

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК 628.1.034.2:66

ШЕСТАК
Ирина Васильевна

**ВОДОПОДГОТОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ В СИСТЕМАХ
ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 25.03.13 – геоэкология

Минск, 2019

Научная работа выполнена в государственном научном учреждении
«Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси»

Научный руководитель **Воробьева Елена Викторовна**, доктор химических наук, доцент, заведующий лабораторией полимерсодержащих дисперсных систем государственного научного учреждения «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси»

Официальные оппоненты: **Жогло Василий Гаврилович**, доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией гидрогеологии и гидроэкологии государственного научного учреждения «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси»;

Гуринович Анатолий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры экономики строительства Белорусского национального технического университета


Оппонирующая организация Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится «12» февраля 2019 года в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.23.01 при государственном научном учреждении «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси», 220114, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 10, e-mail:nature@ecology.basnet.by, тел. 267-41-40, факс 267-24-13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного научного учреждения «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси».

Автореферат разослан «09» января 2019 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



С. И. Коврик

ВВЕДЕНИЕ

Общее водопотребление в Республике Беларусь составляет около 1300 млн м³ в год, из них более 30 % расходуется на нужды различных отраслей промышленности (данные 2016 г.). В структуре промышленного водопотребления 70–90 % от общего объема воды используется в оборотных охлаждающих системах.

Для предотвращения образования накипи, коррозии, микробиологических отложений циркулирующая вода в системах оборотного водоснабжения постоянно обновляется путем замены на свежую «подпиточную» воду из природных источников. Учитывая значительные объемы циркулирующей воды в системах оборотного водоснабжения крупнейших химических и нефтехимических предприятий страны (ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Могилевхимволокно», ОАО «Нафтан» и др.), составляющие для каждого предприятия тысячи кубометров в час, для их подпитки требуется несколько миллионов кубометров воды в год.

Уменьшение объемов подпиточной воды в системах оборотного водоснабжения приводит к росту концентрации солей и образованию осадка, в первую очередь, карбонатов кальция и магния. Солеотложение в теплообменном оборудовании являются причиной снижения теплопередачи, нарушения параметров основного технологического процесса, увеличения гидравлического сопротивления в трубопроводах, энергозатрат, возрастания риска аварийных ситуаций. Реконструкция и перевод действующих систем оборотного водоснабжения химических предприятий на использование очищенных сточных вод предприятий с целью снижения расхода природной воды сопровождается значительным изменением химического состава воды, что усугубляет проблемы осадкообразования в системе.

Одним из основных химических методов предотвращения осадкообразования в системах оборотного водоснабжения является использование ингибиторов осадкообразования, которые замедляют кристаллизацию карбонатов кальция и магния. К наиболее широко распространенным и эффективным ингибиторам относятся фосфонаты, в частности, соли оксиэтилидендифосфоновой и нитрилотриметилфосфоновой кислот. Существенным препятствием для использования фосфонатов является их негативное влияние на биологическое состояние природных водотоков (эвтрофикация), куда они попадают с водой, сбрасываемой из систем оборотного водоснабжения. В связи с этим важной задачей является поиск новых эффективных и экологически безопасных ингибиторов осадкообразования.

Особенностью химической обработки воды в системах оборотного водоснабжения является сложная зависимость эффективности ингибирующего действия реагентов от свойств и состава (рН, температура, жесткость, щелочность, концентра-

ция солей и др.) подпиточной и циркулирующей воды. Вопросы целенаправленного регулирования водно-химического состояния систем оборотного водоснабжения в условиях, обеспечивающих уменьшение расхода природной воды, поступающей на подпитку в данные системы, остаются мало изученными.

Актуальность диссертационной работы состоит в разработке новых эффективных и нетоксичных ингибиторов осадкообразования и способов водоподготовки подпиточной воды для рационального использования водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационная работа соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 гг., которые утверждены Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166 (п. 8. Рациональное природопользование и глубокая переработка природных ресурсов: устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды), а также приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190 (п. 10. Экология и природопользование).

Диссертационная работа выполнялась в лаборатории полимерсодержащих дисперсных систем государственного научного учреждения «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси» в рамках ГПНИ «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал», задание 1.02 «Закономерности процессов стабилизации, флокуляции, структурообразования водных и солевых дисперсных систем полимерами и их композициями с целью разработки комплексных технологий, направленных на повышение эффективности химико-технологических процессов переработки минерального сырья» (2011–2016 гг., № гос. регистрации 20111930); ГПНИ «Химические технологии и материалы» подпрограмма 2.1. «Новые химические технологии и продукты», задание 1.02 «Особенности процесса кристаллизации солей калия, натрия, кальция, магния в сложных солевых системах в присутствии органических добавок» (2016–2020 гг., № гос. регистрации 20160219); ГНТП «Химические технологии и производства» подпрограмма «Научно-техническое обеспечение нефтяной и химической промышленности», задание 1 «Разработать технологию производства новых реагентов для защиты водооборотных циклов» (2006–2009 гг., № гос. регистрации 20065799).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – разработать высокоэффективные ингибиторы осадкообразования на основе водорастворимых

полимеров и способ водоподготовки для снижения расхода воды в системах оборотного водоснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить влияние природы и концентрации различных ингибиторов (карбоксил- и гидроксилсодержащие полимеры, фосфонаты) на образование осадка карбонатов кальция и магния;

- обосновать выбор ингибиторов осадкообразования на основе полиакриловой кислоты, полиэтиленгликоля с различной молекулярной массой и их смесей;

- исследовать фазовый состав и структуру карбонатов кальция и магния, полученных в присутствии полиакриловой кислоты, полиэтиленгликоля и их смеси;

- разработать состав ингибитора осадкообразования на основе полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля и показать эффективность ингибирующего действия в системах оборотного водоснабжения;

- обосновать технологические параметры системы оборотного водоснабжения с использованием воды из подземного источника при введении разработанного ингибитора осадкообразования;

- разработать способ водоподготовки, основанный на введении ингибиторов осадкообразования на основе карбоксилсодержащих полимеров в воду, поступающую на подпитку в системы оборотного водоснабжения из природных источников и с частичной заменой подпиточной воды очищенными сточными водами предприятия.

Объекты исследования – модельные водные растворы, содержащие неорганические соли кальция и магния; вода из природных источников и очистных сооружений.

Предмет исследования – образование осадка карбонатов кальция и магния, его фазовый состав, свойства и структура в системах оборотного водоснабжения в присутствии ингибиторов осадкообразования на основе водорастворимых полимеров.

Научная новизна:

- установлены закономерности влияния водорастворимых полимеров на образование осадка карбонатов кальция и магния в зависимости от природы, концентрации и молекулярной массы полимеров, состоящие в увеличении индукционного периода осадкообразования и агрегативной устойчивости дисперсии;

- выявлен синергетический эффект действия смеси полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля, проявляющийся в уменьшении скорости осадкообразования и увеличении агрегативной устойчивости осадка карбонатов кальция и магния по сравнению с полимерами по отдельности;

– установлены закономерности кристаллизации карбонатов кальция и магния в присутствии полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля, заключающиеся в изменении фазового состава осадка, формы и размеров кристаллов;

– предложен механизм ингибирующего действия карбоксилсодержащих полимеров, основанный на взаимодействии анионных групп полимера с катионами кальция и магния и участии полимера в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности влияния водорастворимых полимеров на образование осадка карбонатов кальция и магния в системах оборотного водоснабжения, заключающиеся в снижении скорости осадкообразования и повышении агрегативной устойчивости осадка, позволившие разработать ингибитор осадкообразования на основе полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля с соотношением компонентов 1 : (0,75–1,25).

2. Закономерности образования осадка карбонатов кальция и магния в присутствии полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля, состоящие в изменении формы и размеров кристаллов, фазового состава и интенсивности полос поглощения в ИК-спектрах карбонатной группы вследствие участия полимеров в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния.

3. Способ водоподготовки с использованием ингибиторов осадкообразования на основе водорастворимых карбоксилсодержащих полимеров, обеспечивающий снижение скорости образования осадка карбонатов кальция и магния и повышение агрегативной устойчивости дисперсии в системах оборотного водоснабжения. Разработанный способ позволяет уменьшить расход подпиточной воды на 400 тыс. м³/год для системы с объемом циркулирующей воды 300 м³ с подпиткой из подземного источника и для системы оборотного водоснабжения с объемом циркулирующей воды 40 тыс. м³ и заменой (от 25 до 75 %) подпиточной воды на очищенные сточные воды предприятия – от 2,1 до 6,3 млн м³/год.

Личный вклад соискателя. Соискатель провел поиск и анализ научной и патентной литературы, принимал непосредственное участие в постановке задач исследования, разработке методик, планировании и проведении экспериментов, интерпретации полученных результатов, подготовке публикаций и представлении результатов на конференциях; участвовал в опытных и промышленных испытаниях. Научным руководителем оказывалась консультативная помощь в выборе методологии исследований, интерпретации экспериментальных данных, подготовке публикаций.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 11-м и 12-м симпозиумах молодых учёных-химиков (Германия, г. Эссен, 2009 и г.

Гёттинген, 2010); V, VI и XIII международных конференциях молодых учёных «Современные проблемы науки о полимерах» (РФ, Санкт-Петербург, 2009, 2010, 2017); Всеукраинской конференции с участием иностранных ученых «Химия, физика и технология модифицированной поверхности» (Украина, Киев, 2009), «Актуальные проблемы химии и физики поверхности» (Украина, Киев, 2011), «Актуальные проблемы экологии» (РБ, Гродно, 2017), XX, XXI Всероссийских конференциях молодых ученых-химиков с международным участием (РФ, Нижний Новгород, 2017, 2018).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе 5 статей – в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень научных изданий, утвержденный ВАК Республики Беларусь; 9 статей – в других рецензируемых научных изданиях (общий объём 6,3 авторских листа), 11 тезисов докладов. Общее число авторских листов – 7,03. Новизна технических решений, представленных в диссертационной работе, подтверждена 2 патентами Республики Беларусь и 1 патентом Евразии.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из перечня сокращений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Полный объем диссертации составляет 144 страницы. Работа содержит 35 рисунков на 38 страницах, 22 таблицы на 24 страницах, 5 приложений на 6 страницах. Библиографический список на 16 страницах включает 185 наименований, в том числе 25 публикаций соискателя.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе представлены результаты анализа литературы по вопросам использования водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения предприятий, а также современных методов очистки воды. Выделены две основные мировые тенденции решения проблемы рационального использования водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения: развитие направления химической водоподготовки и введение в системы оборотного водоснабжения очищенных сточных вод предприятий.

По результатам анализа сделан вывод об актуальности разработки новых ингибиторов осадкообразования, эффективных и безопасных с точки зрения экологии, исследования их влияния на процессы кристаллизации карбонатов кальция и магния для получения новых сведений о механизме ингибирующего действия, а также способов водоподготовки, позволяющих целенаправленно регулировать водно-химическое состояние систем оборотного водоснабжения и снизить расход природной воды. На основании результатов анализа литературных данных сформулирована цель диссертационной работы.

Во второй главе описаны использованные в работе методы: рентгенофазовый анализ, электронно-сканирующая микроскопия, атомно-абсорбционная спектроскопия, ИК-, Фурье-спектроскопия. Использован метод определения индукционного периода осадкообразования карбонатов кальция и магния на лабораторном оборудовании РМАС SCL-30P-2A, моделирующем динамические условия работы водооборотных систем. Проведена его метрологическая оценка с использованием статистических методов обработки результатов экспериментов в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 8.207–76, МИ 2336-2002, СТБ ИСО5725-1(2)-2002). Диспергирующая способность реагентов (ДС), характеризующая агрегативную устойчивость дисперсии осадка, исследована фотоколориметрическим методом.

Для расчета параметров водно-химического состояния оборотных охлаждающих систем (коэффициент упаривания K_u , индексы Ланжелье LSI, Ризнара RI, Ларсона-Скольда, фосфатный индекс PSI) использовали данные текущего состояния системы оборотного водоснабжения, обработанные с применением прикладной программы «MatLab».

В третьей главе приведены результаты исследования образования осадка карбонатов кальция и магния в присутствии водорастворимых полимеров. На примере модельной системы, содержащей соли кальция (168 мг/дм^3) и магния (28 мг/дм^3), pH 8,5; температура 80°C установлено, что индукционный период осадкообразования увеличивается в большей степени при введении водорастворимых полимеров с карбоксильными функциональными группами (полиакриловой кислоты (ПА), полиметакриловой кислоты (ПМА), полималеиновой кислоты (ПМК), сополимера акриловой и малеиновой кислот (СП) по сравнению с полиэтиленгликолем (ПЭГ), поливиниловым спиртом (ПВС) и фосфонатами (таблица 1). При этом наиболее эффективным ингибитором осадкообразования из исследованных является полиакриловая кислота, увеличивающая индукционный период осадкообразования от 1,8 до 8,4 раза при содержании в системе от 0,1 до $10,0 \text{ мг/дм}^3$ по сравнению с системой без реагентов и в 4,1–4,5 раза при увеличении pH до 10,0. Показано, что индукционный период осадкообразования максимален в диапазоне молекулярной массы полиакриловой кислоты от 3000 до 6000.

Ингибирующее действие ПА предположительно основано на взаимодействии диссоциированных карбоксильных групп с катионами кальция и магния и участии полимера в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния.

Установлено, что адсорбция полиакриловой кислоты на кристаллах карбонатов кальция и магния зависит от молекулярной массы (ММ) полимера и увеличивается в диапазоне от 3000 до 6000.

Таблица 1. – Индукционный период осадкообразования в зависимости от вида и содержания в системе реагентов (без реагентов 23 мин)

Вводимые реагенты	Содержание реагентов в системе, мг/ дм ³						
	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	12,0
Индукционный период осадкообразования, мин							
ПМК	40	92	101	152	163	180	182
ПА	42	98	105	158	177	195	195
ПМА	40	95	99	145	164	182	189
СП	41	97	98	152	172	183	192
ПЭГ	24	26	28	29	30	32	32
ПВС	23	25	28	28	32	32	34
ТПФ(*)	32	65	75	76	78	79	80
АТМФ(**)	36	60	85	114	126	129	128
ФБТК(***)	46	75	102	148	163	165	165
ОЭДФ(****)	40	63	95	134	144	144	145

* – триполифосфат натрия;

** – аминотриметиленофосфоновая кислота;

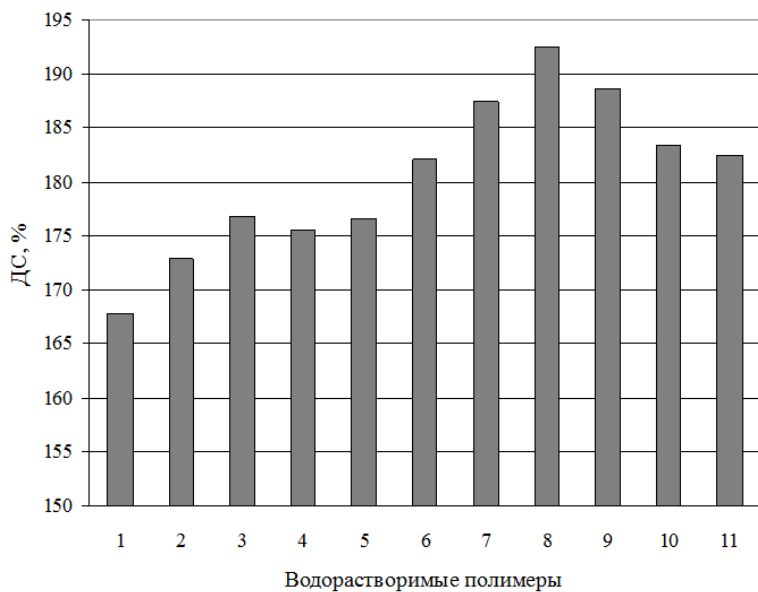
*** – фосфобутан–1,2,4–трикарбоновая кислота;

**** – натриевая соль гидроксидиэтилендифосфоновой кислоты

Поскольку изотермы адсорбции ПА состоят из участка резкого увеличения адсорбции при малых концентрациях полимера и плато, можно предположить, что процесс адсорбции обусловлен электростатическим взаимодействием диссоциированных карбоксильных групп полимера с ионами кальция и магния. Показано, что адсорбция ПА на поверхности карбонатов кальция и магния приводит к уменьшению (по модулю) значений электрокинетического потенциала частиц карбонатов кальция.

Результаты исследования агрегативной устойчивости дисперсии осадка карбонатов кальция и магния при введении полимеров показали, что диспергирующая способность реагентов увеличивается в большей степени при введении полиэтиленгликоля: от 100 (система без реагентов) до 180–190 % (рисунок 1).

При введении в систему смеси полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля с молекулярной массой от 3000 до 6000 и от 1000 до 3000, соответственно, при одинаковом содержании полимерного ингибитора (0,1 мг/дм³) индукционный период осадкообразования увеличивается в среднем в 1,7 раза по сравнению с компонентами по отдельности и в 2,0–2,3 раза по сравнению с системой без реагентов (рисунок 2).

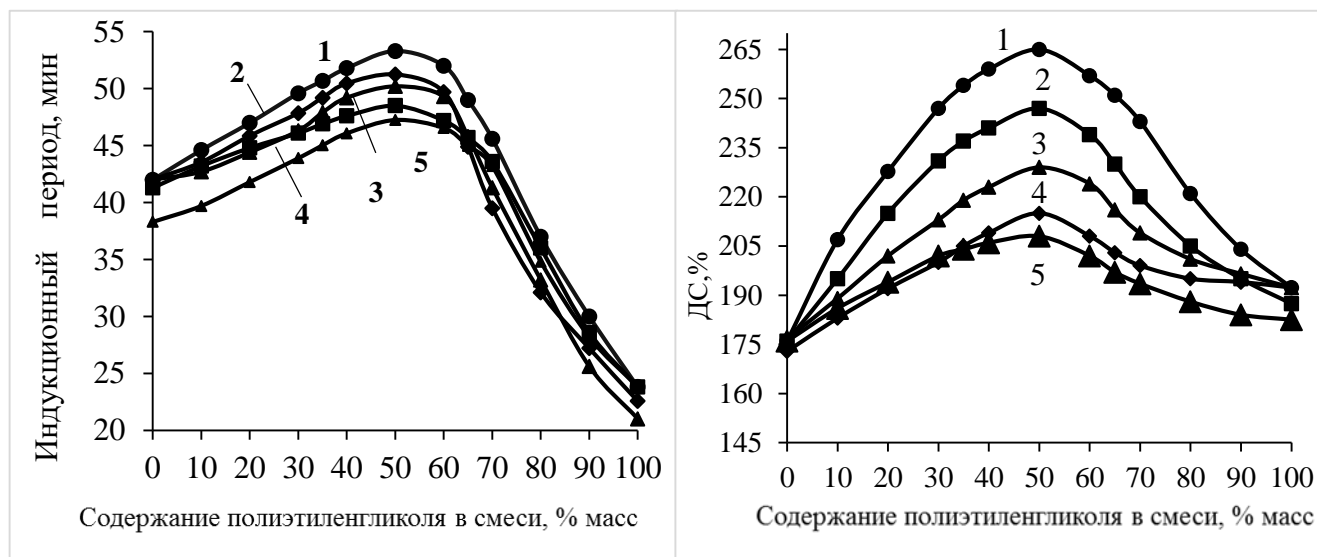


1 – ПА₁₀₀₀; 2 – ПА₃₀₀₀; 3 – ПА₄₀₀₀; 4 – ПА₅₀₀₀;
 5 – ПМА₄₀₀₀; 6 – СП₃₀₀₀; 7 – ПЭГ₄₀₀; 8 – ПЭГ₂₀₀₀;
 9 – ПЭГ₄₀₀₀; 10 – ПВС₂₀₀₀; 11 – ПВС₄₀₀₀

Рисунок 1. – Диспергирующая способность водорастворимых полимеров (содержание 1 мг/дм³) в системе с осадком карбонатов кальция и магния

Агрегативная устойчивость дисперсии карбонатов увеличивается при введении в систему смеси ПА и ПЭГ с различной молекулярной массой: агрегативная устойчивость возрастает в среднем в 1,4 раза по сравнению с компонентами по отдельности и в 2,1–2,7 раза по сравнению с системой без реагентов.

В связи с тем, что адсорбция макромолекул полиакриловой кислоты обусловлена взаимодействием анионных групп полимера с катионами кальция и магния на поверхности кристаллов карбонатов, при адсорбции



а
 1 – ПА₅₀₀₀ и ПЭГ₂₀₀₀; 2 – ПА₅₀₀₀ и ПЭГ₁₀₀₀; 3 – ПА₄₀₀₀ и ПЭГ₂₀₀₀;
 4 – ПА₃₀₀₀ и ПЭГ₂₀₀₀; 5 – ПА₅₀₀₀ и ПЭГ₄₀₀₀

Рисунок 2. – Зависимость индукционного периода осадкообразования (а) и диспергирующей способности (б) от молекулярной массы и соотношения полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля в смеси

вследствие частичной компенсации заряда происходит увеличение гидрофобности макромолекул поликислоты, что способствует взаимодействию с неполярными группами ПЭГ. Взаимодействие функциональных групп полимеров приводит к образованию вокруг частиц карбонатов кальция барьера, экранирующего поверхность от контакта с карбонат- и бикарбонат-ионами, что замедляет рост кристаллов карбонатов кальция и магния и их агрегацию.

На основании полученных закономерностей разработан состав на основе водорастворимых полимеров с соотношением компонентов полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля 1 : (0,75–1,25), ингибирующий образование осадка карбонатов кальция и магния в водооборотной системе в условиях экономии подпиточной воды при увеличении содержания солей.

Данные рентгенофазового анализа осадка карбонатов кальция и магния, полученного при значениях рН 7,5; 8,5 и 9,5 в присутствии полиакриловой кислоты, полиэтиленгликоля и их смеси (содержание полимеров 0,1 мг/дм³) показали увеличение содержания магнезиального кальцита (таблица 2). При кристаллизации карбонатов кальция в условиях повышенной температуры (80°С), в присутствии ионов магния, основными полиморфными модификациями карбонатов кальция являются магнезиальный кальцит и арагонит. Фазовый состав карбонатов кальция, полученного без введения полимеров, в присутствии ПА, ПЭГ, обогащен арагонитом, содержание которого при увеличении значения рН уменьшается (таблица 2).

Таблица 2. – Фазовый состав осадка карбонатов кальция и магния, полученного без введения полимеров и в присутствии ПА, ПЭГ и их смеси

рН	Без полимеров	ПА ₅₀₀₀	ПЭГ ₂₀₀₀	ПА ₅₀₀₀ и ПЭГ ₂₀₀₀
	Магнезиальный кальцит/арAGONит/ватерит, %			
7,5	32/68/–	55/45/–	48/52/–	98/2/–
8,5	48/52/–	80/20/–	52/48/–	96/4/–
9,5	76/9/15	64/18/18	87/3/10	98/2/–

В присутствии смеси полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля образуется преимущественно фаза магнезиального кальцита (96–98 %). Повышение рН приводит к увеличению содержания карбонат-ионов и интенсивности образования кристаллов. В таких условиях кристаллизация протекает очень быстро, что способствует формированию метастабильной фазы ватерита наряду с магнезиальным кальцитом и арагонитом. Как видно из таблицы 2, в присутствии смеси полимеров кристаллизация замедляется, образование фазы ватерита не происходит.

Результаты рентгенофазового анализа подтверждены данными электронно-сканирующей микроскопии (рисунки 3, 4). В системе без полимеров при рН 7,5 и 8,5 образуются вытянутые игольчатые кристаллы (рисунок 3а, 3б).

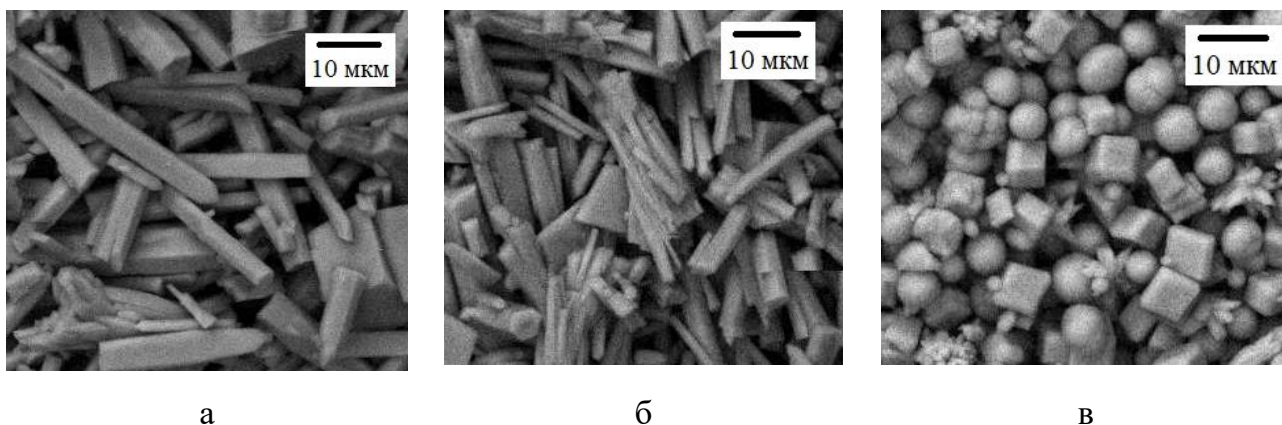


Рисунок 3. – Микрофотографии (увеличение в 1000 раз) осадка карбонатов кальция и магния, полученного без введения полимеров при рН 7,5 (а); 8,5 (б); 9,5 (в)

На изображении образца, полученного при значении рН 9,5 без полимеров (рисунок 3в), видны кристаллы различной формы – кубические, шарообразные и друзы кристаллов в виде звездочек. В присутствии смеси полимеров в осадке можно видеть частицы неправильной формы (рисунок 4а и 4б). При повышении рН наблюдается уменьшение размера кристаллов и изменение их формы (рисунок 4в).

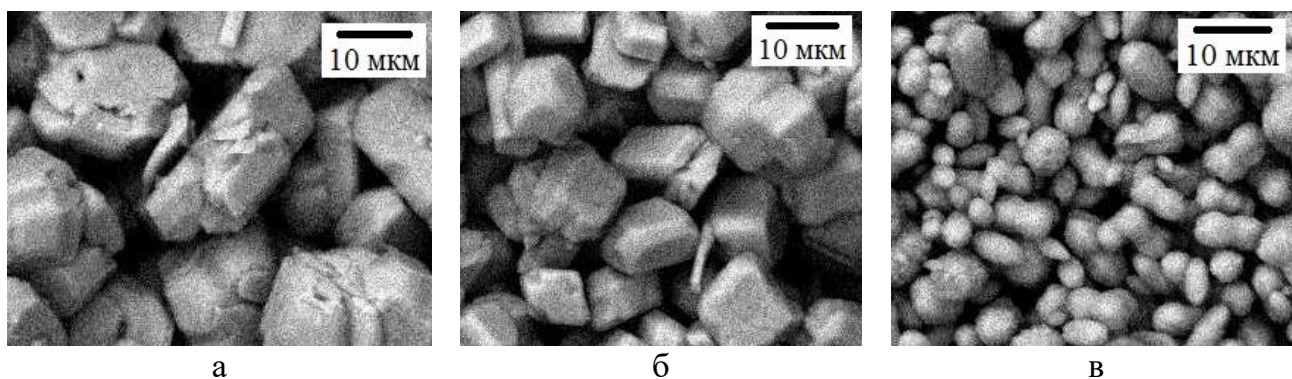


Рисунок 4. – Микрофотографии (увеличение в 1000 раз) осадка карбонатов кальция и магния, полученного в присутствии смеси ПА и ПЭГ при рН 7,5 (а); 8,5 (б); 9,5 (в)

С целью подтверждения полученных результатов в работе использовался метод ИК-спектроскопии. Результаты ИК-спектроскопии осадков карбонатов кальция и магния, полученных в присутствии смеси полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля ($0,1 \text{ мг/дм}^3$) при различных значениях рН, представлены в таблице 3. Карбонатный ион в монодентатной форме характеризуется наличием валентных колебаний связи (C–O) в областях $1530\text{--}1470$ и $1370\text{--}1300 \text{ см}^{-1}$; бидентатной форме – в областях $1630\text{--}1590$, $1280\text{--}1260 \text{ см}^{-1}$. При образовании осадка карбонатов кальция и магния в присутствии полимеров в спектрах появляется полоса поглощения 1780 см^{-1} ; интенсивность полосы поглощения монодентатной формы карбонатной группы 1480 см^{-1} уменьшается в 2 раза при значениях рН 7,5 и 8,5 и в

12 раз при значении рН 9,5. Интенсивность полосы поглощения бидентатной формы карбонатной группы 1280 см^{-1} уменьшается в 1,5 (рН 7,5), 2,3 (рН 8,5) и 9,8 раз (рН 9,5).

Таблица 3. – Спектральные характеристики образцов карбонатов (X_c , см^{-1} – частота максимума; А – интегральная интенсивность полосы поглощения)

Условия получения осадка	Полоса поглощения, см^{-1}					
	1480		1280		1780	
	X_c	А	X_c	А	X_c	А
Без полимера						
рН:						
7,5	1472	11,1	1280	10,9	–	–
8,5	1483	12,8	1288	12,7	–	–
9,5	1478	137,9	1278	45,1	–	–
В присутствии смеси ПА ₅₀₀₀ и ПЭГ ₂₀₀₀						
рН:						
7,5	1492	5,5	1285	7,4	1784	14,5
8,5	1492	6,2	1281	5,5	1780	26,1
9,5	1485	11,5	1278	4,7	1785	70,8

Полученные данные позволяют предположить механизм ингибирующего действия карбоксилсодержащих полимеров, основанный на взаимодействии диссоциированных карбоксильных групп полимеров с катионами кальция и магния и участии полимера в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния, что приводит к изменению размера и формы растущего кристалла. В таком случае процесс роста кристаллов и образование осадка карбонатов замедляется, агрегация частиц уменьшается.

На примере модельной системы с различным содержанием солей кальция и магния при значении рН 8,5 и температуре 80°C показано, что введение в обратную систему разработанного ингибитора в количестве от 10 до 30 мг/дм^3 обеспечивает отсутствие осадкообразования при увеличении концентрации солей жесткости в 1,8–3,2 раза, что на практике соответствует системам с K_u от 2,0 до 3,5. Функционирование системы обратного водоснабжения с коэффициентом упаривания выше 2,0 позволяет уменьшить расход подпиточной воды более чем в 5 раз.

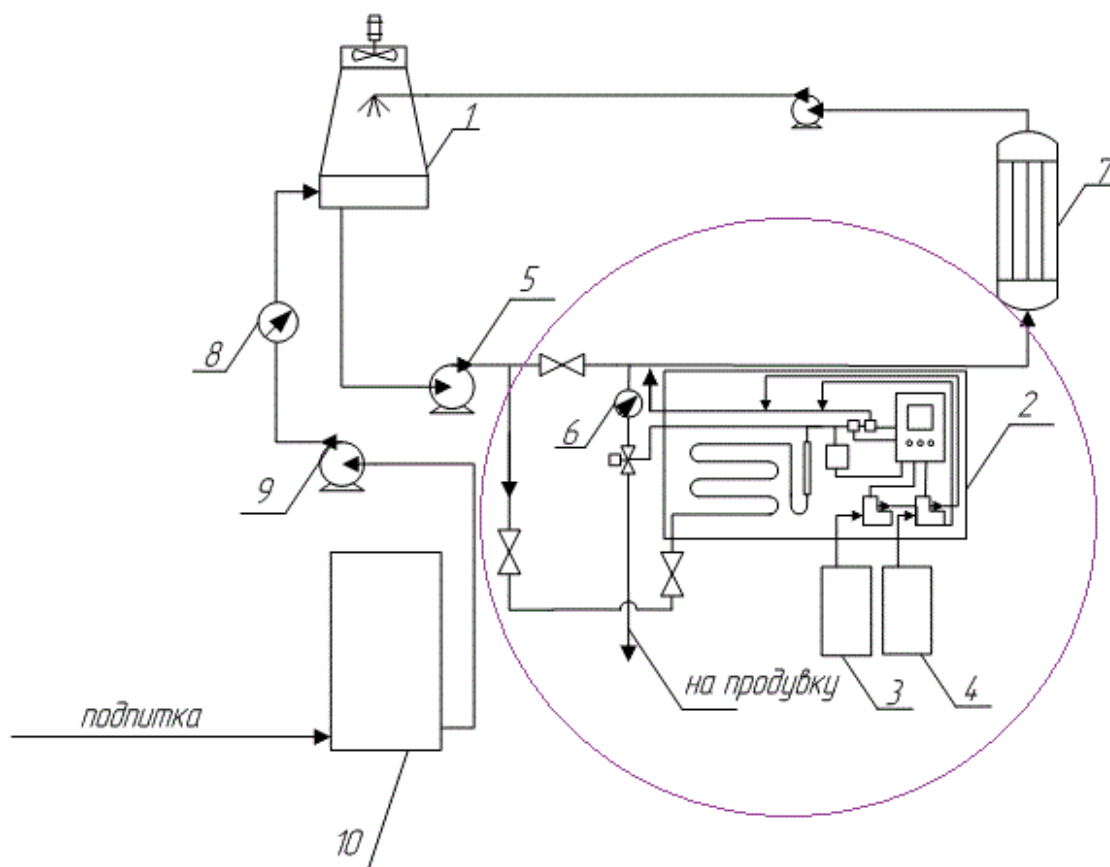
В четвертой главе представлены результаты исследования влияния водорастворимых полимеров на осадкообразование на примере систем обратного водоснабжения с подпиткой из подземного источника (ОАО «Завод горного воска») и с использованием сточных вод предприятия (ОАО «Мозырский НПЗ»). Особенно-

стью первой системы является высокое содержание солей жесткости. Для снижения осадкообразования циркулирующая вода в такой системе практически полностью обновляется, что характеризует режим работы системы как нерациональный в отношении использования природной воды.

В лабораторных условиях для образцов воды из системы оборотного водоснабжения с подпиткой из подземного источника с заданными коэффициентами упаривания в диапазоне от 2,0 до 3,0 обоснован оптимальный диапазон содержания разработанного ингибитора: от 10 до 20 мг/дм³, обеспечивающий функционирование системы оборотного водоснабжения в безосадочном режиме при значениях коэффициента упаривания 2,0; 2,5 и 3,0.

На основании полученных данных для системы оборотного водоснабжения ОАО «Завод горного воска» разработана технологическая схема получения и освоен выпуск ингибитора осадкообразования на основе водорастворимых полимеров «Композиция для защиты водооборотных циклов «КИН-1» (ТУ ВУ 100029049.071-2009). В настоящее время ингибитор выпускается на предприятии для собственного потребления с целью повышения эффективности работы теплообменного оборудования и экономии воды, а также для поставок на предприятия страны. Результаты опытно-промышленных испытаний и внедрения ингибитора осадкообразования на ОАО «Завод горного воска», ОАО «Полоцк-Стекловолокно» и других предприятиях показали его высокую эффективность. На ОАО «Завод горного воска» годовой экономический эффект при использовании ингибитора КИН-1 за счет экономии подпиточной воды составил 1034,5 тыс. рублей (по состоянию на 2018 г.).

Для системы оборотного водоснабжения ОАО «Завод горного воска» разработана технологическая схема установки водоподготовки, включающая блок автоматического регулирования водно-химического состояния водооборотной системы и включенный в него блок фотометрического определения содержания ингибитора (рисунок 5). В блоке автоматического регулирования водно-химического состояния водооборотной системы осуществляется контроль заранее заданных параметров (содержание солей, рН, объем циркулирующей, подпиточной воды, электропроводность и др.). Блок фотометрического определения содержания ингибитора позволяет автоматически контролировать и целенаправленно регулировать содержание полимерного ингибитора в системе.



- 1 - градирня; 2 – блок аналитического контроля и управления водно-химическими режимами; 3 – емкость с ингибитором; 4 – емкость с реагентами (биоцид);
5, 9 – циркуляционный насос; 7 – теплообменник; 8, 6 – расходомер;
10 – резервуар подпиточной воды**

**Рисунок 5. – Технологическая схема оборотной охлаждающей системы
ОАО «Завод горного воска»**

Проведены опытно-промышленные испытания разработанного ингибитора КИН-1 с использованием приведенной технологической схемы в системе обратного водоснабжения ОАО «Завод горного воска» с объемом циркулирующей воды около 300 м³ с подпиткой из артезианского источника. По результатам опытно-промышленных испытаний установлены технологические параметры водно-химического режима и условия функционирования системы обратного водоснабжения без образования осадка: объёмный расход подпиточной воды (10±2) м³/час; рН 8,0-9,0; коэффициент упаривания (2±0,2); индексы LSI=3,2; RI=4,2; содержание ингибитора осадкообразования КИН-1 10 мг/дм³. Использование разработанного водно-химического режима позволило сократить расход подпиточной воды на 400 тыс. м³ в год.

Особенностью систем обратного водоснабжения с использованием сточных вод предприятия является высокое содержание фосфатов, хлоридов, сульфатов,

нитратов, в десятки раз превышающее содержание солей в речной воде, колебания концентрации солей и рН, что приводит к резкому увеличению осадкообразования в системе. На примере ОАО «Мозырский НПЗ» показано, что высокое содержание солей, колебания их концентрации и рН инициирует осадкообразование в системе. При замене подпиточной воды на очищенные сточные воды индекс Ланжелье возрастает до значений более 3,0; фосфатный индекс увеличивается до значений выше 1,5; что свидетельствует о переходе системы в зону критического образования отложений.

Проведенные лабораторные испытания показали, что в рассматриваемой системе оборотного водоснабжения осадкообразование уменьшается почти в 10 раз при значениях коэффициента упаривания ($3,0 \pm 0,2$) в присутствии карбоксилсодержащих полимеров в количестве от 30,0 до 40,0 мг/дм³. Функционирование системы оборотного водоснабжения с частичной заменой подпиточной воды на очищенные сточные воды, с объемом циркулирующей воды 40 тыс. м³ при K_u выше 2 позволит сократить расход подпиточной воды ежегодно на 2,0–2,2 млн м³ (при 25 %-ной замене); 4,1–4,5 млн м³ (при 50 %-ной замене); 6,2–6,7 млн м³ (при 75 %-ной замене).

Полученные результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний подтвердили, что в присутствии водорастворимых карбоксилсодержащих полимеров образование осадка карбонатов кальция и магния замедляется, в том числе, при снижении объема подпиточной воды и увеличении концентрации солей жесткости в системе оборотного водоснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты

1. Установлены закономерности влияния водорастворимых полимеров и их смесей в зависимости от природы полимеров, их содержания и молекулярной массы на образование осадка карбонатов кальция и магния в системе оборотного водоснабжения, заключающиеся в изменении следующих показателей по сравнению с системой без полимеров:

- индукционный период образования осадка карбонатов кальция и магния увеличивается при введении полиакриловой кислоты с ММ от 3000 до 6000 в диапазоне от 1,8 до 8,4 раза при содержании в системе от 0,1 до 10,0 мг/дм³;

- агрегативная устойчивость дисперсии карбонатов кальция и магния повышается в среднем в 2 раза при введении полиэтиленгликоля с ММ от 1000 до 3000 при содержании в системе от 1 до 10 мг/дм³;

- при введении смеси полиакриловой кислоты с ММ от 3000 до 6000 и полиэтиленгликоля с ММ от 1000 до 3000 индукционный период осадкообразования

увеличивается в 2,1–2,4 раза и агрегативная устойчивость дисперсии карбонатов кальция и магния повышается в 2,1–2,6 раза при содержании полимеров 0,1 мг/дм³.

На основании полученных закономерностей разработан состав ингибитора осадкообразования на основе смеси полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля с соотношением компонентов 1 : (0,75–1,25) [1–5, 8, 11, 13–15, 17, 19, 25–27].

2. Установлены закономерности образования осадка карбонатов кальция и магния в присутствии полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля, состоящие в преимущественном формировании фазы магнезиального кальцита (96–98 %), изменении формы и размеров кристаллов, а также параметров ИК-спектров, характеризующих положение и интенсивность полос поглощения карбонатной группы. На основании полученных данных предложен механизм ингибирующего действия полимеров, основанный на взаимодействии анионных групп полиакриловой кислоты с катионами кальция и магния и участии полимеров в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния [1, 2, 10–12, 16, 18–20, 26–28].

3. Определены технологические параметры системы оборотного водоснабжения с объемом циркулирующей воды 300 м³ и подпиткой из подземного источника с использованием разработанного ингибитора осадкообразования: объёмный расход подпиточной воды (10±2) м³/час; рН 8,0–9,0; коэффициент упаривания (2±0,2); индексы Ланжелъе 3,2; Ризнара 4,2; содержание ингибитора осадкообразования 10 мг/дм³, позволяющие снизить расход подпиточной воды в системе на 400 тыс. м³ ежегодно без образования в системе осадка карбонатов кальция и магния [3–5, 14, 21, 26].

4. Разработан способ водоподготовки подпиточной воды в системах оборотного водоснабжения, основанный на ингибировании осадкообразования водорастворимыми полимерами и замене подпиточной воды очищенными сточными водами предприятия (от 25 до 75 %). Установлено, что в рассматриваемой системе оборотного водоснабжения осадкообразование уменьшается почти в 10 раз в присутствии карбоксилсодержащих полимеров в количестве от 30,0 до 40,0 мг/дм³ при значениях коэффициента упаривания (3,0±0,2). Использование разработанного способа водоподготовки на предприятиях химической промышленности в системах оборотного водоснабжения с объемом циркулирующей воды около 40 тыс. м³, согласно проведенным расчетам, позволит сократить объем расходуемой подпиточной воды ежегодно от 2,1 до 6,3 млн м³ [3–5, 14, 15, 19, 21, 26–28].

Рекомендации по практическому использованию результатов

К использованию рекомендуется ингибитор осадкообразования на основе водорастворимых полимеров «Композиция для защиты водооборотных циклов «КИН-1», ТУ ВУ 100029049.071-2009, предназначенный для введения в охлаждающую воду теплотехнических и технологических систем. На ОАО «Завод горного

воска» освоен выпуск КИН-1 для собственного потребления с целью повышения эффективности работы теплообменного оборудования и экономии воды, а также для поставок на предприятия страны (технические условия, рецептура композиции для защиты водооборотных циклов КИН-1; акт выпуска ингибитора осадкообразования для защиты водооборотных циклов от 03.10.2011 г.).

Разработан способ водоподготовки оборотной охлаждающей системы, основанный на использовании новой продукции – ингибитора осадкообразования (ТУ ВУ 100029049.071-2009 «Композиция для защиты водооборотных циклов «КИН-1») и технологические схемы получения КИН-1 и опытно-промышленной установки водоподготовки, включающей блок аналитического контроля и управления водно-химическими режимами оборотной системы. На опытно-промышленной установке проведены испытания разработанного способа водоподготовки, подтвердившие уменьшение расхода подпиточной воды на предприятии на 400 тыс. м³ в год (акт выпуска и использования новой продукции от 10.01.2013 г.).

Результаты диссертационных исследований апробированы и внедрены на предприятиях Республики Беларусь: ОАО «Завод горного воска», ОАО «Полоцк-Стекловолокно», Минская ТЭЦ-2, ОАО «Мозырский НПЗ» (акт о практическом использовании результатов исследований ИОНХ НАН Беларуси от 15.06.2018 г.).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ*Статьи в научных журналах*

1. Шестак, И. В. Влияние полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля на кристаллизацию карбонатов кальция в присутствии ионов магния / И. В. Шестак, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко, Е. В. Воробьева, Г. В. Бондарева, Н. Стрнадова // Журнал неорганической химии. – 2011. – Т 56. – № 2. – С. 213–217.

2. Шестак, И. В. Особенности кристаллизации карбонатных осадков в щелочных растворах / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, И. И. Басалыга, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко // Журнал неорганической химии. – 2012. – Т 57. – № 1. – С. 36–42.

3. Шестак, И. В. Использование водорастворимых полимеров в ресурсосберегающих технологиях процессах водоподготовки / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, Д. Н. Давлюд, А. Д. Воробьев, О. Б. Дормешкин // Природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 93–101.

4. Шестак, И. В. Ресурсосберегающие способы водоподготовки в оборотных системах / И. В. Шестак, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко, А. Д. Воробьев // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 32–39.

5. Шестак, И. В. Применение ингибиторов осадкообразования в водооборотных системах для рационального использования водных ресурсов / Е. В. Воробьева, И. В. Шестак, А. Д. Воробьев, Ю. В. Матрунчик // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 148–155.

Статьи в других рецензируемых научных изданиях

6. Шестак, И. В. Эффективность полиэлектролитов как ингибиторов накипеобразования в зависимости от их молекулярной массы / И. В. Шестак // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2007. – Ч. 3. – С. 335 – 338.

7. Шестак, И. В. Влияние низкомолекулярных солей на коллоидно-химические свойства и флокулирующую способность полакриламида и его сополимеров / И. В. Шестак, П. Д. Воробьев, Е. В. Воробьева, Н. П. Крутько // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2007. – №. 3. – С. 10–14.

8. Шестак, И. В. Полакриловая кислота и композиции на ее основе для ингибирования осадкообразования в водооборотных системах / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, И. И. Басалыга, Н. П. Крутько, А. Д. Воробьев // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т. 82. – Вып. 10. – С. 1742–1745.

9. Шестак, И. В. Моделирование процесса осадкообразования карбонатов кальция и магния в динамических условиях / И. В. Шестак, Д. В. Чередниченко //

Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. Прил. Молодежь в науке. – 2009. – Ч. 1. – С. 165–168.

10. Шестак, И. В. Влияние полиакриловой кислоты и полиэтиленгликоля на кристаллизацию карбонатов кальция и магния / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, И. И. Басальга, Н. П. Крутько, Л. В. Кульбицкая // Докл. Нац. акад. наук Беларусі. – 2010. – Том 54. – № 2. – С. 80–84.

11. Шестак, И. В. Адсорбция полиакрилатов и их композиций с полиэтиленгликолем на поверхности карбоната кальция / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, Д. В. Чередниченко, П. Д. Воробьев, Н. П. Крутько // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2010. – № 3. – С. 27–32.

12. Шестак, И. В. Особенности формирования осадков карбонатов кальция и магния в растворах полиэтиленгликоля / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, И. И. Басальга, Н. П. Крутько, Ю. В. Матрунчик // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2011. – № 2. – С. 13–18.

13. Шестак, И. В. Влияние молекулярной массы полиакрилатов на скорость образования и диспергирование осадки карбонатов кальция и магния / И. В. Шестак, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко, Н. П. Крутько, А. Д. Воробьев // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2012. – № 2. – С. 25–29.

14. Шестак, И. В. Ингибиторы отложений солей жесткости и коррозии для водооборотных систем охлаждения // Д. В. Чередниченко, П. Д. Воробьев, А. Д. Воробьев, И. В. Шестак, Н. П. Крутько // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2014. – № 1. – С. 107–112.

Тезисы докладов

15. Shastak, I. V. Polyelectrolytes and compositions thereof for scaling inhibition in cooling water cycles / I. V. Shastak, A. D. Vorobiov // 11-th JCF-Fruhjahrssymposium March 11-14, 2009 / Duisburg-Essen Universitat. – Essen, – 2009. – P. 275.

16. Шестак, И. В. Влияние полимерных добавок на процесс кристаллизации карбоната кальция / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева, И. И. Басальга // Сб. тез. докл. Всеукр. конф. с межд. участием «Химия, физика и технология модифицированной поверхности», Киев, 20–22 мая 2009 г. : тез. докл. / ИХП им. А. А. Чуйко НАН Украины ; редкол.: М. В. Грин [и др.]. – Киев, – 2009. – С. 138.

17. Shastak, I. V. Adsorption of polyacrylic acid salts with various molecular weight on a surface of calcium carbonate particles and magnesium carbonate in the processes of their crystallization / I. V. Shastak, A. D. Vorobiov // Modern problems of polymer science, 5th Saint-Petersburg Young Scientists Conference, Saint-Petersburg, October 19-22, 2009 / – Saint-Petersburg, 2009. – P. 92.

18. Shastak, I. V. Crystallization of calcium and magnesium carbonates in presence of polyacrylic acid / I.V. Shestak, A. D. Regino, P. D. Varobiov // 12th JCF-Fruhjahrssymposium March 17–20, 2010, / Duisburg-Essen Universitat. – Essen, – 2010. – P. 170.

19. Шестак, И. В. Стерическая стабилизация дисперсий карбоната кальция в присутствии смеси полиакрилатов с солями полиметакриловой кислоты и сополимер полиметакриловой кислоты с дельта-3-кареном / И. В. Шестак, Д. В. Чередниченко, А. Д. Воробьев // Сб. тез. докл. VI конф. Молодых ученых, Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2010 г. : тез. докл. / Институт высокомолекулярных соединений РАН ; редкол.: А. И. Жук [и др.]. – Санкт-Петербург, – 2010. – С. 68.

20. Шестак, И. В. Адсорбция солей полиакриловых кислот и их композиций с полиэтиленгликолем на поверхности частиц карбоната кальция / И. В. Шестак, Д. В. Чередниченко, А. Д. Воробьев // Сб. тез. докл. Межд. конф. Актуальные проблемы химии и физики поверхности, Киев, 11–13 мая 2011 г. : тез. докл. / ИХП им. А. А. Чуйко НАН Украины ; редкол.: М. В. Грин [и др.]. – Киев, – 2011. – С. 240.

21. Шестак, И. В. Использование водорастворимых полимеров для водоподготовки и очистки водно-солевых растворов / И. В. Шестак, Д. Н. Давлюд, Д. В. Чередниченко, П. Д. Воробьев // Сб. науч. статей XII межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы экологии–2017», Гродно, 4–6 октября 2017 г. / Гродненский гос. ун-т им. Я. Купалы ; редкол.: В. Н. Бурдь [и др.]. – Гродно, 2017. – С. 189–191.

22. Шестак, И. В. Rheological properties of polyacrylamide and polyacrylamide (co)polymers salt solutions / Д. Н. Давлюд, Е. В. Воробьева, И. В. Шестак // Сб. материалов XIII межд. конф. молодых ученых «Современные проблемы науки о полимерах», Санкт-Петербург, 13–16 ноября 2017 г. / Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук ; редкол. : Н. М. Фомина [и др.] – Санкт-Петербург, 2017. – С. 85.

23. Шестак, И. В. Флокулирующая активность акриламидных (co)полимеров в солевых средах / Д. Н. Давлюд, П. Д. Воробьев, И. В. Шестак // XX Всеросс. конф. молодых учёных-химиков (с межд. участием), Нижний Новгород, 18–20 апреля 2017 г. : тез. докл. / Нижегородский гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского ; редкол.: А. В. Князев [и др.]. Нижний Новгород, 2017. – С. 303.

24. Шестак, И. В. Ресурсосберегающие технологические процессы водоподготовки с использованием водорастворимых полимеров / И. В. Шестак, Е. В. Воробьева // Сб. тез. докл. 21 Всеросс. конф. молодых ученых-химиков (с межд. участием), Нижний Новгород, 15–17 мая 2018. : тез. докл. / Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского ; редкол.: А. В. Князев [и др.]. – Нижний Новгород, 2018. – С. 318.

25. Шестак, И. В. Получение и использование новых полимерных материалов на основе гидрогелей / И. В. Шестак, Ю. В. Матрунчик, Е. В. Воробьева, Д. Н. Давлюд // Сб. тез. докл. 21 Всеросс. конф. молодых ученых-химиков (с межд. участием), Нижний Новгород, 15–17 мая 2018. : тез. докл. / Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского ; редкол.: А. В. Князев [и др.]. – Нижний Новгород, – 2018. – С. 472.

Патенты

26. Композиции для предотвращения осадкообразования в водооборотных системах: пат. US 014113 / Е. В. Воробьева, Н. П. Крутько, И. В. Шестак, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко, И. И. Басальга, А. Д. Воробьев. – Оpubл. 29.10 2010.

27. Моющая и чистящая композиция и способ ее получения: пат. ВУ 15110 / Е. В. Воробьева, Ю. В. Матрунчик, И. И. Басальга, Н. П. Крутько, П. Д. Воробьев, Д. В. Чередниченко, И. В. Шестак. – Оpubл. 26.07.2011.

28. Способ очистки раствора хлорида натрия: пат. ВУ 22142 / Д. Н. Давлюд, Е. В. Воробьева, П. Д. Воробьев, Ю. В. Матрунчик, Е. В. Лаевская, И. В. Шестак, Н. П. Крутько, В. В. Шевчук, А. Д. Смычник, Л. В. Овсеенко. – Оpubл. 25.05.2018.

РЭЗІЮМЭ

Шастак Ірына Васільеўна

Водападрыхтоўка з выкарыстаннем водарастваральных палімераў у сістэмах абаротнага водазабеспячэння

Ключавыя словы: водныя рэсурсы, сістэмы абаротнага водазабеспячэння, спосаб водападрыхтоўкі, рэсурсазберажэнне.

Мэта работы: распрацаваць высокаэфектыўныя інгібітары асадкаўтварэння паводле водарастваральных палімераў і спосаб водападрыхтоўкі для зніжэння расходу вады ў сістэмах абаротнага водазабеспячэння.

Метады даследавання: рэнтгенафазавы аналіз, электронная скануючая мікраскапія, атамна-абсарбцыйная спектраскапія, Фур'е-, ІК- спектраскапія, фотакаларыметрыя, метады ацэнкі індукцыйнага перыяду асадкаўтварэння і дыспергіруючай здольнасці рэагентаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: устаноўлены заканамернасці ўплыву водарастваральных палімераў і іх сумесяў на атрыманне асадку карбанатаў кальцыю і магнію ў водных сістэмах, якія праяўляюцца ў павелічэнні індукцыйнага перыяду асадкаўтварэння і агрэгатыўнай ўстойлівасці дысперсіі асадку.

Прапанаваны механізм інгібіруючага ўздзеяння палімераў з карбаксільнымі групамі, заснаваны на ўзаемадзеянні аніённых груп палімераў з катыёнамі кальцыю і магнію і ўдзеле палімераў у фарміраванні крышталічнай структуры карбанатаў кальцыю і магнію.

Распрацаваны склад інгібітару асадкаўтварэння паводле водарастваральных палімераў і спосаб водападрыхтоўкі ў сістэмах абаротнага водазабеспячэння з мэтаскіраваным рэгуляваннем параметраў сістэмы і колькасці інгібітару. Такім чынам, забяспечваецца зніжэнне расходу падсілкавальнай вады ў сістэмах абаротнага водазабеспячэння прамысловых прадпрыемстваў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: новыя высокаэфектыўныя інгібітары асадкаўтварэння; рэсурсазберагальны спосаб водападрыхтоўкі, апрабаваны на мадэльных і рэальных прамысловых сістэмах абаротнага водазабеспячэння.

Галіна выкарыстання: сістэмы абаротнага водазабеспячэння прадпрыемстваў хімічнай, нафтахімічнай галін.

РЕЗЮМЕ

Шестак Ирина Васильевна

Водоподготовка с использованием водорастворимых полимеров в системах оборотного водоснабжения

Ключевые слова: водные ресурсы, системы оборотного водоснабжения, осадкообразование, способ водоподготовки, ресурсосбережение.

Цель работы: разработать высокоэффективные ингибиторы осадкообразования на основе водорастворимых полимеров и способ водоподготовки для снижения расхода воды в системах оборотного водоснабжения.

Методы исследования: рентгенофазовый анализ, электронно-сканирующая микроскопия, атомно-абсорбционная, ИК-, Фурье- спектроскопия, фотоколориметрия, методы оценки индукционного периода осадкообразования и диспергирующей способности реагентов.

Полученные результаты и их новизна: установлены закономерности влияния водорастворимых полимеров и их смесей на образование осадка карбонатов кальция и магния в водных системах состоящие в увеличении индукционного периода осадкообразования и агрегативной устойчивости дисперсии осадка.

Предложен механизм ингибирующего действия карбоксилсодержащих полимеров, основанный на взаимодействии анионных групп полимеров с катионами кальция и магния и участии полимеров в формировании кристаллической структуры карбонатов кальция и магния.

Разработан состав ингибитора осадкообразования на основе водорастворимых полимеров и способ водоподготовки, который позволяет целенаправленно регулировать параметры системы и содержание ингибитора, обеспечивает снижение расхода подпиточной воды в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Рекомендации по использованию: новые высокоэффективные ингибиторы осадкообразования; способ водоподготовки, апробированный на модельных и реальных промышленных системах оборотного водоснабжения.

Область применения: системы оборотного водоснабжения предприятий химической, нефтехимической отраслей.

SUMMARY

Shestak Irina Vasilyevna

Water treatment with using water-soluble polymers
in water recycling systems

Keywords: water resources, circulating water supply systems, precipitation, water treatment method, resource saving.

The aim of study: to develop highly efficient inhibitors of precipitation based on water-soluble polymers and a water treatment method to decrease intake of water in circulating water supply systems.

Research methods: X-ray phase analysis, electron-scanning microscopy, atomic absorption, FTIR- spectroscopy, photolorimetry, methods of evaluation the induction period of precipitation and the dispersing ability of reagents.

Obtained results and their novelty: the regularities of the influence of water-soluble polymers and their mixtures on the formation of calcium and magnesium carbonate precipitate in aqueous systems, which display themselves in an increase in the precipitation induction period and aggregate stability of the precipitate dispersion, are established.

The mechanism of inhibiting the action of a mixture of polymers with carboxyl groups, based on the interaction of dissociated groups of polymers with calcium and magnesium cations and the participation of polymers in the formation of the crystalline structure of calcium and magnesium carbonates is proposed.

A composition of a precipitation inhibitor based on water-soluble polymers and a method of water treatment has been developed, which allows the system parameters and the content of the inhibitor to be purposefully controlled, and reduces the flow of make-up water in industrial water recycling systems.

Recommendations for use: new highly effective inhibitors of precipitation; water treatment method tested on model and real industrial water recycling systems.

Field of application: systems of circulating water supply of enterprises of the chemical, petrochemical industries.

Подписано в печать 08.01.2019 Формат 60x84_{1/16} Бумага офсетная
Гарнитура Roman Печать цифровая Усл.печ.л. 1,3 Уч.изд.л. 1,4
Тираж 60 экз. Заказ № 2840

ИООО «Право и экономика» 220072 Минск Сурганова 1, корп. 2
Тел. 284 18 66, 8 029 684 18 66

E-mail: pravo-v@tut.by; pravo642@gmail.com Отпечатано на издательской системе

KONICA MINOLTA в ИООО «Право и экономика»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий, выданное
Министерством информации Республики Беларусь 17 февраля 2014 г.
в качестве издателя печатных изданий за № 1/185