

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

АНДРОНОВ ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ

ПРЕДТВРАЩЕНИЕ СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ  
ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

05.23.04 - Водоснабжение, канализация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков 1996



00229041 (1)

628.1  
628.2

Диссертацией является

Работа выполнена в Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Пантелят Гарри Семенович.

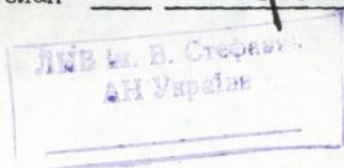
Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент ИА Украины  
Душкин Станислав Станиславович,  
кандидат технических наук, доцент  
Шагайденко Виктор Иванович.

Ведущая организация – Харьковский Водоканалпроект.

Защита состоится "30" мая 1996 года  
в 11<sup>00</sup> часов на заседании специализированного ученого  
совета Д 02.07.01 в Харьковском государственном техническом  
университете строительства и архитектуры (310002 г. Харьков,  
ул. Сумская, 40).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры (310002 г. Харьков, ул. Сумская, 40).

Автореферат разослан "27" апреля 1996 г.



Ученый секретарь  
специализированного ученого совета

канд. техн. наук, доцент

Н.И. Колотило

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Использование воды в системах обратного водоснабжения является наиболее надежным средством защиты водоемов от загрязнения. Однако полностью замкнутые системы обратного водоснабжения, в которых используются очищенные и охлажденные воды, не получили еще распространения на заводах черной металлургии Украины. Практически из всех находящихся в эксплуатации систем обратного водоснабжения производится сброс воды в виде продувки для поддержания солевого состава оборотной воды на определенном уровне.

Одной из основных причин, препятствующих полному использованию загрязненных или нагретых сточных вод в обороте, является образование плотных солевых отложений по тракту движения воды в одних случаях и коррозионные процессы - в других. Процессы коррозии и зарастания солевыми отложениями трубопроводов и оборудования неразрывно связаны и протекают зачастую одновременно.

Образование плотных солевых (карбонатных, гипсовых и др.) отложений нарушает нормальную эксплуатацию технологического оборудования и систем водоснабжения, приводит к необходимости трудоемких работ по очистке трубопроводов и аппаратов, а в некоторых случаях к выводу их из строя и потребности замены. Особенно серьезные затруднения из-за образования плотных отложений возникают при эксплуатации теплообменного оборудования (конденсаторы паровых турбин, компрессоры и др.), а также газоочисток металлургического оборудования (доменные, сталеплавильные печи и агрегаты и др.).

Особую актуальность затронутые выше вопросы приобре-

тают в связи с необходимостью перевода систем водоснабжения на полностью замкнутый (беспродувочный) режим работы, что обеспечивает исключение сброса сточных вод в водоемы.

Целью диссертационной работы является разработка и внедрение нового метода предотвращения плотных солевых отложений в полностью замкнутых системах оборотного водоснабжения металлургических агрегатов.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Научно обосновано применение нового метода предотвращения карбонатных отложений, основанного на использовании композиции четвертичных аммониевых солей (например, ВПК-402) с триполифосфатом натрия (ТПФН), обладающей синергическим действием.

2. Определены эффективные дозы рекомендуемых реагентов и оборудование для реализации разработанного метода стабилизационной обработки воды в условиях работы замкнутых систем оборотного водоснабжения.

3. Разработана технология применения предложенного метода в системе оборотного водоснабжения холодильников коксового газа коксохимического производства Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК).

Практическая ценность работы состоит в:

1) разработке и внедрении нового метода стабилизационной обработки воды в системе оборотного водоснабжения холодильников коксового газа коксохимического производства НЛМК;

2) разработке технологии приготовления ингибирующей смеси (композиции) и ее дозирования в систему водяного охлаждения коксового газа коксохимического производства НЛМК;

3) обосновании перевода системы водоснабжения холодильников коксового газа коксохимического производства НЛМК на

замкнутый (беспродувочный) режим работы;

4) внедрении нового метода стабилизационной обработки воды смесью ВПК-402 с ТПФН в отраслевые нормы проектирования объектов водного хозяйства предприятий черной металлургии Украины.

Методология исследований. Использовано современное оборудование стран СНГ и других стран (Германия, Венгрия, Россия и др.) для исследования микроструктуры, химического состава и физико-химических свойств кристаллов малорастворимых солей, в частности карбоната кальция.

Разработаны и апробированы методики определения массовой концентрации фосфатов, полифосфатов, диметилдиаллиламонийхлоридов в промышленных и сточных водах.

Точность инструментальных замеров некоторыми приборами составляет  $\pm 0,5-1,0\%$ , точность интерполяции экспериментальных данных -  $5-10\%$ , что достаточно для инженерных расчетов.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Научное обоснование применения нового метода предотвращения карбонатных отложений, основанного на использовании композиции четвертичных аммониевых солей с триполифосфатом натрия, обладающей синергическим действием.

2. Технология применения новой композиции реагентов в системе обратного водоснабжения холодильников коксового газа коксохимического производства НЛМК.

3. Обоснование перевода системы водоснабжения холодильников коксового газа коксохимического производства НЛМК на замкнутый (беспродувочный) режим работы.

4. Технология приготовления ингибирующей смеси (композиции) и ее дозирования в систему водяного охлаждения коксо-

вого газа коксохимического производства НЛМК.

Апробация работы. Основные результаты исследований и главные положения диссертации докладывались на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры в 1993, 1995 и 1996 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и содержит 160 страниц машинописного текста, 23 таблицы, 21 рисунок и приложения.

Список литературы включает 104 источника.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость, положения, защищаемые автором.

В первом разделе рассмотрены причины и химизм образования плотных солевых (карбонатных и гипсовых) отложений в различных системах оборотного водоснабжения. В системах водяного охлаждения разнообразных тепловых технологических агрегатов образуются в основном отложения карбоната кальция в результате сдвига углекислотного равновесия, который интенсифицируется с повышением температуры. Максимальная интенсивность отложений наблюдается в зонах высоких температур теплопередающих поверхностей, особенно в зонах местного кипения воды.

Выполнен анализ существующих методов предотвращения солевых отложений. Анализ литературных и патентных материалов, обобщение опыта исследований и учет опыта эксплуатации систем оборотного водоснабжения с применением стабилизационной обработки воды показал, что дальнейшее совершенствование ме-

тодов предотвращения солевых отложений связано с поиском, опробованием и внедрением новых композиций ингибирующих веществ, обладающих синергическими свойствами.

Во втором разделе дана оценка предложенных ранее различными учеными (Кучеренко Д.И., Фергюссон Р. и др.) зависимостей для определения количества и интенсивности карбонатных отложений в системах водяного охлаждения теплообменной аппаратуры и оборудования.

Д.И.Кучеренко предложил определять количество карбоната кальция, выделяющегося при распаде бикарбонатов, по формуле:

$$X = [(P_1 + P_2 + P_3) \psi_{доб} - (P_2 + P_3) \psi_{об}] \cdot Q \cdot \tau \cdot 50 \cdot 10^{-2} \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  - потери воды в оборотной системе на испарение, капельный унос и продувку, %;

$\psi_{об}, \psi_{доб}$  - щелочность оборотной и добавочной воды, г-экв/л;

$Q$  - расход циркулирующей в системе воды, м<sup>3</sup>/ч;

$\tau$  - продолжительность работы системы оборотного водоснабжения, ч;

50 - эквивалентный вес карбоната кальция, г;

$X$  - количество карбоната кальция, г.

Формула Кучеренко позволяет достаточно точно вычислить количество выделяющегося из воды карбоната кальция, но не решает задачи определения той его части, которая осаждается в виде накипи на стенках теплообменников или другого оборудования.

Весьма привлекательным и имеющим солидную теоретическую и экспериментальную базу является выражение, предложен-

ное Фергюссоном для расчета количества карбонатных отложений, осаждающихся в теплообменниках:

$$G = g \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $g$  - скорость выделения карбоната кальция из воды, моль/л·с, определяемая по формуле (3);

$\tau$  - средняя продолжительность пребывания воды в теплообменниках, с.

$$g = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \cdot [X]^n, \quad (3)$$

где  $g$  - скорость выделения карбоната кальция, моль/л·с;

$A$  -  $6,92 \cdot 10^{10}$  л/моль·с, фактор частоты;

$E_a$  - 14,49·9,8 Дж/моль, энергия активации;

$R$  - 1,987·4,2 Дж/град/моль, универсальная газовая постоянная;

$T$  - температура воды, °К;

$X$  - мгновенный избыток карбоната кальция, моль/л;

$n$  - порядок реакции.

Если поверхность теплообменников чистая, то  $n = 1$ , для теплообменников с существенным слоем накипи  $n = 2,0-2,2$ .

Автором диссертационной работы предложены зависимости для определения количества отложений карбоната кальция, образующегося в системах обратного водоснабжения газоочисток доменных печей (4) и теплообменниках (5).

$$X = [\Delta c \cdot Q + Ж_{вр} \cdot g] \cdot E, \quad (4)$$

где  $X$  - количество образовавшегося карбоната кальция, г/ч;

$\Delta C$  - прирост временной жесткости (щелочности) в газоочистке, моль/м<sup>3</sup>;

$Q$  - расход воды в системе оборотного водоснабжения газоочистки, м<sup>3</sup>/ч;

$Ж_{вр}$  - временная жесткость (щелочность) подпиточной воды, моль/м<sup>3</sup>;

$q$  - расход подпиточной воды, соответствующий суммарным потерям воды на испарение и каплеунос на градирне, м<sup>3</sup>/ч;

$E$  - вес одного моля карбоната кальция, г/моль.

Например, для системы водоснабжения газоочисток доменных печей № 1-4 Мариупольского металлургического комбината им.

Ильича:  $\Delta C = 1$  ммоль/л,  $Q = 5000$  м<sup>3</sup>/ч,  $Ж_{вр} = 2$  ммоль/л,  $q = 100$  м<sup>3</sup>/ч,  $E = 100$  г.

$$X = [1,0 \cdot 5000 + 2 \cdot 100] \cdot 100 = 520000 \text{ г/ч} = 520 \text{ кг/ч}$$

Для систем водяного охлаждения теплообменников:

$$X = (Q_{доб} \cdot Щ_{доб} - Q_{ун} \cdot Щ_{равн}) \cdot 24 \cdot 1000 \quad (5)$$

где  $Q_{доб}$  - расход подпиточной воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{ун}$  - расход воды на капельный унос на градирне, м<sup>3</sup>/ч;

$Щ_{доб}$  - щелочность добавочной (подпиточной) воды, мг-экв/л;

$Щ_{равн}$  - равновесная щелочность оборотной воды, мг-экв/л.

Например, для системы водоснабжения конденсаторов паровых турбин ТЭЦ комбината им. Ильича:  $Q_{доб} = 1000$  м<sup>3</sup>/ч,  $Q_{ун} = 250$  м<sup>3</sup>/ч,  $Щ_{доб} = 5$  мг-экв/л,  $Щ_{равн} = 3$  мг-экв/л.

$$X = (1000 \cdot 5,0 - 250 \cdot 3) \cdot 24 \cdot 1000 = 4250 \cdot 24 \cdot 1000 = 102 \text{ кг/ч}$$

Зависимости (4) и (5) позволяют с достаточной для практических целей точностью определить количество отложений, образующихся в газоочистном и теплообменном оборудовании.

В третьем разделе приведены результаты лабораторных исследований по опробованию различных ингибиторов и их смесей (композиций) для снижения интенсивности плотных солевых (карбонатных) отложений.

Лабораторные исследования по определению эффективности ингибиторов отложений проводили в статических и динамических условиях на водяных банях и экспериментальной установке, представляющей собой циркуляционный контур, моделирующий работу системы водяного охлаждения. Контур состоит из нагревательного элемента (трубчатой электрической печи), имитирующего работу теплообменного оборудования, контрольной стеклянной трубки для определения количества солевых отложений, градирни, стеклянных и металлических образцов, контактного термометра, насоса, трубопроводов и лабораторного автотрансформатора. Контрольная стеклянная трубка изготовлена из жаропрочного кварцевого стекла и размещена внутри (в полости) трубчатой нагревательной печи. Стеклянные образцы для контроля солевых отложений и металлические образцы для контроля скорости коррозии размещали в зоне орошения градирни, а также в резервуаре для охлажденной воды. Конструкция градирни позволяла исключить капельный унос воды. Диаметр контрольной трубки составлял 21,4 мм, емкость контура - 3,5 л, расход оборотной воды в контуре - 120 л/ч, скорость движения воды в контрольной трубке контура - 0,5 м/с.

Испытания в лабораторных условиях проводили при температуре воды до 50 °С, щелочности 3,7-4,5 мг-экв/л, концентрации кальция 3,5-4,0 мг-экв/л.



Таблица I

## Результаты опробования ингибиторов отложений на экспериментальной установке

№ п/п	Ингибирующий состав для обработки воды	Весовое соотношение	Доза, мг/л	Продолжительность, ч	Химический состав воды:			Количество отложений, мг Ca <sup>2+</sup>	Эффективность, %	
					исходной	оборотной	мг-экв/л			
					Щелочность	Жесткость	Кальций			
					по фенолу	общая				
					фталейну					
1. Без обработки	-	-	-	6	0/0,8	4,1/5,1	5,5/6,0	4,0/4,0	52,0	-
				12	0/1,1	4,0/4,9	5,5/5,7	4,0/4,1		
2. Смесь: 0,1 %-ный раствор ВПК-402 готовится на 1,0 %-ном растворе ТПФН	I:10	I,0 (по ТПФН)	-	6	0/0,6	4,5/5,9	5,1/6,0	3,6/4,1	1,46	96
				12	0/1,2	4,5/6,5	5,5/6,5	4,1/4,5		
				6	0/0,9	4,5/5,6	5,2/6,1	3,7/4,2	1,0	98
				12	0/1,4	4,5/7,0	5,3/6,2	3,9/4,7		
				6	0/1,0	4,5/5,7	4,9/6,1	3,7/5,0	2,0	96
				12	0/1,1	4,5/6,1	5,0/6,5	4,5/6,7		
				6	0/1,2	4,0/6,0	5,5/7,0	4,1/6,0	10,0	80
				12	0/1,5	3,6/6,5	5,6/7,1	4,2/6,9		

Перечисленные соединения (цинксодержащие ингибиторы и полученный в результате взаимодействия ВПК-402 с ТПФН полимер хлорида диметилдиаллиламмонийфосфата) сорбируются на поверхности зародышей кристаллов карбоната кальция, препятствуют их росту и тормозят сдвиг углекислотного равновесия.

Механизм действия перечисленных ингибиторов аналогичен действию применяющихся в настоящее время эффективных ингибиторов отложений, например ЮМСа (ингибитора отложений минеральных солей), представляющего собой органический фосфатсодержащий комплексон.

Установлено также, что смесь ВПК-402 с ТПФН наряду с предотвращением карбонатных отложений способствует снижению интенсивности коррозионного износа металлов (табл. 2).

Проведены физико-химические исследования образующихся солевых отложений при обработке различными ингибиторами. Определены размеры и форма образующихся кристаллов карбоната кальция, полученных при применении различных ингибиторов и их смесей (рис. 1).

На рис. 2 приведены данные дифференциального термографического исследования образцов отложений карбоната кальция, полученных в различных условиях: без обработки воды и при обработке смесью ТПФН с ВПК-402. Во всех исследованных образцах отложений наблюдается потеря веса образцов в области температур 470-500 °С. При этих температурах имеет место выделение связанной воды из гидроксидов кальция и магния, что свидетельствует о наличии в отложениях соединений с группой OH<sup>-</sup>. При этом образование различных модификаций карбонатов и переход одной модификации в другую не обнаружены.

В четвертом разделе приведены результаты промышленных испытаний метода предотвращения отложений в системе водяного

Зависимость скорости коррозии образцов из Ст.3

Таблица 2

п/п : : : :	Разновидность : исходной воды : : : :	Темпе- : ратура : воды, : °С :	Перепад : температу- : ры воды, : °С :	Продолжи- : тельность : экспери- : мента, ч :	Общее со- : лесодер- : жание, : мг/л :	Хлори- : ды, : мг/л :	Сульфид- : ты, : мг/л :	Скорость : корро- : зии, : мм/год :	Балл : : : :	Группа : стойкости : : : :
1.	Оборотная вода без обработки	43	10	672	1620	354	490	0,12	6	Пониженно стойкие
2.	Оборотная вода без обработки	42	10	672	1650	365	520	0,14	6	Пониженно стойкие
3.	Оборотная вода с обработкой смесью ВПК-402 с ТПФН дозой 0,75 мг/л (по ТПФН)	42	10	672	1700	400	550	0,07	5	Стойкие
4.	Оборотная вода с обработкой смесью ВПК-402 с ТПФН дозой 1,75 мг/л (по ТПФН)*	41	10	672	2050	450	600	0,04	4	Стойкие
5.	Оборотная вода с обработкой смесью ВПК-402 с ТПФН дозой 1,75 мг/л (по ТПФН)*	41	10	672	1620	405	480	0,048	4	Стойкие

Примечание. \* Данные, приведенные в строчках 4 и 5, получены при одинаковых дозах ингибирующей смеси для оборотной воды, имеющей различный химический состав.



а



б

Рис. 1. Кристаллы карбоната кальция, полученные из:

- а) необработанной воды, содержащей соли жесткости;

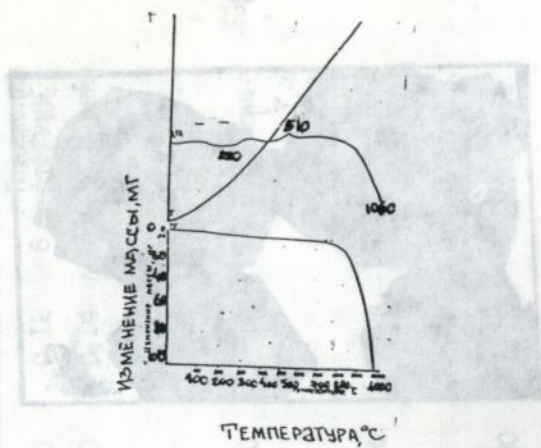
- б) воды, обработанной смесью ТПН с ВПК-402.

Увеличение  $\times 4000$

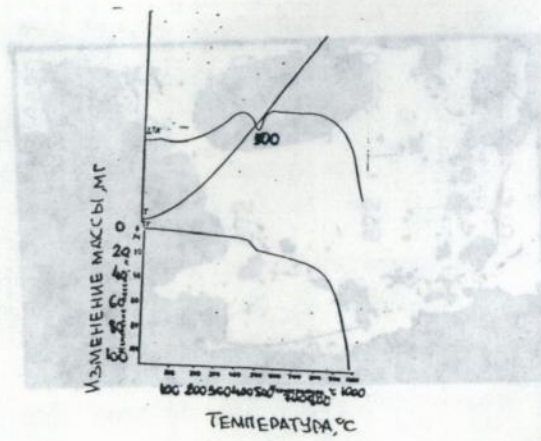
Таблица

Зависимость скорости коррозии от температуры

Температура: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000  
Скорость коррозии: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100



а



б

Рис. 2. Дериватограммы солевых отложений, полученных:  
а) без обработки воды;  
б) при обработке воды смесью ТПЭН с ВПК-402.

охлаждения цеха очистки коксового газа № 2 КХП ВЛМК.

Смеси реагентов подавали в систему обратного водоснабжения вместе с подпиточной технической водой один раз в сутки. Для равномерного распределения реагентов во всем объеме системы водоснабжения смеси дозировали в течение одного часа небольшими порциями с интервалом в 5 минут. Количество вводимого в систему раствора смеси варьировало в зависимости от разновидности ингибирующей смеси и колебалось в пределах 3,5-5,8 л. Учитывая небольшой расход растворов реагентов, их готовили в заводской лаборатории. Для контроля за интенсивностью образования отложений использовали металлические пластины, установленные в трубопроводе горячей воды (температура 41-45 °С) перед градирней.

Для оценки эффективности метода определяли интенсивность образования отложений в период до подачи реагентов и при их дозировании в систему. Для этого контрольные пластины устанавливали в тех же точках системы водоснабжения. Периодичность определения количества карбонатных отложений на контрольных образцах (пластинах) составляла один раз в трое суток. По удельному количеству отложений на поверхности исследуемой пластины и продолжительности эксперимента вычисляли интенсивность образования отложений в г/(м<sup>2</sup>·ч).

Математическая обработка полученных экспериментальных данных выполнена путем разбивки их на две группы с описанием каждой показательными функциями вида  $\mathcal{D} = c \cdot e^{b \cdot D}$  на примере промышленных испытаний (рис. 3).

Первый участок:  $0 \leq D \leq 0,87$

$$D = 0,25 ; \mathcal{D} = 42 ; c \cdot e^{0,25b} = 42$$

$$e^{0,5b} = 2,3381$$

$$D = 0,87 ; \mathcal{D} = 98,2 \cdot c \cdot e^{0,87b} = 98,2$$

$$b = 1/0,62 \cdot \ln 2,3381 = 1,3699$$

$$c = 29,82$$

$$\mathcal{E} = 29,82 \cdot e^{1,3699 \cdot D} \quad (7)$$

Второй участок:  $0,87 \leq D \leq 4,0$

$$D = 0,87 ; \mathcal{E} = 98,2 ; c \cdot e^{-0,87b} = 98,2$$

$$e^{3,13b} = 1,964$$

$$D = 4,0 ; \mathcal{E} = 50 ; c \cdot e^{-4b} = 50$$

$$b = 1/3,13 \cdot \ln 1,964 = 0,2156$$

$$c = 118,46$$

$$\mathcal{E} = 118,46 \cdot e^{-0,2156 \cdot D} \quad (8)$$

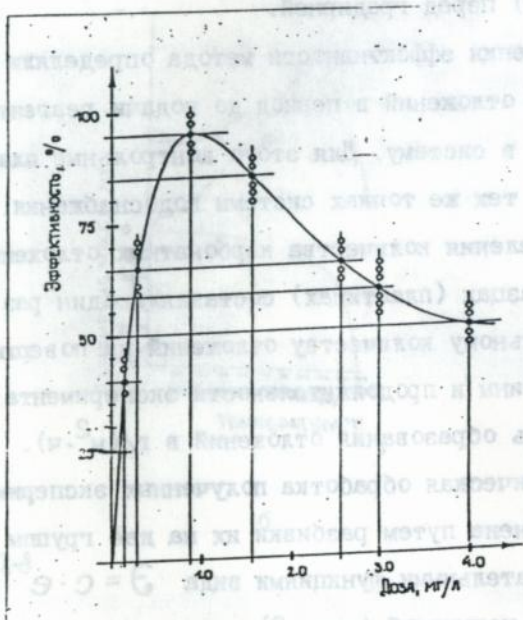


Рис. 3. Ингибирование карбонатных отложений на промышленной установке

Эффективность реагентной обработки воды в системе водоснабжения оценивали по относительному количеству карбонатных

отложений, высадившихся из обработанной и необработанной воды.

Пятый раздел посвящен анализу опыта эксплуатации системы оборотного водоснабжения коксохимического производства НЛМК с применением новых ингибирующих смесей.

После освоения и внедрения метода предотвращения карбонатных отложений с помощью ингибирующей смеси реагентов ВПК-402 и ТПФН система оборотного водоснабжения переведена на замкнутый режим работы с исключением продувки. Это изменило водно-химический режим работы системы водоснабжения, привело к увеличению  $K_K$  и соответственно к росту общего содержания оборотной воды и его компонентов: хлоридов, сульфатов, щелочности, жесткости и др. (табл. 3).

Разработана технология обработки оборотной воды смесью ВПК-402 с ТПФН. Эффективная доза ингибирующей смеси составляет 0,87 мг/л (по ТПФН). Весовое соотношение компонентов в смеси 1:10 (одна часть ВПК-402, десять частей ТПФН).

Незначительные дозы реагентов существенно упростили технологию реагентной обработки воды: нет необходимости в строительстве и эксплуатации реагентного хозяйства, смесь реагентов готовится в лабораторных условиях. Подача ингибирующей смеси в систему производится два раза в сутки в приемник охлажденной воды, т.е. перед насосами, подающими воду потребителям. Смесь готовят путем ввода товарного ВПК-402 в раствор ТПФН. Общее количество раствора смеси реагентов для разового ввода в систему водоснабжения составляет 5-6 л.

Разработана инструкция по эксплуатации реагентной обработки воды смесью ВПК-402 с ТПФН, методики определения массовой концентрации фосфатов, полифосфатов и диметилдиаллил-аммонийхлоридов в промышленных сточных водах.

В этом же разделе определена технико-экономическая эф-

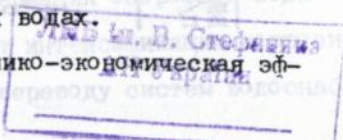


Таблица 3

## Химический состав подпиточной и оборотной воды

№ п/п	pH	Жесткость, мг-экв/л	Кальций, мг-экв/л	Магний, мг-экв/л	Щелочность: общая, мг-экв/л	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Общее соле- содержание, мг/л
<u>Подпиточная вода</u>								
1.	7,3	5,5	3,0	2,5	4,6	6,0	40,6	610,0
2.	7,2	5,7	3,2	2,5	4,8	8,0	45,1	655,0
<u>Оборотная вода</u>								
3.	7,4	II,3	6,3	5,0	8,6	20,0	I40,0	I850,0
4.	7,3	II,2	6,1	5,1	8,2	23,0	I35,0	I900,0
5.	7,2	II,2	6,2	5,0	8,3	25,0	I28,0	I870,0
6.	7,4	II,4	6,4	5,0	8,8	23,0	I45,0	I920,0
7.	7,3	II,5	6,4	5,1	8,9	24,0	I42,0	I910,0
8.	7,4	II,3	6,3	5,0	8,7	24,0	I42,0	2005,0
9.	7,3	II,3	6,5	4,8	8,7	24,0	I50,0	2010,0

эффективность применения ингибирующих составов и область применения разработанного метода предотвращения карбонатных отложений на промышленных предприятиях Украины, сформулированы направления дальнейших исследований.

Установлено, что годовой экономический эффект от внедрения ингибирующих составов в системе водяного охлаждения цеха очистки коксового газа № 2 коксохимического производства НЛМК составит 102,0 тыс. руб. в ценах 1984 года. Выполнено также сравнение стоимости обработки воды различными методами. Определено, что удельная стоимость обработки воды смесью ВПК-402 с ТПФН существенно ниже, чем при других прогрессивных методах стабилизационной обработки воды.

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования дана оценка предложенных ранее различными учеными зависимостей для определения количества и интенсивности карбонатных отложений в системах водяного охлаждения теплообменной аппаратуры и оборудования. Предложены новые зависимости, позволяющие определить количество карбоната кальция в системах оборотного водоснабжения газоочисток доменных печей и в теплообменном оборудовании. На основе полученных зависимостей выполнено сопоставление количества отложений карбоната кальция, образующихся в замкнутых и частично замкнутых системах оборотного водоснабжения. Установлено, что в замкнутых системах количество отложений в 4-5 раз меньше, чем в незамкнутых системах водоснабжения.

2. Показано, что рост солесодержания оборотной воды (при нейтральной среде) не вызывает интенсификации коррозионных процессов и не препятствует переводу систем водоснаб-

жения на замкнутый режим работы, исключая сброс сточных вод в водоемы.

3. Проведены исследования в лабораторных условиях на циркуляционном контуре, имитирующем работу замкнутой системы водяного охлаждения и на водяных банях. Опробован ряд ингибиторов плотных солевых отложений: простые неорганические фосфаты, триполифосфат натрия (ТПФН), комплексная цинковая кислота, комплексная соль цинка, соединения цинка с ВПК-402, смесь ВПК-402 с ТПФН и др. Установлено, что смесь (композиция) ТПФН с ВПК-402 обладает синергическим действием и позволяет получить максимальный ингибирующий эффект - 97-98 %.

4. Изучены свойства и механизм действия солей цинка, четвертичных аммониевых солей, смеси ВПК-402 с ТПФН.

5. Проведены физико-химические исследования образующихся солевых отложений при обработке воды различными ингибиторами. Определены размеры и форма образующихся кристаллов карбоната кальция, получены дериватограммы солевых отложений.

6. Объяснен механизм влияния различных ингибиторов солевых отложений на кристаллизацию малорастворимых солей.

7. Изучены особенности работы системы оборотного водоснабжения цеха № 2 очистки коксового газа коксохимического производства НЛМК. Определен водный и солевой (материальный) балансы системы водоснабжения. Установлено, что величина коэффициента концентрирования ( $K_K$ ) хорошо растворимых солей до внедрения разработанного в объеме настоящей работы нового метода предотвращения карбонатных отложений находилась на уровне 1,30-1,35, после внедрения - 3,3-3,4.

8. В промышленных условиях испытан ряд ингибиторов солевых отложений и смесей (композиций) этих веществ:

- комплексные соединения галидов и сульфатов цинка;

- соединения цинка с четвертичными аммониевыми солями;
- соединения цинка с продуктом обработки ВПК-402 аммиаком;
- смесь ВПК-402 с ТПФН.

Максимальная эффективность получена при обработке воды смесью хлорида цинка с серной кислотой (94,5 %) и смесью ВПК-402 с ТПФН (98,15 %). Установлено, что обработка оборотной воды должна производиться два раза в сутки. При этом раствор смеси ингибиторов рекомендуется подавать в резервуар охлажденной воды перед ее подачей потребителям.

9. Обработка оборотной воды смесью ВПК-402 с ТПФН отличается высокой эффективностью по предотвращению карбонатных отложений. Эта технология внедрена в системе водяного охлаждения оборудования цеха очистки коксового газа № 2 коксохимического производства НЛМК.

10. Внедрение разработанной в объеме диссертационной работы технологии позволило перевести систему водоснабжения на замкнутый (беспродувочный) режим работы. Исключен сброс в общезаводской шламонакопитель 250 м<sup>3</sup>/ч (2,0 млн. м<sup>3</sup>/год) сточных вод с соответствующим сокращением количества свежей воды, забираемой из водоема.

11. Экономический эффект от внедрения разработанного метода составляет 102,0 тыс. руб. в ценах 1984 года.

12. Сравнение обработки воды различными методами предотвращения карбонатных отложений показало, что удельная стоимость обработки воды смесью ВПК-402 с ТПФН существенно ниже.

13. Разработанный метод рекомендован для применения в системах водяного охлаждения практически всех отраслей промышленности Украины: черная и цветная металлургия, теплоэнергетика, машиностроение, пищевая, текстильная и др. Наи-

более целесообразно использование метода в регионах, где природная вода отличается высокой жесткостью и повышенным содержанием (Донбасс, Крым, Юг и Юго-Запад Украины). Метод включен в отраслевые нормы технологического проектирования объектов водного хозяйства предприятий черной металлургии Украины. Нормы разработаны в 1995 году институтами НИПИ "Энергосталь" (г. Харьков) и Укргипромез (г. Днепропетровск) при участии автора диссертации.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Совершенствование методов предотвращения плотных солевых (карбонатных) отложений: Информ. листок 86-95. - Харьков: ХЦНТИ, 1995 (соавт. Пантелят Г.С.).
2. Новый метод предотвращения карбонатных отложений в системах водяного охлаждения: Информ. листок 66-95. - Харьков: ХЦНТИ, 1995 (соавт. Пантелят Г.С.).
3. Направления совершенствования методов предотвращения плотных солевых (карбонатных) отложений // Водоснабжение и санитарная техника. - 1996. - № 3. - С. 17-18 (соавт. Пантелят Г.С.).
4. Предотвращение карбонатных отложений в системах водяного охлаждения: Информ. листок 149-95. - Харьков: ХЦНТИ, 1995 (соавт. Пантелят Г.С.).
5. Технические решения по переводу системы водяного охлаждения на замкнутый режим работы // Тез. докл. 50-й науч.-техн. конф. ХГТУСА. - Харьков, 1995. - С. 97 (соавт. Пантелят Г.С.).
6. Новая технология стабилизационной обработки воды в системах водяного охлаждения // Тез. докл. 50-й науч.-техн. конф. ХГТУСА. - Харьков, 1995. - С. 102 (соавт. Пантелят Г.С.).

Andronov V.A. Preventing of salt sedimentation in the systems of water cooling of metallurgical units.

Manuscript of Philosophy Doctor Thesis on specialized field 05.23.04 - water supply, sewage systems, Kharkov State Technical University of Building and Architecture, Kharkov, 1996. Thesis contains experimental data that were obtained on laboratory and industrial conditions. These data permit to propose and inculcate new method of preventing of carbonate sedimentation. It was done with the help of the mixture (composition) of TPFN and VPK-402 reagents which doses 0,75 mg/l and 0,08 mg/l correspondingly. Effectiveness of this method makes 95-98 %.

Андронов В.А. Предотвращение солевых отложений в системах водяного охлаждения металлургических агрегатов.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 - водоснабжение, канализация, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков, 1996.

Диссертация содержит экспериментальные данные, полученные в лабораторных и промышленных условиях, которые позволили предложить и внедрить новый метод предотвращения карбонатных отложений с помощью смеси (композиции) реагентов ТПФН и ВПК-402 дозами соответственно 0,75 мг/л и 0,08 мг/л. Эффективность способа 95-98 %.

Ключові слова: система водяного охолодження, сільовий склад, рівноважна лужність, сільові відкладення.

В.Андронов



Ab 3H. 252

Подписано к печати 26.04.96 г. Формат 60 x 84 I/I6  
Ксерокс, наклад. 110 экземпляров. Заказ 536

---

Участок оперативной печати Львовского ГосНИИ УкрВОДГЕО,  
ул. Шевченко, 6.

279545

AB 34.625

**AB 34.625**

Издано в Москве в 1938 г. № 10. Цена 1 руб. 50 коп. 84 1/18  
Москва, издательство ЦОИИ им. С. М. Кирова

Учреждение печати ЦОИИ им. С. М. Кирова.  
Л. Ленинград, 8.