,0278	0,0261	0,0242	0,0223
6	ПА (Щ=6 мг-экв/л, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-4}$	0,0492	0,0461	0,0428	0,0393
7	ПА (Щ=8 мг-экв/л, ст.конц.=2), $\cdot 10^{-4}$	0,0253	0,0237	0,0219	0,0201
8	ПА (Щ=8 мг-экв/л, ст.конц.=3), $\cdot 10^{-4}$	0,0463	0,0433	0,0401	0,0368

Зависимость изменения произведений активностей и растворимостей CaCO_3 от температуры, степени концентрирования исходной воды и общей щелочности охлаждающей воды

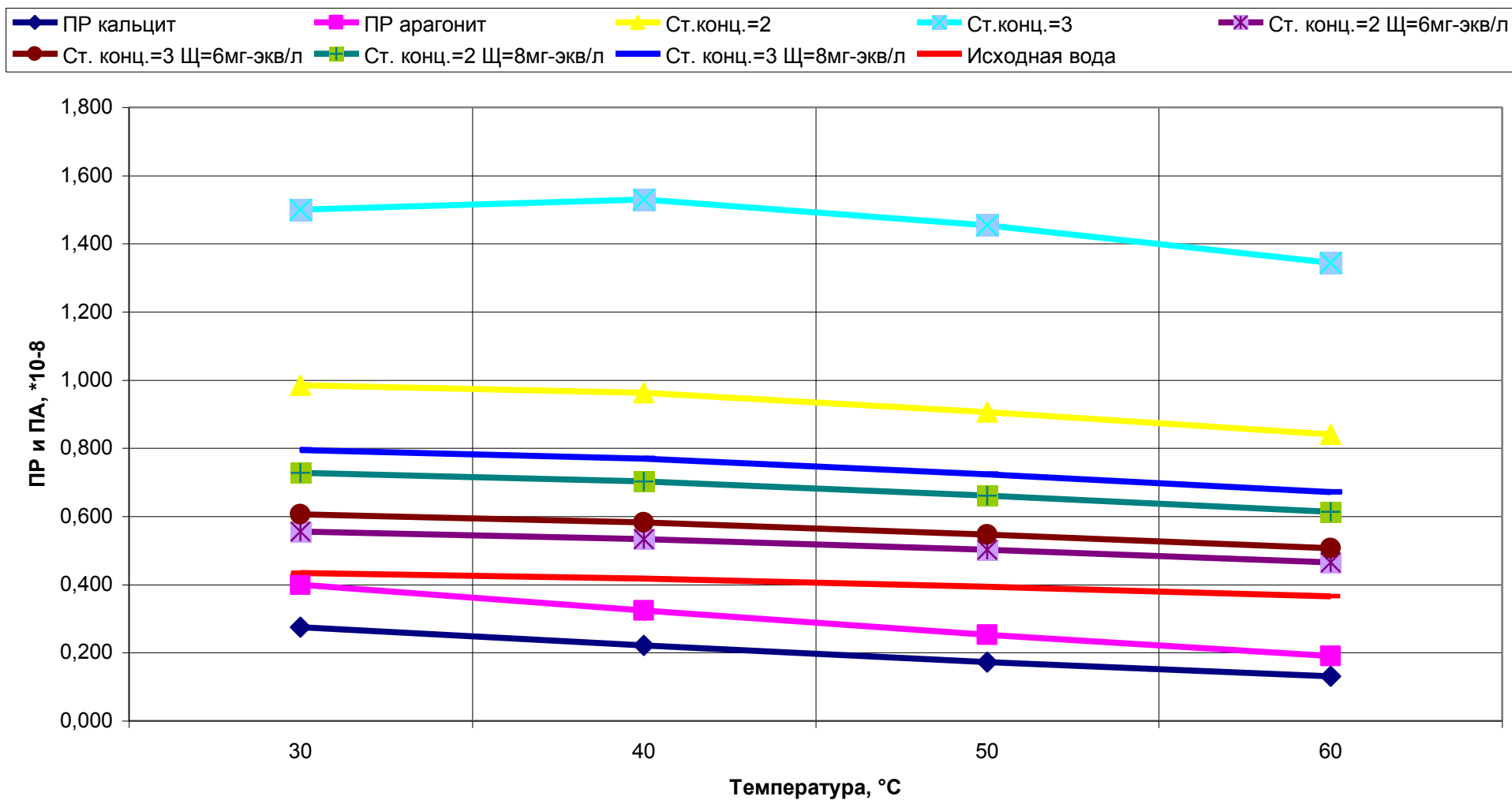


Рис. 6.1.

Зависимость изменения произведений активностей и растворимостей CaSO_4 от температуры и степени концентрирования исходной воды

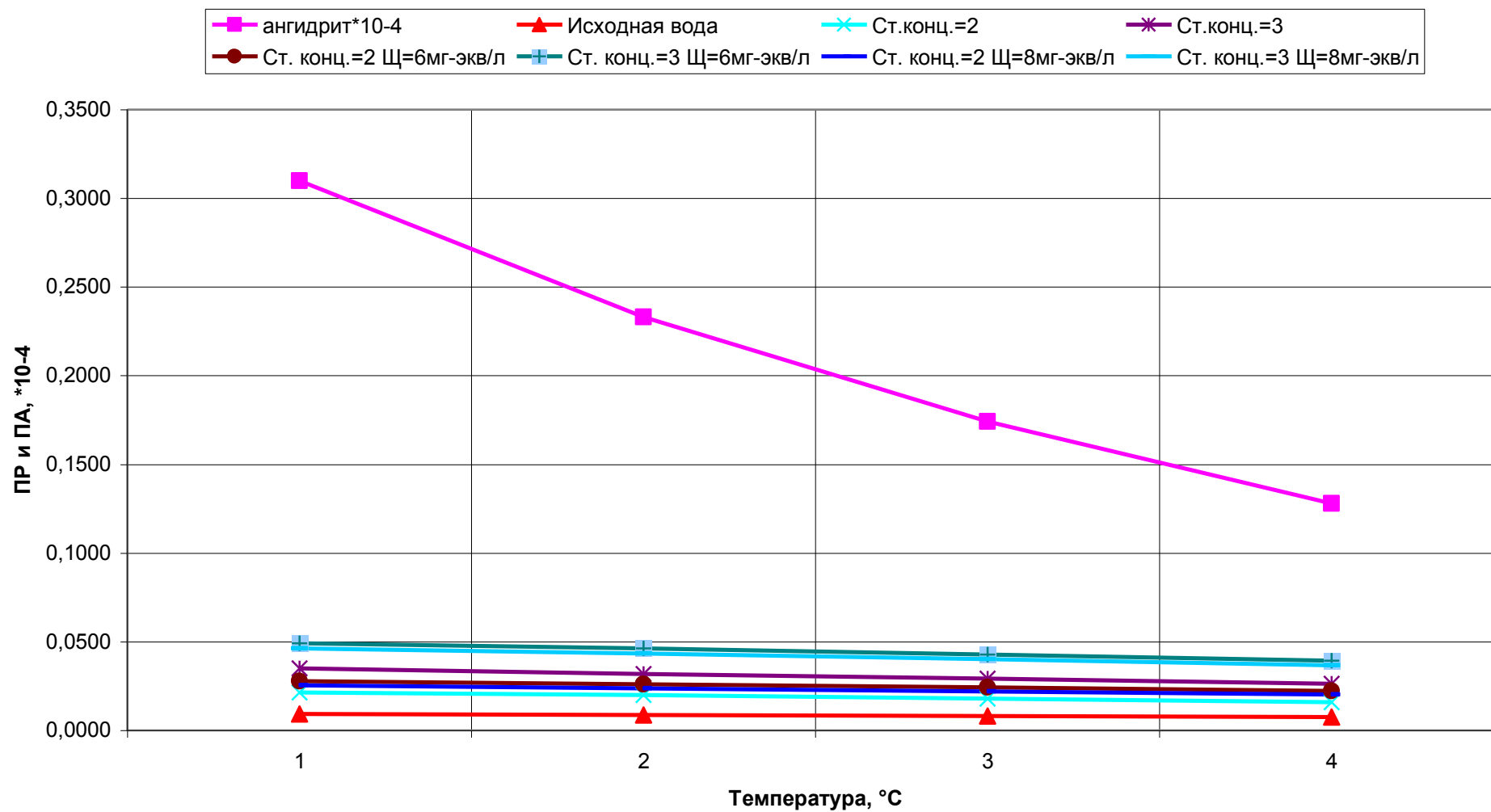


Рис. 6.2

6.5. Выводы:

Анализ результатов расчетных данных позволил оценить возможность образования карбонатной (в виде кальцита или арагонита) и сульфатной накипи в зависимости от температуры воды.

При подогреве исходной воды до температуры равной 30 °С, начинается пересыщение воды по карбонату кальция в кристаллической модификации как в виде кальцита, так и виде арагонита.

При концентрировании исходной воды в 2, 3 раза и подкислении охлаждающей воды до $\text{Щ}_{\text{общ}}=6$ и 8 мг-экв/л пересыщение по карбонату кальция (как в виде кальцита, так и арагонита) наблюдается для всего диапазона исследованных температур.

Пересыщение как исходной, так и концентрированной в 2, 3 раза воды и подкислении до $\text{Щ}_{\text{общ}}=6$ и 8 мг-экв/л, по сульфату кальция не наблюдается, поэтому сульфатная накипь при данных условиях образовываться не будет.

Таким образом, для исключения образования накипи (в виде CaCO_3) в системе охлаждения необходимо производить обработку подпиточной воды, обеспечивающую безнакипный режим работы.

7. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ КОНТРОЛЯ И КОРРЕКТИРОВКИ ВХР ОСО ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

7.1. Оптимизация ВХР оборотных систем охлаждения.

Вариант 1 (см. рис. 7.1):

1. Водоподготовка подпиточной воды (удаление солей жесткости, либо обессоливание);
2. Дозирование щелочи в оборотную воду (корректировка pH);
3. Биоцидная обработка оборотной воды;
4. Мехфильтрация оборотной воды;
5. Исключение неконтролируемого сброса воды с контуров. Организация автоматической продувки из контура с поддержанием заданного коэффициента упаривания.

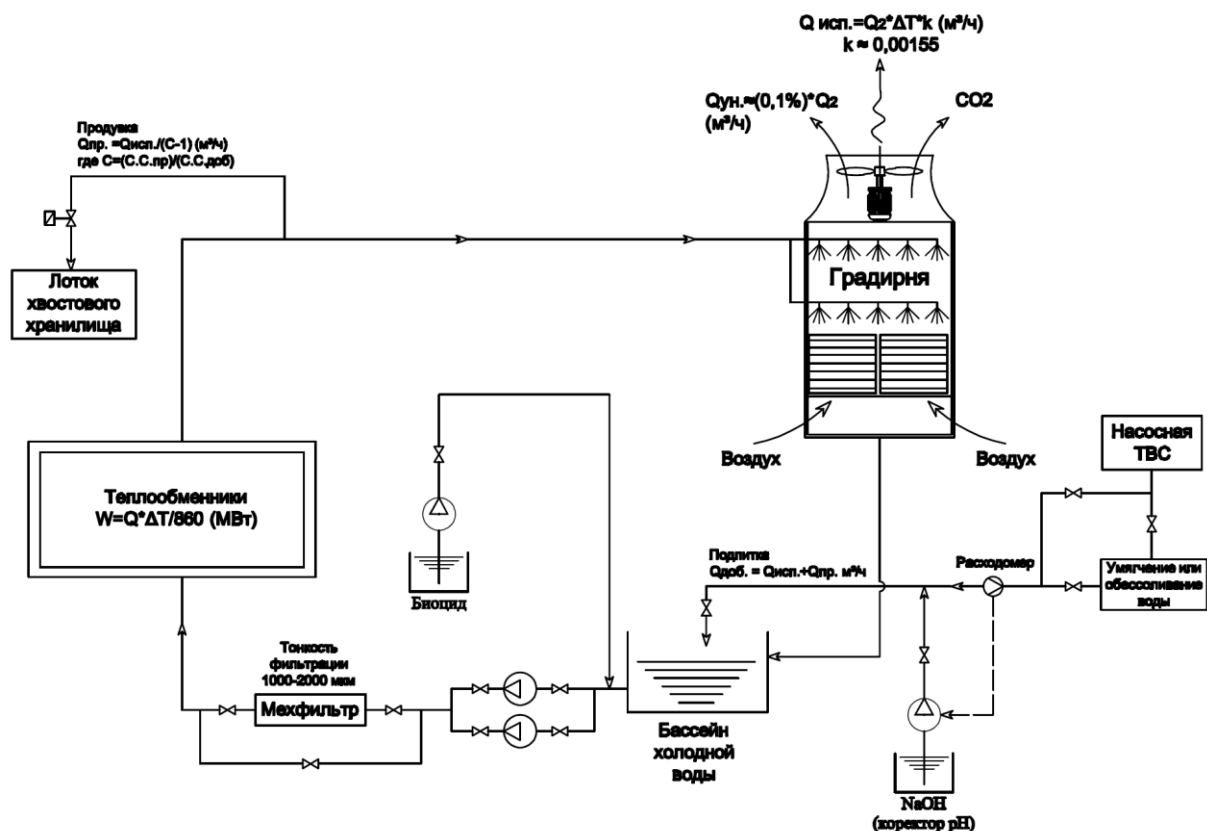


Рисунок 7.1. Оптимизация ВХР систем оборотного охлаждения по первому варианту.

Достоинствами первого варианта оптимизации является следующее:

- Исключается занос солями жесткости, механическими и органическими примесями в теплообменном оборудовании и трубопроводах.
- Обеспечивается контроль биологического загрязнения;
- Обеспечивается (за счет контроля продувки) эффективный и экономичный режим дозирования биоцидов и щелочи.

Недостатками первого варианта являются:

- Высокая стоимость оборудования и эксплуатационных затрат;
- Необходимость содержать реагентное хозяйство;
- Требуется контроль за дозировкой щелочи для предотвращения коррозии в системе;
- Утилизация стоков с ВПУ.

Вариант 2 (см. рис. 7.2):

1. Использование комплексонов (для связывания молекул солей жесткости, что препятствует их кристаллизации);
2. Биоцидная обработка оборотной воды;
3. Мехфильтрация оборотной воды;
4. Исключение неконтролируемого сброса воды с контуров. Организация автоматической продувки из контура с поддержанием заданного коэффициента упаривания.

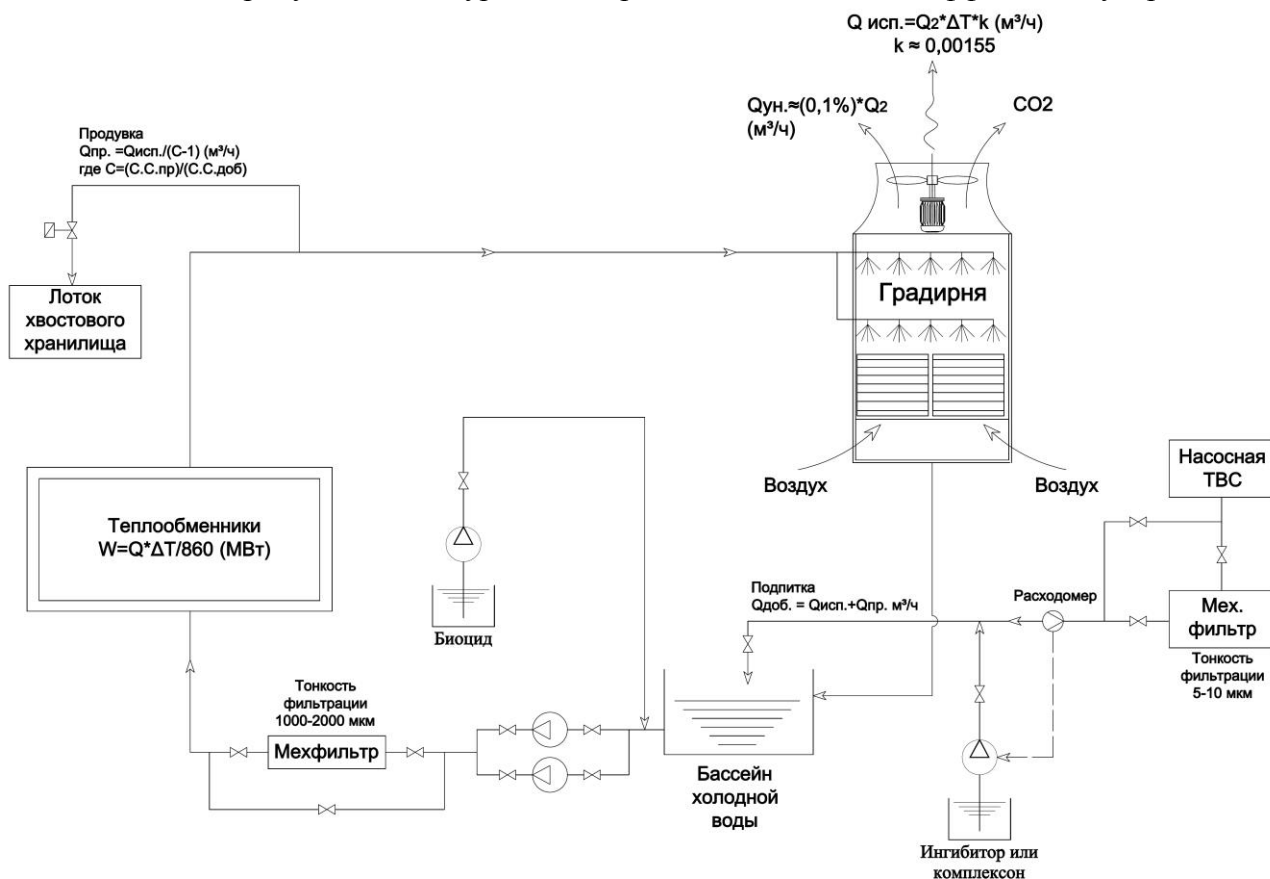


Рисунок 7.2. Оптимизация ВХР системы оборотного охлаждения по второму варианту.

Достоинства второго варианта оптимизации ВХР системы оборотного охлаждения:

- Сравнительно небольшие капитальные затраты на приобретение оборудования и реагентов;
- Обеспечивается подавление накипеобразования и коррозии в теплообменном оборудовании и трубопроводах;
- Обеспечивается контроль биологического загрязнения;
- Обеспечивается (за счет контроля продувки) эффективный и экономичный режим дозирования реагентов.

Недостатки второго варианта:

- Требуется жесткий контроль за дозировками реагентов и параметрами ВХР системы.
- Данный способ ограничен температурами, при которых могут быть использованы комплексоны.

7.2. Разработка режимной карты оборотной системы охлаждения.

РЕЖИМНАЯ КАРТА по эксплуатации оборотной системы охлаждения СКП.

(Срок действия 1 год)

Наименование параметров и показателей	Нормативные значения	Рабочие значения	Примечание
1. Заданные параметры:			
1.1. Мощность системы оборотного охлаждения, МВт	153	80-130	
1.2. Давление:			
На выходе из градирни, бар	3,9	3,8	
На входе в градирню, бар	2,0	1,9-2,0	
1.3. Общая гидравлическая нагрузка, м ³ /ч	11000	9600	
1.4. Температурный напор, °С	12	8-12	
1.3. Накипь и отложения на поверхностях нагрева, не более, г/м ²	?	?	
2. Регулируемые параметры:			
2.1. Температура охлаждающей воды, °С	25	18-26	
Температура регулируется с помощью:			
4-х вентиляторов, скорость	1-2	1-2	
4-х циркуляционных насосов (+ 1 насос в резерве), шт.	2-4	4	
2.2. Непрерывная продувка, м ³ /ч	100-130	20-130	
Открытие регулирующего вентиля (Ду 150 мм), %	50-100	20-100	
2.3. Автоматизированная продувка, м ³ /ч	-	0-60	
Автоматическое открытие вентиля (Ду 50 мм) при электропроводимости, мкСм/см	4600	-	Значение электропроводимости воды, при котором должен открываться/закрываться вентиль можно менять.
Автоматическое закрытие при проводимости, мкСм/см	4400	-	
2.4. Уровень воды в бассейне, см	180	170	
Уровень поддерживается вручную путем регулирования механической задвижки (Ду 200 мм)			
минимальный уровень, см	150	160	
максимальный уровень, см	180	170	
2.5. Обработка охлаждающей воды химическими реагентами:			
2.5.1. Ингибитор коррозии и накипеобразования «Nalco 3DT 151»:			Дозируется автоматически по показаниям флоурометра в шкафу управления «3DTrasar». Насос-дозатор включается при 58 ppm, отключается при 61 ppm.
- Доза, мг/л	60	59-61	
- Средний расход, кг/сут	200-225	170-225	

2.5.2. Биоцид окисляющийся "Stabrex ST-70"			Дозируется ежедневно автоматически согласно таймеру с 10:00 до 11:30. Производительность насоса 40 л/ч.
- Доза, мг/л	40-60	-	
- Средний расход, кг/сут	84-126	100	
2.5.4. Биоцид «Nalco 7330»:			Дозируется раз в две недели. Расход данного биоцида рассчитывается по общему объему системы охлаждения (V=2100м³). Дозирование производится в ручном режиме.
- Доза, мг/л	100	100	
- Средний расход, кг/мес.	400	390	
3. Контролируемые параметры:			
3.1. Качество подпиточной воды:			
Водородный показатель pH	8,6	8,5-9,0	
Общая жесткость, мг-экв/л	9,4	10,8-11,2	
Содержание кальция, мг-экв/л	-	2,2-2,6	
Общая щелочность, мг-экв/л	4,6	5,4-5,6	
Мутность, NTU	-	2-6	
Удельная электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	2230	1800-2600	
Содержание сульфатов, мг/л	500	525-610	
Содержание хлоридов, мг/л	240	290-330	
Содержание соединений железа, мг/л	< 0,1	0,01-0,04	
Содержание меди, мг/л	-	0,03-0,04	
Содержание кремниевой кислоты, мг/л	-	10-12	
Общее число образующих колонии бактерий (Colony Forming Units – CFU) на 1 мл воды	10^3 - 10^4	10^3 - 10^4	
3.2. Качество циркуляционной воды:			
Водородный показатель pH	8,4-8,8	8,4-8,8	
Общая жесткость, мг-экв/л	-	20-23	
Содержание кальция, мг-экв/л	6,0-7,2	4,0-5,5	
Общая щелочность, мг-экв/л	5-6	5-8	
Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/л	< 0,5	0,1-0,5	
Мутность, NTU	-	1-6	
Удельная электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	4300	4300-4500	
Содержание хлоридов, мг/л	< 1000	< 700	
Содержание сульфатов, мг/л	< 1690	< 1500	
Содержание соединений железа, мг/л	< 0,4	0,02-0,25	
Содержание меди, мг/л	-	0,1-0,3	
Содержание фосфатов, мг/л	4,5-7,8	5-10	
Содержание свободного хлора/брома, мг/л	0,1	0,1-0,3	
Содержание кремниевой кислоты, мг/л	< 22	< 25	

Общее число образующих колонии бактерий (Colony Forming Units – CFU) на 1 мл воды	10^3 - 10^4	10^3 - 10^4	
Периодичность химического контроля за водно-химическим режимом указана в приложении 1.			
* При анализах температура пробы воды должна быть в пределах 20-25 °С.			
3.3. Скорость коррозии углеродистой стали в циркуляционном контуре, мм/год	< 0,11	0,10-0,20	
Срок выдержки купонов коррозии при постоянной работе градирни, месяцев	1-12	12	
Методика определения скорости коррозии по стандарту «ASTM» в приложении 2.			

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
к режимной карте по эксплуатации
оборотной системы охлаждения СКЦ
от «___» _____ 2014 г.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОБОРОТНОЙ И ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ.

Аналитический контроль оборотной воды			
<i>№п/п</i>	<i>Анализируемые компоненты</i>	<i>Частота проведения анализов</i>	<i>Точка отбора проб</i>
1	Водородный показатель pH	1 раз в сутки	Обратный трубопровод оборотной системы охлаждения (после холодильников).
2	Общая жесткость, мг-экв/л	3 раза в неделю	
3	Кальциевая жесткость, мг-экв/л	-//-	
4	Общая щелочность, мг-экв/л	-//-	
5	Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/л	-//-	
6	Мутность, NTU	-//-	
7	Удельная электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 раз в сутки	
8	Сульфаты, мг/л	3 раза в неделю	
9	Хлориды, мг/л	-//-	
10	Железо общее, мг/л	1 раз в сутки	
11	Медь, мг/л	1 раз в неделю	
12	Фосфаты (как PO_4^{2-}), мг/л	3 раза в неделю	
13	Свободный хлор/бром, мг/л	1 раз в сутки	
14	Кремниевая кислота, мг/л	1 раз в неделю	
15	Общее число образующих колонии бактерий (Colony Forming Units – CFU) на 1 мл воды	-//-	

Аналитический контроль подпиточной воды			
<i>№п/п</i>	<i>Анализируемые компоненты</i>	<i>Частота проведения анализов</i>	<i>Точка отбора проб</i>
1	Водородный показатель pH	1 раз в сутки	Перед фильтром 130 мкм
2	Общая жесткость, мг-экв/л	3 раза в неделю	
3	Кальциевая жесткость, мг-экв/л	-//-	
4	Общая щелочность, мг-экв/л	-//-	
5	Мутность, NTU	-//-	
6	Удельная электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 раз в сутки	
7	Сульфаты, мг/л	3 раза в неделю	

8	Хлориды, мг/л	3 раза в неделю	
9	Железо общее, мг/л	1 раз в сутки	
10	Медь, мг/л	1 раз в неделю	
11	Кремниевая кислота, мг/л	-//-	
12	Общее число образующих колонии бактерий (Colony Forming Units – CFU) на 1 мл воды	-//-	

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования водно-химического режима оборотных систем охлаждения Медеплавильного и Серноокислотного цехов определены основные факторы влияющие на скорость коррозии, накипеобразование и биологическое загрязнение.

1. Анализ результатов расчета пересыщения позволил оценить возможность образования карбонатной (в виде кальцита или арагонита) и сульфатной накипи в зависимости от температуры воды.

При подогреве исходной воды до температуры равной 30 °С, начинается пересыщение воды по карбонату кальция в кристаллической модификации как в виде кальцита, так и виде арагонита.

При концентрировании исходной воды в 2, 3 раза и подкислении охлаждающей воды до $\Sigma_{\text{общ}}=6$ и 8 мг-экв/л пересыщение по карбонату кальция (как в виде кальцита, так и арагонита) наблюдается для всего диапазона исследованных температур.

Пересыщение как исходной, так и концентрированной в 2, 3 раза воды и подкислении до $\Sigma_{\text{общ}}=6$ и 8 мг-экв/л, по сульфату кальция не наблюдается, поэтому сульфатная накипь при данных условиях образовываться не будет.

Таким образом, для исключения образования накипи (в виде CaCO_3) в системе охлаждения необходимо производить обработку подпиточной воды, обеспечивающую безнакипный режим работы.

2. Результаты нескольких опытов по определению скорости коррозии купонов из нержавеющей стали показали, что их скорость коррозии не превышает гарантированного значения (0,05 мм/год), и составляют не более 0,003 мм/год.

Скорость коррозии купонов (в период с марта по июль) из углеродистой стали в циркуляционном контуре при поддержании изначально принятых расчетных параметров охлаждающей воды (электропроводность 6000-6500 мкСм/см, $\text{pH}=8,4-8,8$, доза ингибитора 60 мг/л) составляет от 0,0902 до 0,3260 мм/год.

Средняя скорость коррозии купонов из углеродистой стали в циркуляционном контуре при поддержании измененных расчетных параметров охлаждающей воды (электропроводность 4500-6000 мкСм/см, $\text{pH}=8,4-8,8$, доза ингибитора 60-80 мг/л) составляет 0,2400 мм/год.

Опыты по определению скорости коррозии в подпиточной (озерной) воде, показали результаты от 0,3239 до 0,8687 мм/год. Т.е. скорость коррозии углеродистой стали в необработанной исходной воде, значительно превышает скорость коррозии в более концентрированной, но обработанной химическими реагентами циркуляционной воде.

3. Разработана схема для оптимального контроля и коррекции ВХР ОСО, которая включает:

- грубую (2000 мкм) механическую фильтрацию всего потока охлаждающей воды;
- обработку подпиточной воды ингибитором коррозии и отложений;
- обработку охлаждающей воды биоцидами;
- контроль основных параметров (pH , уд. электропроводность, температура, расход подпитки и продувки) работы ОСО.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП РК 4.01.02-2009. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
2. М.Г. Журба Л.И. Соколов Ж.М. Говорова «ВОДОСНАБЖЕНИЕ. Проектирование систем и сооружений» М.: Издательство АСВ, 2003. – 83 с., т.1.
3. Сухотин А.М.; Чекулаева Е.И., Княжева В.М., Зайцев В.А. (1987). Способы защиты оборудования от коррозии, справочное руководство. Строкан Б.В., Сухотин А.М. (редакторы), Издательство «Химия», Ленинград, 280 стр.
4. Френк Н. Кеммер - Книга НАЛКО о воде. Часть 1.
5. Френк Н. Кеммер - Книга НАЛКО о воде. Часть 2.
6. В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: «Энергоатомиздат», 1998.
7. Ф.Ф. Чаусов. Г.А. Раевская. Комплексный водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров. Практическое руководство. Москва, Ижевск, 2002.
8. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. Справочник. Ленинград: «Стройиздат».
9. Sheldon D. Strausa, Senior Editor and Paul R. Puckorius (1984). Cooling-water treatment for control of scaling, fouling, corrosion. Power, 128 (6) 1 – 24 с.
10. Сайт: <http://www.uswaterservices.com/news/2014/11/the-pursuit-of-a-green-carbon-steel-corrosion-inhibitor-laying-the-groundwork>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Аналитический контроль подпиточной и оборотной воды объектов ТОО «Kazakhmys Smelting».

ПОДПИТОЧНАЯ ВОДА ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ СКЦ, 2-го КОНТУРА МПЦ и ППК

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	8,71	11,90	5,68	23,90	1 520	575	315	0,05	12,3	2,80
07.2014г.	9,00	10,90	5,72	5,30	1 540	515	355	0,10	11,5	2,60
08.2014г.	8,58	11,10	5,90	6,50	1 450	565	295	0,08	10,6	3,10
09.2014г.	8,35	12,00	5,30	5,44	1 510	610	320	0,03	11,5	3,70
10.2014г.	8,43	12,50	6,10	5,80	1 520	670	340	0,05	12,5	2,70
11.2014г.	8,59	11,00	5,80	19,20	1 570	510	320	0,09	15,0	2,75
12.2014г.	8,16	10,80	5,50	6,80	1 480	550	400	0,05	13,1	2,95
01.2015г.	8,52	10,40	5,10	5,95	1 500	620	250	0,07	9,1	3,10
Максимум	9,00	12,80	6,10	23,90	1 570	670	400	0,10	15,0	3,70
Минимум	8,16	10,40	5,10	5,30	1 450	510	250	0,07	9,1	2,60
Среднее	8,54	11,33	5,64	9,86	1 511	577	324	0,07	12,0	2,96

КОНТУР ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ СКЦ

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	9,10	27,8	12,6	7,0	4 150	1 110	630	0,01	28,8	7,5
07.2014г.	8,90	19,6	8,9	5,9	2 920	770	440	0,05	20,3	3,8
08.2014г.	8,71	19,0	8,6	6,3	2 820	750	430	0,25	19,7	4,6
09.2014г.	8,60	22,2	10,1	6,9	3 320	880	510	0,05	23,0	3,9
10.2014г.	8,91	24,4	11,1	5,5	3 640	970	560	0,20	25,3	3,1
11.2014г.	8,66	23,5	10,7	6,0	3 510	930	540	0,07	24,4	5,8
12.2014г.	8,49	22,9	10,4	5,9	3 420	910	520	0,09	23,7	3,2
01.2015г.	8,31	23,5	10,7	5,8	3 520	930	540	0,10	24,4	3,1
Максимум	9,10	27,8	12,6	7,0	4 150	1 110	630	0,25	28,8	7,5
Минимум	8,31	19,0	8,6	5,5	2 820	750	430	0,01	19,7	3,1
Среднее	8,71	22,8	10,4	6,2	3 413	906	521	0,10	23,7	4,4

**ПОДПИТОЧНАЯ ВОДА ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ МПЦ
(1-ый КОНТУР ПВ-1, ПВ-2)**

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	9,71	0,30	2,85	7,00	1 410	615	300	1,20	0,7	1,50
07.2014г.	10,28	0,80	3,01	8,90	1 620	560	280	1,10	0,9	1,20
08.2014г.	8,90	0,70	2,56	5,40	1 960	570	290	0,90	0,8	1,60
09.2014г.	9,85	0,80	2,92	6,10	1 690	620	310	1,70	0,6	2,10
10.2014г.	9,15	0,80	2,75	9,50	1 550	710	350	1,80	0,7	3,00
11.2014г.	9,23	0,70	2,80	11,20	1 680	490	270	1,80	1,0	2,50
12.2014г.	8,96	0,60	2,76	5,90	1 570	690	390	1,60	1,1	2,00
01.2015г.	9,11	0,80	2,81	8,30	1 640	450	240	1,30	0,8	1,90
Максимум	10,28	0,80	3,01	11,20	1 960	710	350	1,80	1,1	3,00
Минимум	8,90	0,30	2,56	5,40	1 410	450	240	0,90	0,6	1,20
Среднее	9,40	0,69	2,81	7,79	1 640	588	304	1,43	0,8	1,98

ЗАКРЫТЫЙ КОНТУР ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ МПЦ ПВ-1

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	10,10	1,10	4,3	15,1	2 340	830	480	2,10	1,5	2,8
07.2014г.	11,00	0,95	3,8	20,1	2 020	720	420	3,40	1,3	2,4
08.2014г.	10,20	1,20	4,7	10,4	2 550	910	520	5,50	1,6	3,0
09.2014г.	9,90	0,85	3,4	8,5	1 810	640	370	4,10	1,1	4,5
10.2014г.	10,50	0,90	3,6	5,9	1 910	680	390	3,10	1,2	2,3
11.2014г.	10,00	1,20	4,7	7,5	2 550	910	520	2,50	1,6	3,0
12.2014г.	10,30	2,30	9,1	8,4	3 030	990	530	3,90	2,5	2,0
01.2015г.	10,80	0,90	3,6	31,2	1 920	980	460	4,80	1,2	2,3
Максимум	11,00	2,30	9,1	31,2	3 030	990	530	5,50	2,5	4,5
Минимум	9,90	0,85	3,4	5,9	1 810	640	370	2,10	1,1	2,0
Среднее	10,35	1,18	4,6	13,4	2 266	833	461	3,68	1,5	2,8

ЗАКРЫТЫЙ КОНТУР ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ МПЦ ПВ-2

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	11,20	2,10	8,3	13,1	3 020	970	510	2,60	2,7	2,1
07.2014г.	11,00	0,85	3,4	10,8	1 810	570	390	5,10	1,2	2,9
08.2014г.	11,00	1,60	6,3	20,4	2 980	950	510	4,50	2,3	3,1
09.2014г.	10,50	1,40	5,5	9,1	2 980	980	420	5,10	2,5	5,4
10.2014г.	10,90	1,10	4,3	8,5	2 340	740	450	7,50	1,9	5,9
11.2014г.	11,00	2,20	8,7	6,8	3 110	950	530	7,90	4,2	4,1
12.2014г.	11,30	1,90	7,5	6,4	3 020	940	570	8,10	3,8	4,6
01.2015г.	10,60	1,80	7,1	19,8	2 850	920	490	5,50	2,8	1,9
Максимум	11,20	2,20	8,7	20,4	3 110	980	570	8,10	4,2	5,9
Минимум	10,50	0,85	3,4	6,4	1 810	580	390	2,60	1,2	1,9
Среднее	10,94	1,62	6,4	11,9	2 764	878	484	5,79	2,7	3,8

ОТКРЫТЫЙ КОНТУР ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ МПЦ ПВ-1

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманган- атная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	9,10	19,0	8,6	11,5	2 160	750	430	0,50	19,7	6,4
07.2014г.	8,90	19,5	8,8	6,4	2 650	780	440	1,20	20,2	2,1
08.2014г.	8,71	18,3	8,3	5,3	2 820	730	420	0,90	19,0	1,6
09.2014г.	8,60	20,4	9,2	8,9	3 310	810	470	0,35	21,1	1,9
10.2014г.	8,91	22,8	10,3	4,6	3 400	910	520	1,50	23,6	4,5
11.2014г.	8,66	21,9	9,9	5,1	2 450	870	500	1,10	22,7	4,9
12.2014г.	8,49	20,4	9,3	5,5	2 680	810	470	0,95	21,2	3,8
01.2015г.	8,31	15,4	7,0	6,7	2 590	620	350	0,55	16,0	4,2
Максимум	9,10	22,8	12,6	11,5	3 310	910	520	1,50	23,6	6,4
Минимум	8,31	15,4	8,6	4,6	2 160	620	350	0,35	16,0	1,6
Среднее	8,71	19,7	8,9	6,8	2 758	785	450	0,88	20,4	3,7

ОТКРЫТЫЙ КОНТУР ОБОРОТНОЙ СИСТЕМЫ МПЦ ПВ-2

Дата	Водородный показатель pH	Общая жесткость	Общая щелочность	Взвешенные вещества	Соле- содержание	Сульфаты	Хлориды	Железо общее	Кремниевая кислота	Окисля- емость перманга- натная
	-	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мгО/л
06.2014г.	9,00	17,6	8,0	5,6	2 630	700	410	0,05	18,3	5,5
07.2014г.	9,50	18,3	8,3	4,5	2 740	725	420	0,10	19,0	2,0
08.2014г.	9,00	17,6	8,0	6,1	2 650	710	390	0,15	18,3	2,5
09.2014г.	8,90	18,5	8,4	7,5	2 780	730	420	0,10	19,2	6,0
10.2014г.	8,60	21,7	9,8	4,4	3 240	860	490	0,15	22,5	4,1
11.2014г.	8,80	21,4	9,7	4,7	3 200	840	480	0,09	22,2	4,9
12.2014г.	8,50	19,4	8,8	5,9	2 910	770	440	0,05	20,1	5,7
01.2015г.	8,90	17,1	7,8	4,8	2 560	680	390	0,10	17,8	5,9
Максимум	9,50	22,8	9,8	7,5	3 240	860	490	0,15	22,5	6,0
Минимум	8,50	15,4	7,8	4,4	2 560	680	390	0,05	17,8	2,0
Среднее	8,90	19,0	8,6	5,4	2 839	752	430	0,10	19,7	4,6

Приложение . Параметры работы ФРУ (2-ый контур охлаждения ПВ-1)

Дата	Расход циркуляционный, м3/ч	Температура воды перед Т/О, °С	Температура воды после Т/О, °С	Перепад температур на Т/О, °С	Давление на входе в Т/О, бар	Давление на входе в ФРУ, бар	Давление на выходе из ФРУ, бар	Перепад давления на ФРУ, бар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24.10.13г.	1495,7	22,4	26,77	4,37	2,50	2,55	2,50	0,05
25.10.13г.	1499,1	22,5	25,77	3,27	2,40	2,60	2,40	0,20
26.10.13г.	1475	19,3	23,5	4,2	2,40	2,60	2,40	0,20
27.10.13г.	1490	20,2	24,1	3,9	2,40	2,60	2,40	0,20
28.10.13г.	1505	21,2	23,9	2,7	2,40	2,60	2,40	0,20
29.10.13г.	1466	21,1	24	3,1	2,50	2,70	2,50	0,20
30.10.13г.	1470	23,8	29,8	6	2,50	2,70	2,50	0,20
31.10.13г.	1470	29,1	34	4,9	2,50	2,70	2,50	0,20
01.11.13г.	1466	24,7	30,8	6,1	2,50	2,70	2,50	0,20
02.11.13г.	1500	31,4	36,4	5	3,2	3,3	3,23	0,07
03.11.13г.	1495	28,0	33,4	5,4	3,2	3,3	3,23	0,07
04.11.13г.	1513	24,6	31,6	7	3,2	3,3	3,21	0,09
05.11.13г.	1425	25,0	30,0	5	3,2	3,4	3,2	0,2
06.11.13г.	1410	25,2	30,5	5,3	3,2	3,3	3,23	0,07
07.11.13г.	1417	27,8	32,8	5	3,2	3,3	3,23	0,07
08.11.13г.	1471	28,3	32,5	4,2	3,2	3,6	3,41	0,19
09.11.13г.	1440	29,4	33,4	4	3,3	3,6	3,31	0,29
10.11.13г.	1450	29,1	33,2	4,1	3,3	3,6	3,33	0,27
11.11.13г.	1418	28,5	32,3	3,8	3,3	3,6	3,33	0,27
12.11.13г.	1415	23	29	6	3,3	3,6	3,35	0,25
13.11.13г.	1430	21	27	6	3,3	3,6	3,35	0,25
14.11.13г.	1400	22	27	5	3,3	3,6	3,33	0,27
15.11.13г.	1420	23	30	7	3,3	3,6	3,33	0,27
16.11.13г.	1423	24	29	5	3,3	3,6	3,33	0,27
17.11.13г.	1427	26	31	5	3,3	3,6	3,33	0,27
18.11.13г.	1427	25	31	6	3,3	3,6	3,33	0,27
19.11.13г.	1452	26	31	5	3,3	3,6	3,33	0,27
20.11.13г.	1446	24	30	6	3,3	3,6	3,33	0,27
21.11.13г.	1427	21	27	6	3,3	3,6	3,33	0,27
22.11.13г.	1440	22	29	7	3,3	3,6	3,33	0,27
23.11.13г.	1440	22	30	7	3,3	3,6	3,33	0,27
24.11.13г.	1420	23	31	8	3,3	3,6	3,33	0,27
25.11.13г.	1407	24	32	8	3,3	3,6	3,33	0,27

Запуск ФРУ на 50%

Запуск ФРУ на 100%

Работа на левом блоке ФРУ

Работа на правом блоке ФРУ