

СОДЕРЖАНИЕ

Совершенствование оборудования тепловых и атомных энергоустановок	7
<u>Абдуллаев А.М., Жуков А.И., Слепцов С.Н. Трехмерный анализ аварии с выбросом ОР СУЗ в реакторе ВВЭР-1000 на номинальной мощности</u>	7
<u>Балашевский А.С., Мирошниченко С.Т. Верификация математической модели струйных распылителей-охладителей в экспериментальных условиях</u>	15
<u>Качур С.А. Моделирование аварийных ситуаций ядерных энергетических установок на основе стохастических сетей Петри</u>	22
<u>Кирияченко В.А., Черкашин А.С., Черкашина Н.И., Радчук И.В. Анализ статистики выхода из строя теплообменных труб парогенератора</u>	29
<u>Максимов М.В., Пелых С.И., Гонтарь Р.Л. Управление свойствами ядерного топлива в переменном режиме нагружения легководного реактора</u>	34
<u>Маловик К.Н. Системное исследование ресурсных характеристик компонентов энергоблоков АЭС</u>	40
<u>Новиков А.И., Савченко В.А. Критерий Био для параметрического анализа влияния загрязнений теплообменной поверхности на теплоотдачу</u>	51
<u>Рудковская Е.В., Омельчук Ю.А., Гомеля Н.Д. Разработка стабилизаторов накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения</u>	55
<u>Федорова С.А., Добровольская И.Ю., Пчельникова О.С. Анализ коррозионных разрушений оборудования первого контура</u>	62
<u>Чуклин А.А., Шевелев Д.В. Влияние учета рециркуляции в парогенераторе на динамику переходных процессов реакторной установки, рассчитанных с помощью кода MELCOR</u>	68
Экологическая безопасность	75
<u>Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Матузаева О.В., Третьякова Л.В. Устройство для обнаружения шума сопровождающего природные и техногенные катастрофы</u>	75
<u>Акимов А.М., Григорьева В.Н., Черкашин А.С. Повышение эффективности технологии кучного выпелачивания урана в целях минимизации отходов горнорудных предприятий</u>	80
<u>Гончаренко Ю.Ю. Модель переноса нерастворимой антропогенной примеси в водной среде</u>	85
<u>Корчмит Ю.В., Подгорная Т.В. Проблемы идентификации и оценки влияния природных и антропогенных факторов на загрязнения рек севастопольского региона</u>	90
<u>Мороз Н.А., Савелий Л.Л., Шевелев Д.В. Применение математического моделирования в экологии для решения вопросов природоохранной деятельности АЭС</u>	98
<u>Сорокін А.М., Чумаченко С.М. Метод експертно-аналітичної оцінки впливу військово-техногенного навантаження від воєнних навчань на акваторіях і територіях морських десантних полігонів</u>	105

Общенаучные и специальные исследования	118
<u>Акимов А.М., Котельникова С.А. Математическая модель сорбции урана в сорбционной колонке с неподвижным слоем ионита</u>	118
<u>Балашевская Ю.В., Герлига В.А., Терещенко Л.И. Извлечение радиоактивного цезия из отработавших ионообменных смол</u>	124
<u>Баранов Г.А., Тархова Э.П., Галушко Н.В. Применение современных биотехнологий для создания биопротекторов, препятствующих деградации строительных и промышленных материалов</u>	129
<u>Бежин Н.А., Довгий И.И. Оптимизация условий атомно-абсорбционного метода определения стронция с использованием электротермической атомизации</u>	133
<u>Буря А.И., Баранов Г.А., Гавриш М.В., Марончук И.И., Смирнов С.Б., Саникович Д.Д. Исследование влияния ультрадисперсного вольфрама в композитах на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена на кратность ослабления γ-квантов</u>	140
<u>Ожиганов Ю.Г., Азаренко Е.В., Родькина А.В., Огородова А.А. Существующие и перспективные системы защиты от коррозионно-механических разрушений подводной поверхности морских судов и сооружений</u>	146
<u>Пухлий В.А., Ковалев Н., Софийский И.Ю. Математическое моделирование процессов воспламенения и самовоспламенения углеводородов в химической кинетике</u>	153
<u>Стригунова М.Н. Исследование и анализ факторов и показателей конкурентоспособности учебных подразделений вуза</u>	162
<u>Храброва Е.А., Омельчук Ю.А., Гомеля Н.Д. Исследования кинетики взаимодействия карбамида с формальдегидом сточных вод предприятий по производству ионообменных смол</u>	171
<u>Черкашина Н.И., Ерофеев В.А., Васина А.В. Кинетика сорбции радионуклидов при различных концентрациях органических и неорганических примесей</u>	180
Информационные системы и технологии	184
<u>Дикусар Ю.Г., Сороколетов А.В. Оперативный расчет параметров настройки и корректирующих элементов автоматических регуляторов</u>	184
<u>Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Стационарные характеристики системы массового обслуживания GI / M / 2 / 0</u>	191
<u>Нимирич А.С. Исследование оптимальной структуры управления процессом аэрации</u>	198
<u>Скидан А.А., Недобой Л.В., Васютенко А.П., Карлов А.Г. Анализ динамической погрешности пневмохронометрических приборов</u>	203
<u>Ястребенецкий М.А., Розен Ю.В., Гашев М.Х. Уроки аварии на АЭС «Фукусима» применительно к информационно-управляющим системам АЭС</u>	208
Гражданская оборона	215

<u>Азаренко Е.В., Дивизинюк М.М., Косовская М.А., Назаренко В.А. Экологический паспорт как средство предотвращения чрезвычайных ситуаций</u>	215
Прикладная физика и математика	221
<u>Бирюков И.Ю., Дивизинюк М.М., Матузаева О.В., Третьякова Л.В. Модели влияния стратифицированной атмосферы на распространение звука</u>	221
<u>Пухлий В.А., Ковалев Н.И., Киргетов В.Д. Физические модели электрона Канарёва и магнона Киргетова и резонансы, связанные с ними</u>	225

Научный журнал

"Збірник наукових праць

Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості"

включен в перечень научных изданий, в которых могут публиковаться

основные результаты диссертационных работ

(Технические науки - постановление президиума ВАК Украины № 1-05/7 от 18.01.2007 г.

Физико-математические науки - постановление президиума ВАК Украины № 1-05/6 від 14.06.2007 г.)

УДК 628.1.034.2

РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗАТОРОВ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ВОДОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Е.В. Рудковская¹, Ю.А. Омельчук¹, Н.Д. Гомеля²

¹Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Проведена оценка эффективности ингибиторов накипеобразования при $t = 60 \dots 90$ °С. В качестве ингибиторов накипеобразования исследовали известные фосфоновые кислоты (ОЭДФК, НТМФК), полифосфатные реагенты (ТПФNa, ГМФNa), а также новые ингибиторы, полученные на основе диметил-лосульфоновой кислоты и метилосульфоноватов.

Введение

Рациональное использование воды в промышленности и энергетике позволит во многом решить проблему сохранения водных ресурсов в Украине. На сегодняшний день энергетика и промышленность потребляют более 50 % общего забора природной воды. Большая часть этой воды используется в системах охлаждения. При этом вследствие низкой стабильности воды по отношению к накипеобразованию и осадкоотложениям значительная часть воды сбрасывается при продувке систем охлаждения.

Часто объемы сбрасываемой воды весьма значительны и для отдельных АЭС достигают $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и более. В сутки при этом сбрасывается порядка 860 тыс. м^3 воды. В целом это приводит к существенному тепловому загрязнению водоемов, к загрязнению водных объектов химическими токсичными веществами, такими как медь, цинк, органическими токсикантами. При этом в промышленных регионах, которые итак относятся к маловодным (например, Донбасс, Приазовье, Причерноморье), создается еще больший дефицит чистой пресной воды.

Поскольку строительство мощных станций водоподготовки требует больших капиталовложений, которых у предприятий зачастую просто нет в наличии, то эксплуатация водооборотных систем охлаждения без ингибиторов осадкоотложения и коррозии металлов просто невозможна.

На сегодня в качестве ингибиторов осадкоотложений при стабилизационной обработке воды широко используют фосфоновые кислоты - оксиэтилидендифосфоновую кислоту (ОЭДФК), нитрилтриметилфосфоновую кислоту (НТМФК) и композиции на их основе. В этих композициях часто используют полиэтиленгликоль, полифосфаты. При этом и фосфоновые кислоты, и композиции на их основе являются дорогими реагентами, что существенно увеличивает затраты предприятий на стабилизационную обработку воды, особенно если учитывать значительные объемы воды, подвергающейся обработке. Из-за низкой стабильности растворов композиций, содержащих ионы цинка и фосфоновые кислоты, сложно получить ингибиторы с высокой эффективностью защиты металлов от коррозии.

Высокая стоимость стабилизаторов является серьезным препятствием к их применению, если учитывать, насколько значительные объемы воды используются в системах охлаждения.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель данной научной работы – разработать эффективные ингибиторы накипеобразования для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать ингибиторы накипеобразования на основе сульфонатов мочевины, гуанидина, меламина и сульфаминовой кислоты;
- изучить процессы накипеобразования в присутствии известных фосфоновых кислот и полифосфатных реагентов, а также в присутствии полученных ингибиторов.

Методы и объекты исследования

В данной работе в качестве среды была использована севастопольская водопроводная вода с высокой жесткостью (до 8,5 мг-экв/дм³) и щелочностью (~ 7...8 мг-экв/дм³). Такая вода весьма нестабильна по отношению к накипеобразованию. Как ингибиторы накипеобразования кроме известных фосфонатов - оксиэтилидендифосфоновой кислоты и нитрилтриметилфосфоновой кислоты - были использованы более дешевые отечественные полифосфатные реагенты, такие как триполифосфат натрия (ТПФNa), гексаметафосфат натрия (ГМФNa).

Кроме того, на основе тиокарбамида был получен тетраметиленсульфонат тиокарбамид (МС-1), на основе карбамида получен тетраметиленсульфонат карбамид (МС-2), из меламина был получен сульфонат МС-3, а гуанидина – МС-4. Добавки МС-5 и МС-6 получены из сульфаминовой кислоты. Добавка МС-6 - это композиция на основе МС-5 и Zn^{2+} . Кроме того, использовали диметилфосфиновую кислоту (№ 49) и натриевую соль диметилсульфонатфосфиновой кислоты (№ 50).

Для проведения исследований по оценке эффективности накипеобразования в севастопольской водопроводной воде ($pH = 7,95$; $J_{общ} = 7,7$ мг-экв/дм³) использовали термостат, температура поддерживалась строго 60 °С или 90 °С. Пробы воды в объеме 100 мл и пробы воды, обработанные стабилизаторами, помещались в термостат с $t = 60$ °С и 90 °С, выдерживались в течение 6 часов при этих температурах. Ингибиторы накипеобразования использовались в дозах 2...50 мг/дм³, после охлаждения пробы фильтровали и определяли остаточную жесткость воды.

Стабилизационный эффект рассчитывали по формуле

$$СЭ = \left(1 - \frac{\Delta J_i}{\Delta J} \right) \cdot 100\% ; \quad (1)$$

$$\Delta J_i = J - J_i ; \quad \Delta J = J - J_{ост} ,$$

где СЭ – стабилизационный эффект, %;

ΔJ – снижение жесткости в холостом опыте, мг-экв/дм³;

ΔJ_i – снижение жесткости в опыте с ингибитором накипеобразования;

J – жесткость исходной воды, мг-экв/дм³;

$J_{ост}$ – остаточная жесткость в холостой пробе, мг-экв/дм³;

J_i – остаточная жесткость в пробе со стабилизатором, мг-экв/дм³.

Противонакипный эффект (ПЭ) рассчитывали по формуле

$$ПЭ = \frac{J_i}{J} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Результаты исследований

Оценка эффективности разработанных стабилизаторов накипеобразования является сложной задачей. На сегодня описаны и отработаны методики оценки стабилизаторов отложения при высоких температурах – 80...100 °С. Однако метилсульфонаты при таких температурах разлагаются и, очевидно, будут малоэффективными. С другой стороны, большинство систем охлаждения работают при максимальных температурах 30...40 °С (иногда 60 °С). Но испытывать при данных температурах ингибиторы довольно сложно, потому что при низких температурах жесткость воды в холостых опытах мало изменяется при времени испытаний до 8...10 ч, что не дает возможности оценить действие ингибиторов. Увеличение времени испытаний приводит к значительному замедлению процессов испытаний.

Но дестабилизировать воду можно не только за счет повышения температуры, а и за счет обработки воды щелочными реагентами [1, 2]. Поэтому в работе были проведены испытания ингибиторов при добавлении щелочи при разных температурах. Результаты испытаний ОЭДФК приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Влияние ОЭДФК на стабильность севастопольской водопроводной воды при обработке воды щелочью, при нагревании в течение 5 часов температуре 60 °С и 90 °С

$t, ^\circ\text{C}$	Доза NaOH , мг-экв/дм ³	Доза ОЭДФК, мг/дм ³	$\text{Ж}_{\text{нач}}$, мг-экв/дм ³	$\text{Ж}_{\text{кон}}$, мг-экв/дм ³	$\Delta\text{Ж}$, мг-экв/дм ³	СЭ, %	ПЭ, %
1	2	3	4	5	6	7	8
90	0,2	0	7,7	4,0	3,7	—	—
90	0,2	2	7,7	7,6	0,1	97,3	98,7
90	0,2	3	7,7	7,6	0,1	97,3	98,7
90	0,2	5	7,7	7,4	0,3	92,0	96,1
90	0,2	10	7,7	6,2	1,5	60,0	80,5
90	0,2	20	7,7	6,7	1,0	73,0	87,0
90	0,2	50	7,7	6,4	1,3	65,0	83,1
60	0,2	0	7,7	4,6	3,1	—	—
60	0,2	2	7,7	7,4	0,3	90,3	96,1
60	0,2	3	7,7	7,6	0,1	96,7	98,7
60	0,2	5	7,7	7,6	0,1	96,7	98,7
60	0,2	10	7,7	7,7	0,0	100,0	100,0
60	0,2	20	7,7	6,4	1,3	58,1	83,1
60	0,3	0	7,7	3,4	4,3	—	—
60	0,3	2	7,7	7,0	0,7	83,7	90,9
60	0,3	3	7,7	7,2	0,5	88,4	93,5
1	2	3	4	5	6	7	8
60	0,3	5	7,7	7,4	0,3	93,0	96,1
60	0,3	10	7,7	7,3	0,4	90,7	94,8
60	0,3	20	7,7	7,3	0,4	90,7	94,8
60	0,3	50	7,7	6,6	1,1	74,4	85,7
60	0,4	0	7,7	2,8	4,9	—	—
60	0,4	3	7,7	6,0	1,7	65,3	77,9
60	0,4	5	7,7	6,4	1,3	73,5	83,1
60	0,4	10	7,7	6,8	0,9	81,6	88,3
60	0,4	20	7,7	5,0	2,7	44,9	64,9
60	0,4	50	7,7	4,4	3,3	32,7	57,1

Как видно из табл. 1, лучшие результаты получены при расходе щелочи 0,3 мг-экв/дм³ при 60 °С. В этих условиях достигнуто снижение жесткости в холостом опыте 4,3 мг-экв/дм³ при удовлетворительной эффективности широко используемого известного стабилизатора ОЭДФК. При большем расходе извести стабилизатор малоэффективен во всем диапазоне концентраций. Очевидно, что и другие стабилизаторы в данных условиях работать не будут.

Кроме ОЭДФК в данных условиях была испытана НТМФК и ее композиция с цинком. Как видно из табл. 2, все ингибиторы были эффективными уже при дозе 2 мг/дм³.

Т а б л и ц а 2

Зависимость стабильности севастопольской водопроводной воды от дозы фосфоновой кислоты при расходе щелочи 0,3 мг-экв/дм³ при нагревании при 60 °С в течении 6 часов

Ингиби- тор	Доза, мг/дм ³	C _{Ca} , мг-экв/дм ³		C _{Mg} , мг-экв/ дм ³		Ж _{нач} , мгэкв/ дм ³	Ж _{кон} , мгэкв/ дм ³	ΔЖ, мгэкв/ дм ³	СЭ, %	ПЭ, %
		до	после	до	после					
—	0	6,0	1,8	1,7	0,8	7,7	3,4	4,3	—	—
ОЭДФК	2	6,0	6,0	1,7	1,0	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	5	6,0	6,0	1,7	1,4	7,7	7,4	0,3	93,02	96,1
	10	6,0	6,0	1,7	1,3	7,7	7,3	0,4	90,70	94,8
	20	6,0	6,0	1,7	1,3	7,7	7,3	0,4	90,70	94,8
	50	6,0	5,0	1,7	1,6	7,7	6,6	1,1	74,42	85,7
НТМФК	2	6,0	6,0	1,7	1,6	7,7	7,6	0,3	93,02	98,7
	5	6,0	6,0	1,7	1,4	7,7	7,4	0,2	95,34	96,1
	10	6,0	6,0	1,7	1,6	7,7	7,6	0,1	97,67	98,7
	20	6,0	5,9	1,7	1,1	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	50	6,0	5,6	1,7	0,6	7,7	6,2	1,5	65,11	80,5
НТМФК+ Zn ²⁺	2; 2	6,0	4,4	1,7	1,7	7,7	6,0	1,7	69,76	77,9
	5; 2	6,0	5,6	1,7	1,6	7,7	7,2	0,5	88,37	93,5
	10; 2	6,0	6,0	1,7	1,4	7,7	7,4	0,3	93,02	96,1
	20; 2	6,0	5,3	1,7	1,7	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	50; 2	6,0	4,7	1,7	1,7	7,7	6,4	1,3	69,77	83,1

Интересно отметить, что при обработке воды щелочью (расход 0,3 мг экв/дм³) при 60 °С в холостой пробе снижается содержание не только кальция, но и магния, хотя рН в воде не превышает 8,5. В этих условиях магний не гидролизует до Mg(OH)₂, а значит, он выпадает в виде карбоната. При использовании стабилизаторов концентрация кальция остается неизменной и снижается только концентрация магния. Это обусловлено тем, что кальций образует более устойчивые хелатные структуры с фосфонатами по сравнению с магнием. И только в присутствии цинка отмечено снижение концентрации кальция, вероятно, из-за большей устойчивости комплексов с цинком по сравнению с кальцием.

Полифосфаты в данных условиях также обеспечивали высокую стабильность воды (табл. 3). Однако высокой селективности по отношению к кальцию в данном случае отмечено не было.

Следует отметить, что разработанный нами комплекс на основе фосфиновой кислоты (№ 50) оказался более эффективным не только по сравнению с полифосфатами, но и с фосфиновыми кислотами. Данный ингибитор, учитывая то, что его легко можно получить из гипофосфита натрия или кальция параформа, сульфита натрия, мо-

жет быть значительно дешевле НТМФК и ОЭДФК. Кроме того, он устойчив в присутствии солей цинка, что позволит разрабатывать на его основе эффективные ингибиторы коррозии и накипеобразования.

Т а б л и ц а 3

Влияние на стабильность севавтопольской водопроводной воды полифосфатов и натриевой соли дисметилсульфонатфосфиновой кислоты при расходе щелочи 0,3 мгэкв/дм³ при нагревании при 60 °С в течение 6 часов

Ингиби- тор	Доза, мг/дм ³	C _{Ca} , мгэкв/дм ³		C _{Mg} , мгэкв/ дм ³		Ж _{нач} , мгэкв/ дм ³	Ж _{кон} , мгэкв/ дм ³	ΔЖ, мгэкв/ дм ³	СЭ, %	ПЭ, %
		до	после	до	после					
—	—	6,0	1,8	1,7	0,8	7,7	3,4	4,3	—	—
ГМФNa	2	6,0	5,6	1,7	0,8	7,7	6,4	1,3	69,76	83,1
	3	6,0	6,0	1,7	1,0	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	5	6,0	5,5	1,7	1,5	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	10	6,0	5,4	1,7	1,4	7,7	6,8	0,9	79,06	88,3
	20	6,0	5,9	1,7	1,7	7,7	7,6	0,1	97,67	98,7
	50	6,0	4,6	1,7	1,6	7,7	6,2	1,5	65,12	80,5
ТПФNa	2	6,0	3,1	1,7	1,6	7,7	4,6	3,1	27,90	—
	3	6,0	5,1	1,7	1,7	7,7	6,8	0,9	79,07	88,3
	5	6,0	5,7	1,7	1,7	7,7	7,4	0,3	93,02	96,1
	10	6,0	5,3	1,7	1,7	7,7	7,0	0,7	83,72	90,9
	20	6,0	5,5	1,7	1,7	7,7	7,2	0,5	88,37	93,5
	50	6,0	4,6	1,7	1,6	7,7	6,2	1,5	65,12	80,5
№ 50	2	6,0	5,9	1,7	1,7	7,7	7,6	0,1	97,67	98,7
	3	6,0	5,9	1,7	1,7	7,7	7,6	0,1	97,67	98,7
	5	6,0	5,9	1,7	1,7	7,7	7,6	0,1	97,67	98,7
	10	6,0	5,7	1,7	1,7	7,7	7,4	0,3	93,02	96,1
	20	6,0	5,5	1,7	1,7	7,7	7,2	0,5	88,37	93,5
	50	6,0	4,8	1,7	1,4	7,7	6,2	1,5	65,12	80,5

Высокую эффективность комплексон № 50 обеспечил, наряду с ОЭДФК при 60 °С в водопроводной воде без добавления щелочи (табл. 4).

Несмотря на то, что в холостом опыте снижение жесткости достигло только 1,7 мгэкв/дм³, что затрудняет определить влияние ингибиторов на процесс осадкоотложения, высокая эффективность ОЭДФК и комплексона № 50 была заметна. Малоэффективной в данных условиях была фосфиновая кислота (№ 49).

Следует отметить, что эффективность комплексона № 50 как ингибитора накипеобразования не зависит от дозы. Поэтому его целесообразно использовать в концентрациях ~ 2 мг/дм³. В целом разработанный ингибитор не уступает по эффективности известным фосфоновым кислотам – ОЭДФК и НТМФК.

Также довольно посредственные результаты были получены при использовании сульфонов MS-2 – MS - 6 (табл. 5).

Наиболее эффективным был ингибитор MS-2, полученный из доступного и дешевого карбамида.

Следует отметить, что эффективность данных ингибиторов не зависит от использованных концентраций. Только добавка MS-6 не работает при дозах 2 и 3 мг/дм³. Наоборот, MS-2 обеспечивает максимальную эффективность при дозах 2 и 3 мг/дм³.

Т а б л и ц а 4

**Оценка эффективности ингибиторов на основе фосфоновой и фосфиновых кислот
при стабилизации водопроводной воды при 60 °С (t = 6 ч)**

Ингибитор	Доза, мг/дм ³	Ж _{нач} , мгЭКВ/ дм ³	Ж _{кон} , мгЭКВ/ дм ³	ΔЖ мгЭКВ/ дм ³	СЭ, %	ПЭ, %
ОЭДФК	0	7,7	6,00	1,7	—	—
	2	7,7	7,70	0,0	100,0	100,0
	3	7,7	7,70	0,0	100,0	100,0
	5	7,7	7,70	0,0	100,0	100,0
	20	7,7	7,50	0,2	88,2	97,4
	50	7,7	6,80	0,9	47,1	88,3
№ 49	0	7,7	6,00	1,70	—	—
	2	7,7	6,00	1,40	15,0	81,8
	3	7,7	6,40	1,30	21,0	83,1
	5	7,7	6,45	1,25	26,0	83,8
	10	7,7	6,60	1,10	37,0	85,7
	20	7,7	6,68	1,02	40,0	86,8
	50	7,7	6,83	0,87	49,0	88,7
№ 50	0	7,7	6,00	1,7	—	—
	2	7,7	7,60	0,1	94,1	98,7
	3	7,7	7,60	0,1	94,1	98,7
	5	7,7	7,60	0,1	94,1	98,7
	10	7,7	7,40	0,3	82,4	96,1
	20	7,7	7,20	0,5	70,6	93,5
	50	7,7	6,20	1,5	11,8	80,5

Т а б л и ц а 5

Оценка влияния сульфонов на стабильность водопроводной воды при 60 °С (t = 6 ч)

Ингибитор	Доза мг/дм ³	Ж _{нач} , мгЭКВ/ дм ³	Ж _{кон} , мгЭКВ/ дм ³	ΔЖ мгЭКВ/ дм ³	СЭ, %	ПЭ, %
МС-2	0	7,7	6,0	1,7	—	—
	2	7,7	7,0	0,7	58,82	90,9
	3	7,7	7,0	0,7	58,82	90,9
	5	7,7	6,8	0,9	47,06	88,3
	20	7,7	6,8	0,9	47,06	88,3
	50	7,7	4,2	3,5	0,00	54,5
МС-3	0	7,5	6,2	1,3	23,53	80,5
	2	7,5	6,6	0,9	47,05	85,7
	3	7,5	6,5	1,0	41,18	84,4
	5	7,5	6,4	1,1	35,29	83,1
	20	7,5	6,6	0,9	47,05	85,7
	50	7,5	6,6	0,9	47,05	85,7
МС-4	0	7,7	6,8	0,9	47,05	88,3
	2	7,7	6,8	0,9	47,05	88,3
	3	7,7	6,6	1,1	35,29	85,7
	5	7,7	6,6	1,1	35,29	85,7
	20	7,7	6,4	1,3	23,52	83,1
	50	7,7	6,4	1,3	23,52	83,1
МС-5	2	7,5	6,4	1,1	35,29	83,1
	3	7,5	6,2	1,3	23,52	80,5
	5	7,5	6,4	1,1	35,29	83,1
	20	7,5	6,2	1,3	23,52	80,5
	50	7,5	6,2	1,3	23,52	80,5
МС-6	2	7,7	6,0	1,7	0,00	77,9
	3	7,7	6,0	1,7	0,00	77,9
	5	7,7	6,6	1,1	35,30	85,7
	20	7,7	7,0	0,7	58,80	90,9
	50	7,7	6,6	1,1	35,30	85,7

Выводы

1. Показано, что фосфоновые кислоты и полифосфаты обеспечивают высокую стабильность воды при 60 °С в водопроводной воде при расходе щелочи 0,3 мг-экв/дм³ при дозах ингибиторов 2...50 мг/дм³.

2. Установлено, что комплексон № 50 является высокоэффективным ингибитором накипеобразования в водопроводной воде при 60 °С без использования щелочи, при расходе щелочи 0,3 мг-экв/дм³. При дозе 2 мг/дм³ стабилизационный эффект достигал 94...98 %.

3. Разработаны ингибиторы накипеобразования на основе сульфонатов мочевины, гуанидина, меламина и сульфаминовой кислоты. Показано, что они малоэффективны при 60 °С. В отдельных случаях стабилизационный эффект достигал 95...97 %.

Очень важной, наряду с проблемой накипеобразования, является проблема защиты металлов от коррозии в водной среде. При этом необходимо защищать от коррозии коммуникации и оборудование как в системах охлаждения, так и в энергетических системах, где используется умягченная или обессоленная вода, нагретая до высоких температур.

Поэтому в дальнейшем планируется изучение влияния разработанных добавок на процессы коррозии.

РОЗРОБКА СТАБІЛІЗАТОРІВ НАКИПОУТВОРЕННЯ ДЛЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ВОДООБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

О.В. Рудковська, Ю.А. Омельчук, М.Д. Гомеля

Оцінено ефективність інгібіторів накипоутворення при $t = 60...90$ °С. Як інгібітори накипоутворення досліджено відомі фосфонові кислоти (ОЕДФК, НТМФК), поліфосфатні реагенти (ТПФNa, ГМФNa), а також нові інгібітори, отримані на основі диметилосульфонові кислоти і метилосульфонатів.

DEVELOPMENT of SCALING STABILIZERS for RESOURCE-SAVING WATER-CYCLED COOLING SYSTEMS

E. Rudkovskaya, Yu. Omelchuk, N. Gomelya

It was evaluated the effectiveness of scaling inhibitors at $t = 60...90$ °C. Known phosphonic acids, polyphosphate reagents as well as new inhibitors derived from the dimethylolsulphonic acid and methylolsulphonates have been investigated as scaling inhibitors.

Список использованных источников

1. Амосова Э.Г. Разработка и внедрение усовершенствованного метода реагентного умягчения воды / Э.Г. Амосова, Р.И. Гутникова, А.Х. Берелович // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. «Очистка природных и сточных вод». – М., 1989. – С. 21.

2. Гомеля Н.Д. Умягчение воды отработанными щелочными растворами травления алюминия / Н.Д. Гомеля, Т.О. Шаблий, Ю.В. Находько // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 4. – С. 43 - 46.

3. Гомеля Н.Д. Использование отходов щелочного травления алюминием для кондиционирования воды / Н.Д. Гомеля, Т.О. Шаблий // Сб. науч. тр. – Одесса: ОЦ-НТЭИ, 1999. – С. 105 - 107.

Надійшла до редакції 16.11.11 р.