

На правах рукописи

Куликова Марина Викторовна

**УСТРАНЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ АММИАЧНЫМ  
СПОСОБОМ В АППАРАТАХ ИНТЕНСИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ**

Специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты  
химических технологий

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

Томск 2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Косинцев Виктор Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Сваровский Александр Яковлевич,

доктор технических наук, профессор  
Комарова Лариса Федоровна,

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Ангарская государственная  
техническая академия»

Защита диссертации состоится 08 февраля 2011 г. в 14.30 час. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.08 при ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, корпус 2, ауд. 117.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО НИ ТПУ.

Автореферат разослан «    » декабря 2010 г.

Ученый секретарь совета  
по защите докторских и  
кандидатских диссертаций  
канд. техн. наук., доцент



Т.С. Петровская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Повышенное внимание и высокие требования к качеству питьевой воды обусловлены в наше время ее особой ролью как одного из основных элементов жизнеобеспечения человека. Основным критерием качества питьевой воды является ее влияние на здоровье человека.

Несмотря на обилие водоемов Западной Сибири, для питьевого водоснабжения используют, в основном, подземные воды. Это связано с тем, что бассейны рек, являются экологически незащищенными. Поэтому, с каждым годом возрастает использование подземных источников для водоснабжения населения. Подземные воды характеризуются большим значением жесткости, чем воды рек.

При жесткости воды выше 7 мг-экв/л вероятность зарастания труб известковыми отложениями резко возрастает, то есть уменьшается проектный срок службы трубопровода, а при очень низкой жесткости (менее 1,5 мг-экв/л) вода приобретает сильные коррозионные свойства. Для нагрева жесткой воды требуется на 15–20% больше электроэнергии. Соли жесткости, выпадающие из пересыщенных растворов воды в виде накипи на стенках теплового оборудования как техногенного, так и бытового, приводят к дополнительным тепловым, а следовательно к энергетическим затратам, т.е. к затратам электрической энергии.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что устранение жесткости из воды задача весьма актуальная.

Данная работа выполнялась в соответствии с программой «Рациональное природопользование и глубокая переработка природных ресурсов», с договором между ТПУ и ЗАО «Городские очистные сооружения» и ООО «НВП «ЭЧТЕХ».

На основе анализа литературного обзора и работ предшественников был выбран аммиачный способ очистки воды от солей жесткости.

**Цель работы** – устранение временной жесткости воды аммиачным способом в аппаратах интенсивного перемешивания.

**Для достижения указанной цели решались следующие задачи:**

1. Исследование свойств водопроводной воды: удельной электропроводности, солесодержания, жесткости, вязкости, рН, окислительно-восстановительного потенциала, в зависимости от числа оборотов мешалки, температуры и определение эффективности процесса умягчения воды аммиачным способом.

2. Исследование кинетики процесса выпадения солей жесткости из водопроводной воды. Определение с помощью уравнения изменения свободной

энергии Гиббса радиуса образующихся зародышей солей жесткости в водном растворе. Определение среднеквадратичного диаметра частиц солей временной жесткости при обработке воды раствором аммиака и воздействии интенсивного перемешивания.

3. Разработка методики расчета аппарата по очистке воды от солей временной жесткости.

**На защиту выносятся:**

- Кинетика процесса кристаллизации солей жесткости из водопроводной воды.
- Методика расчета установки по умягчению воды.
- Аппаратурно-технологическая схема установки для умягчения воды.
- Параметры, влияющие на выпадение солей жесткости, а именно: число оборотов мешалки, температура обрабатываемого раствора, концентрация водного раствора аммиака.

**Научная новизна.**

1. Установлено, что при воздействии на воду интенсивного перемешивания (17 000 об/мин мешалки) в присутствии водного раствора аммиака и подогреве воды до 40 °С образуется структура карбоната кальция – арагонит, препятствующая отложению осадка на стенках аппарата. Определен радиус зародыша кристалла, образованный в результате интенсивного перемешивания с добавлением раствора аммиака, который составил 0,89 мкм. Экспериментально определен среднеквадратичный диаметр, значение которого соответствует 1,419 мкм.

2. Впервые показано, что уравнение Казеева-Ерофеева с поправкой академика Саковича, применяемое для топохимических реакций, справедливо для процесса кристаллизации солей временной жесткости из пересыщенных растворов воды по гидрокарбонат-иону ( $\text{HCO}_3^{2-}$ ). С помощью этого уравнения определено время контакта на границе раздела фаз, которое составило 43 с, определена энергия активации, равная 29,5 кДж/моль, это показывает, что образование новой фазы лимитируется диффузионно-кинетической областью протекания реакции, с порядком  $n < 1$ .

3. Установлено, что для воды подогретой до 30 °С при воздействии водного раствора аммиака концентрацией 0,01 % мас. и интенсивного перемешивания (17000 об/мин) справедливо правило Писаржевского-Вальдена.

4. Впервые определены физико-химические свойства пересыщенного раствора воды по гидрокарбонату кальция при температуре раствора 15 °С и 40 °С в зависимости от числа оборотов мешалки и концентрации раствора аммиачной воды, а именно: удельная электропроводность, солесодержание, жесткость, вязкость, рН, окислительно-восстановительный потенциал.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработаны программы энтальпийного и энтропийного методов расчета констант равновесия реакций, алгоритм, блок-схема, что защищено патентами на программный продукт.

2. Получены исходные данные для расчета аппарата по очистки воды от солей временной жесткости.

3. Разработана малогабаритная установка для удаления солей жесткости раствора водопроводной воды производительностью до 30 л/час. Получены 2 акта внедрения.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на III общероссийской конференции «Современные проблемы науки и образования» (2008 г); XV Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» (Томск, 2009); «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса» - Международный форум (Кемерово, 2008); V Общероссийской научной конференции «Современные проблемы науки и образования».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 16 печатных трудов, в том числе 2 статьи, входящие в перечень рецензируемых изданий ВАК, получено два свидетельства о регистрации программного продукта для ЭВМ по заявкам № 2009611006 и № 2009610224.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Ее содержание изложено на 108 страницах машинописного текста и включает в себя 27 таблицы, 24 рисунка, список литературы, включающей 112 наименований и 2 приложения.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, а также представлены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлены санитарно-гигиенические требования, предъявляемые на территории Российской Федерации к качеству питьевой воды и физиологическая норма жесткости, соответствующая от 1,5 до 7 мг-экв/л.

Проведен обзор факторов, участвующих в формировании жесткости воды.

Проведен анализ способов удаления взвешенных веществ из раствора с применением отстаивания и фильтрования. Кратко приведен обзор существующих методов удаления солей жесткости.

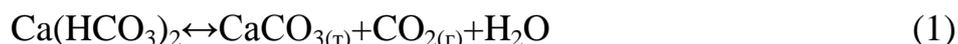
**Во второй главе** описаны методы экспериментов и обоснован выбор объектов исследования.

Сущность метода умягчения воды заключалась в удалении солей жесткости из раствора водопроводной воды в виде осадка. Начальная стадия обработки воды заключалась в поступлении раствора водопроводной воды в количестве 250 мл и 0,06-0,2 мл 25 % - ого водного раствора аммиака в камеру смешения. Полученный раствор перемешивался при числе оборотов мешалки от 1650 до 17000 об/мин в течение 15–60 сек. Далее, раствор поступал в камеру кристаллизации, где в течение 2 -10 мин происходило помутнение раствора. Завершающим этапом являлось фильтрование раствора через волокнистые сорбенты из полипропилена по ТУ 9081-001-46632946-00, которые применяются для очистки воды от углеводородов, взвешенных веществ, обезжелезивания, имеют плотность в 3 раза меньшую, чем песчано-гравийные загрузки и высокую химическую стойкость

Измерение общей жесткости проводилось в соответствии с ГОСТ 4151-72 «Метод определения общей жесткости». Определение удельной электропроводности, солесодержания проводилось на кондуктометре «Эксперт-002». Для определения значений рН среды, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) использовали рН-метр – «Эксперт-рН». Определение содержания аммиака проводился в соответствии с ГОСТ 4192-82 «Методы определения минеральных азотсодержащих веществ». Кинематическая вязкость определялась на капиллярном вискозиметре ВПЖ-2 предназначенном для определения вязкости прозрачных жидкостей. Рентгенофазовый анализ образовавшегося осадка проводили с использованием прибора ДРОН-3. Определение среднеквадратичного диаметра частиц проводилось на микроскопе ZUGO New View 7300.

**В третьей главе** определены независимые реакции процесса удаления солей жесткости с применением и без применения водного раствора аммиака.

Для процесса удаления гидрокарбоната кальция можно записать следующие теоретически возможные уравнения реакции без применения и с использованием водного раствора аммиака:



Суммарному равновесию угольной кислоты



отвечает суммарная константа диссоциации. Диссоциация угольной кислоты происходит в две ступени (8), (9). Константа диссоциации первой ступени  $K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ , второй ступени  $K_2 = 4,7 \cdot 10^{-11}$ . Суммарная константа:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_1 \cdot K_2$$

Чтобы определить линейно независимые реакции, удобно воспользоваться элементами линейной алгебры.

Поскольку константа равновесия для реакции 2 незначительна (табл. 1), то образование продуктов реакции маловероятно, следовательно, для определения независимых реакций необходимо рассмотреть уравнения реакций 3, 4, 5, 6, 7.

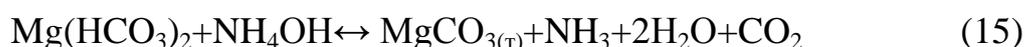
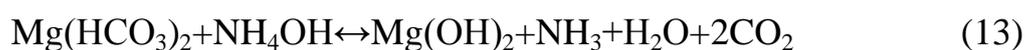
Таблица 1. Значения логарифмов констант равновесия реакций

Температура, К	Значения $\lg K_p$ реакций								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(13)	(15)
298	5,97	-9,88	15,63	9,04	3,67	6,60	3,01	-3,89	-0,28
303	6,09	-9,42	15,28	8,82	3,55	6,46	3,15	-3,48	-0,06
308	6,20	-8,97	14,93	8,61	3,43	6,32	3,28	-3,09	0,15
313	6,30	-8,54	14,60	8,41	3,32	6,19	3,40	-2,71	0,36

Число независимых реакций равно числу веществ ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ) в системе минус число разнородных атомов (Ca, H, C, O, N), из которых образованы реагенты, т. е. число независимых реакций равно трем ( $8-5=3$ ). Для проверки линейной независимости реакций применялся определитель Грамма. Определитель Грамма для уравнений реакций 3, 4, 6 равен нулю, следовательно, система уравнений реакций является линейно зависимой.

Для системы реакций протекающих по уравнениям 3, 4, 7 определитель Грамма не равен нулю, следовательно, уравнения реакций 3, 4, 7 являются линейно независимыми. Сравнивая константы равновесия реакций 3, 4 и 7 (табл. 1), можно предположить, что, так как  $K_p$  реакции 3 равна  $10^{15,63}$ ,  $K_p$  реакций 4 равна  $10^{9,04}$  и  $K_p$  реакции 7  $K_p=10^{3,01}$ , то наиболее вероятно протекание реакции (3), что требуется установить опытным путем.

Для процесса удаления гидрокарбоната магния, с исключением линейно зависимых реакций, определенных ранее, можно записать следующие теоретически возможные уравнения реакций без применения и с использованием водного раствора аммиака:



Реакции 13, 15 невозможны, поскольку значения логарифмов констант равновесия реакций отрицательные значения (табл. 1).

Так как термодинамика указывает на возможность протекания реакций, а кинетика отражает истинность процесса, то необходимо провести исследования по определению факторов, оказывающих влияние на степень умягчения воды. Кинетические исследования процесса проводились в аппарате с мешалкой лопастного типа.

**В четвертой главе** представлены результаты воздействия водного раствора аммиака при интенсивном перемешивании на процесс умягчения воды.

Исходное значение общей жесткости водопроводной воды находилось в диапазоне от 6,06 до 6,32 мг-экв/л, что соответствует значениям общей жесткости подземных вод Западно-Сибирского региона.

В результате проведенных экспериментов установлено, что после перемешивания раствора водопроводной воды при числе оборотов 17000 об/мин происходит увеличение значений таких параметров как удельная электропроводность, солесодержание, а общая жесткость воды остается неизменной, однако по истечении 24 часов после обработки воды значения перечисленных параметров уменьшаются. Окончательное уменьшение общей жесткости, удельной электропроводности и солесодержания происходит через 7 дней и составляет 27 %.

Результаты исследований представлены на рис. 1.

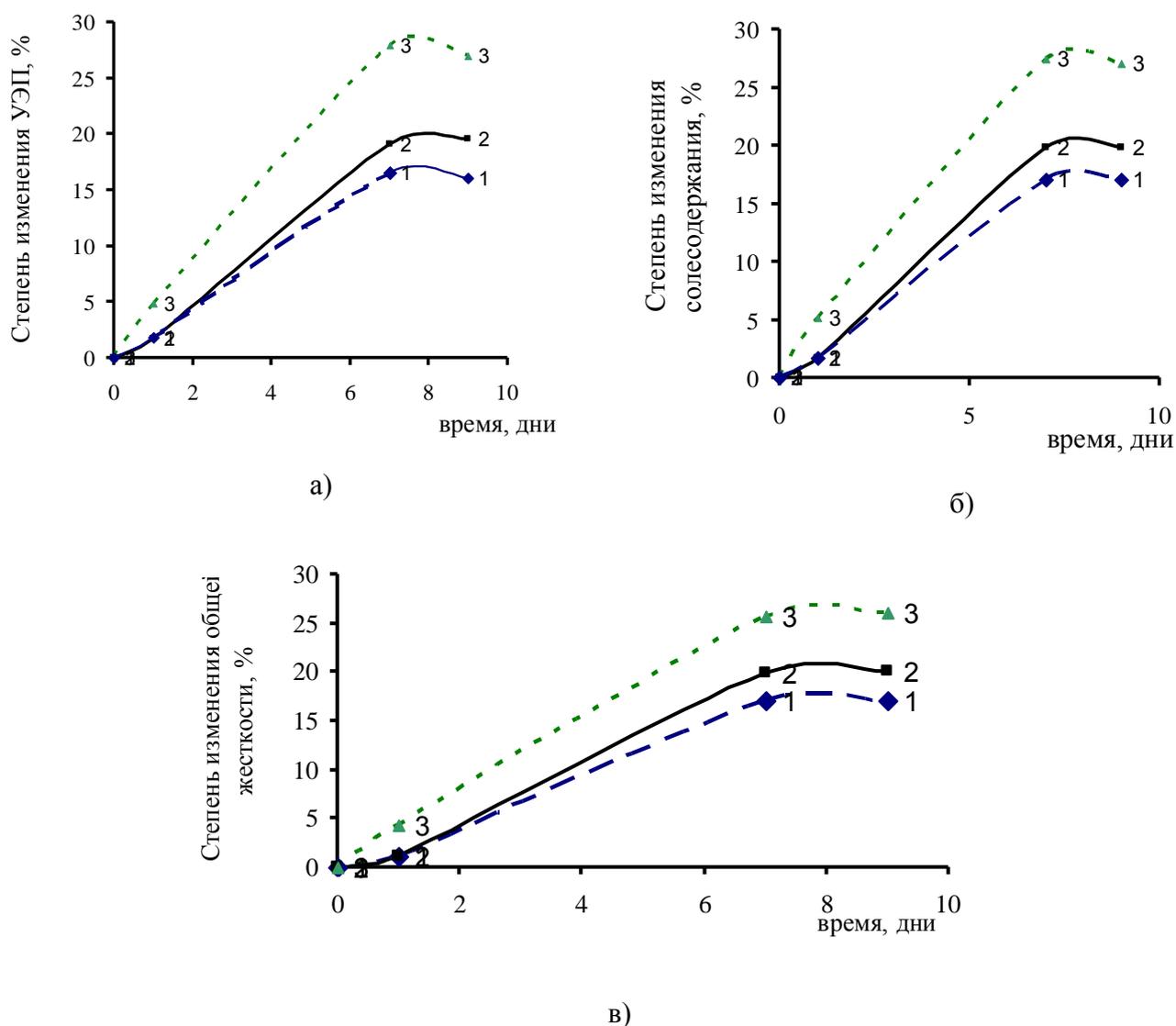


Рис. 1. Степень изменения удельной электропроводности, солесодержания, общей жесткости во времени при перемешивании 17000 об/мин водопроводной воды в течение 45 с (а – степень изменения УЭП, б – степень изменения солесодержания, в – степень изменения жесткости): 1 – водопроводная вода при 15 °С; 2 – водопроводная вода при 30 °С; 3 – водопроводная вода при 40 °С

При воздействии перемешивания на водопроводную воду происходило изменение окислительно-восстановительного потенциала воды от  $-16,3$  мВ до  $-24,3$  мВ, что позволяет судить о переходе энергии механической в электрическую и возможности усиления процесса кристаллизации солей жесткости. В результате добавления в водопроводную воду до  $0,072$  % мас. раствора аммиака происходило значительное изменение окислительно-восстановительного потенциала от  $-16,3$  мВ до  $-150,1$  мВ. Данные окислительно-восстановительного потенциала при интенсивном перемешивании без добавления и в присутствии водного раствора аммиака представлены на рис. 2.

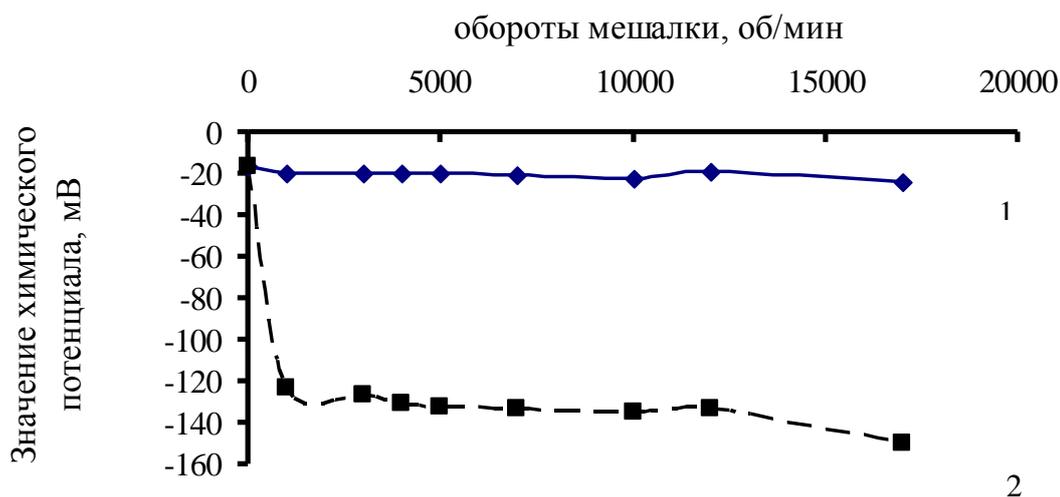


Рис. 2. Значения окислительно-восстановительного потенциала после перемешивания водопроводной воды: 1 – без добавления водного раствора аммиака, 2 – с добавлением водного раствора аммиака

В результате проведения исследований, установлено, что в интервале температур  $15 - 20$  °С и концентрации раствора аммиака менее  $0,01$  % масс. справедливо правило Писаржевского-Вальдена с погрешностью  $2$  % (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические параметры воды после перемешивания  $17000$  об/мин в течение  $45$  с

$t, ^\circ\text{C}$	Объем $\text{NH}_4\text{OH}$ , мл	УЭП, мкСм/см	Солесодержание, мг/л	Вязкость, Па·с	$\mu\cdot\lambda$
исх., 15	0	589	285	2,048	1206,276
20	0,03	613	297	2,01	1232,13
30	0,03	687	334	1,43	982,41

В результате проведенных экспериментов, установлено, что зависимости удельной электропроводности от концентрации аммиака при температуре воды 15 °С и 40 °С после перемешивания имеют точку пересечения при концентрации раствора аммиака 0,01 % мас. (рис. 3).

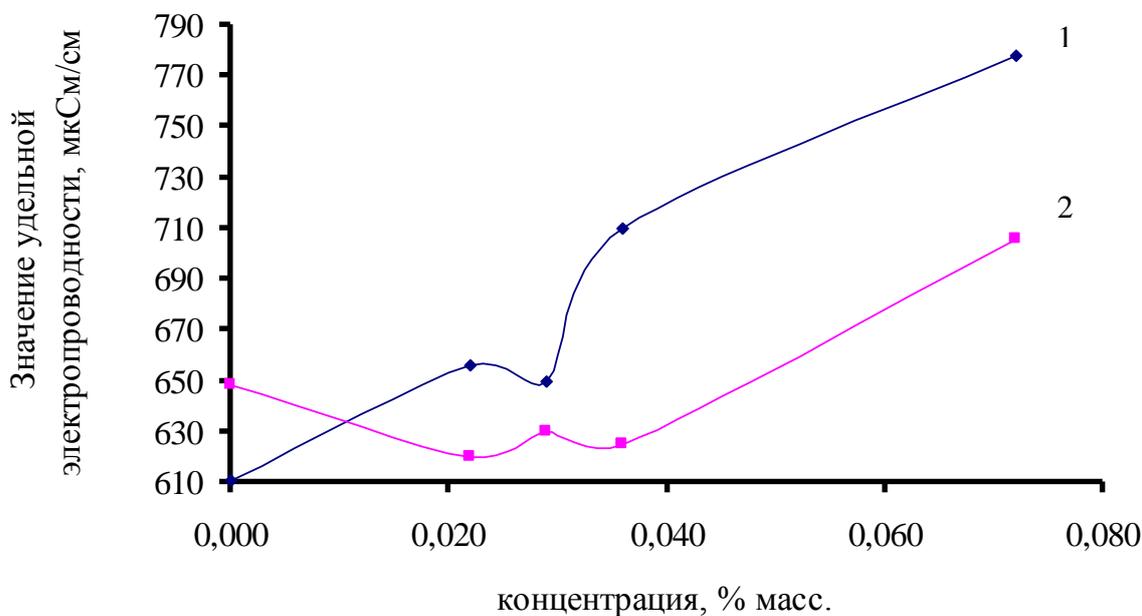


Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности от концентрации аммиака: 1- температура воды 15 °С; 2- температура воды 40 °С

В результате интенсивного перемешивания (1650 – 17000 об/мин) в течение 45 с водопроводной воды ( $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с концентрацией аммиака 0,072 % мас., происходит снижение общей жесткости до 72 %. Результаты обработки воды раствором аммиака в зависимости от интенсивности перемешивания представлены на рис. 4.

Установлена степень умягчения воды в зависимости от концентрации водного раствора аммиака. Так, при концентрации водного раствора аммиака 0,022 – 0,072 % мас. эффект умягчения воды при 17000 об/мин и температуре воды 40 °С составляет 58 – 76 %, при температуре воды 15 °С эффект умягчения составляет 50 – 72 %.

В результате добавления раствора аммиака в водопроводную воду без интенсивного перемешивания происходит снижение солей жесткости до 42 % (рис. 5).

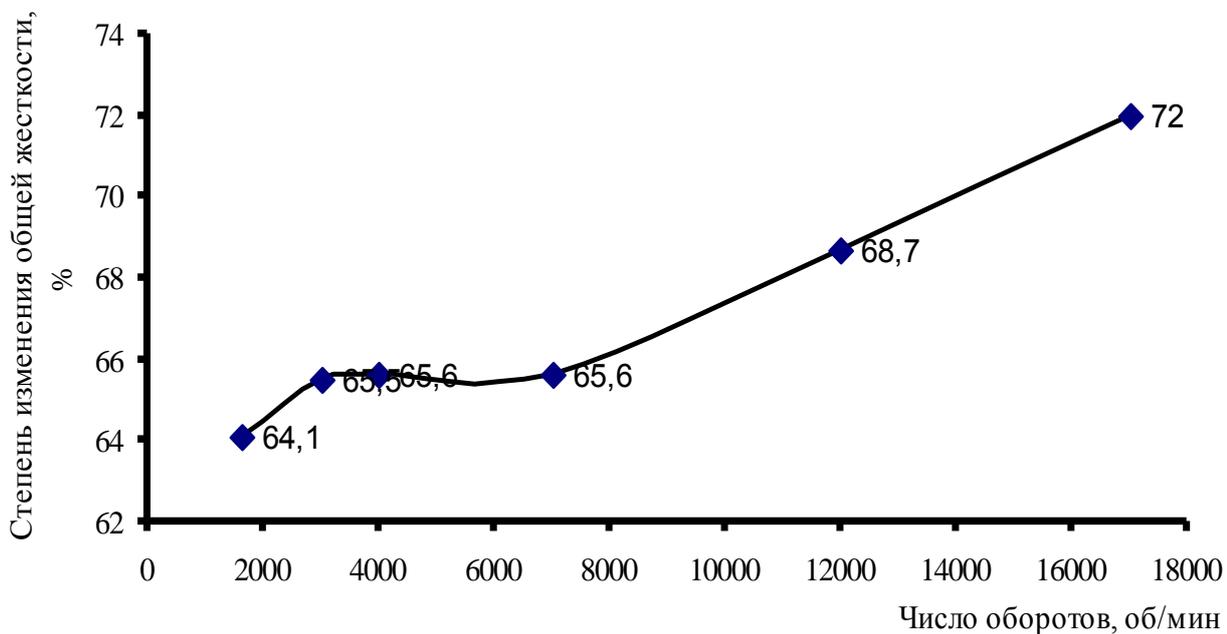


Рис. 4. Зависимость степени изменения общей жесткости воды с концентрацией аммиака 0,072 % мас. и температуры воды 15 °С от числа оборотов мешалки

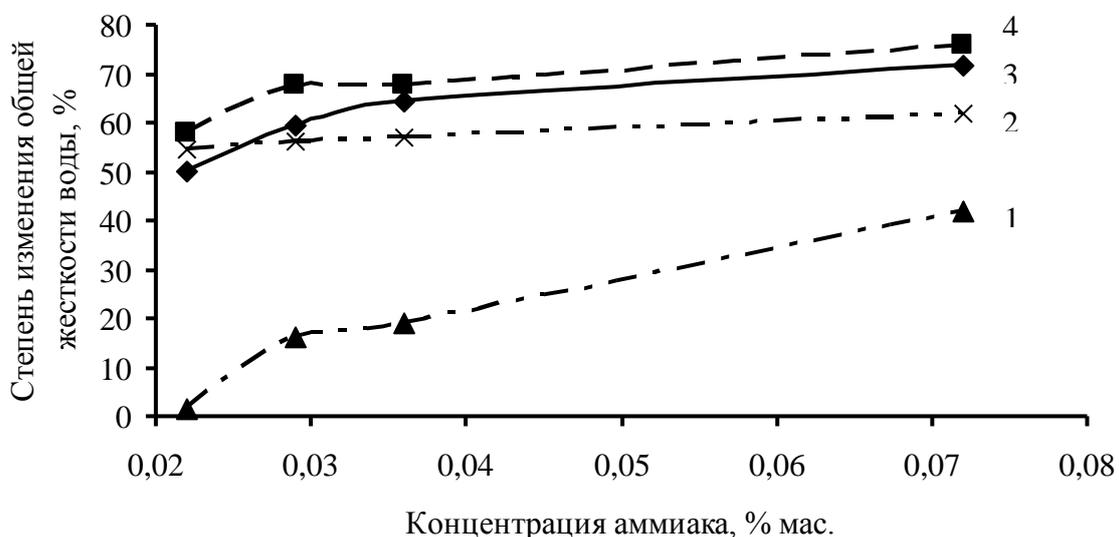


Рис. 5. Степень изменения общей жесткости воды в зависимости от концентрации водного раствора аммиака при температурах воды 15 °С и 40 °С: 1 – водопроводная вода без перемешивания при 15 °С; 2 – водопроводная вода без перемешивания при 15 °С через 36 часов; 3 – водопроводная вода после перемешивания при 15 °С; 4 – водопроводная вода после перемешивания при 40 °С

Наилучший эффект умягчения воды при воздействии водного раствора аммиака и числе оборотов мешалки 17000 об/мин наблюдался после 45 с, в то время как без применения водного раствора аммиака - через 7 дней. Результаты

определения эффективности процесса интенсивного перемешивания без добавления и с добавлением водного раствора аммиака представлен на рис. 6.

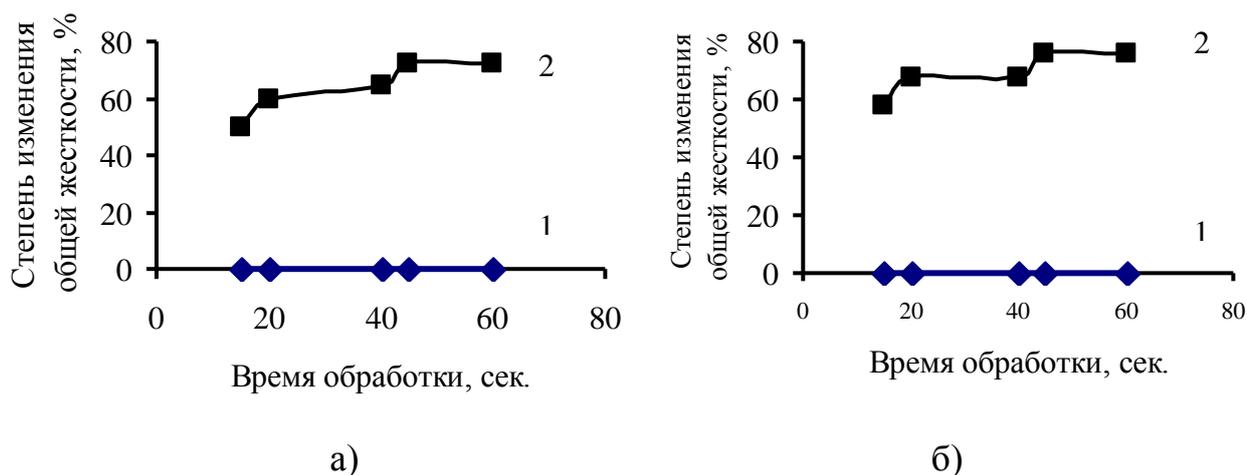


Рис. 6. Зависимость степени изменения общей жесткости воды от времени работы мешалки при разных температурах: а - температура воды 15 °С, б - температура воды 40 °С: 1 – перемешивание водопроводной воды. 2 – перемешивание водопроводной воды с концентрацией аммиака 0,072 % мас.

Степень изменения общей жесткости при перемешивании с добавлением водного раствора аммиака по отношению к перемешиванию водопроводной воды без реагентной обработки при 15 °С и 40 °С составляет, соответственно, 72 % и 76 %. Установлено, что в результате обработки воды:

- при температуре обрабатываемой воды 15 °С осадок образовывался как в объеме раствора, так и на стенках аппарата;

- при температуре обрабатываемой воды 40 °С осадок образовался в объеме раствора.

Кристаллическая модификация карбоната кальция – кальцит и арагонит. Из литературных источников известна способность кристаллов арагонита прилипать к поверхностям существенно ниже, чем у кальцита. Арагонит выделяется в объеме жидкости в виде хрупкого и рыхлого осадка. Данные рентгенографического анализа свидетельствуют об образовании арагонитовой формы карбоната кальция в воде после воздействия интенсивного перемешивания водопроводной воды с добавлением водного раствора аммиака при нагревании воды до 40 °С, что объясняет эффект образования осадка в объеме раствора без осаждения на стенки аппарата.

Перемешивание с применением раствора аммиака и последующей фильтрацией позволяет получить воду с жесткостью в пределах 1,5 - 2 мг-экв/л (мягкая вода), что соответствует стандартам ЕС.

В работе проведены кинетические исследования процесса удаления солей жесткости из раствора водопроводной воды. Кинетика процесса кристаллизации (выпадение солей жесткости в осадок) имеет 2 стадии: 1 – образование центров (или зародышей) кристаллизации; 2 – рост зародыша.

Кристаллизацию можно отнести к топохимической реакции, следовательно, процесс удаления солей жесткости можно описать уравнением Казеева-Ерофеева, с поправкой Саковича.

Исходя из опытных данных, определен порядок реакции. Согласно уравнению Аррениуса определены энергии активации процесса кристаллизации солей жесткости при воздействии интенсивного перемешивания на водопроводную воду без добавления и с добавлением водного раствора аммиака.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 3. В результате термодинамических расчетов с применением уравнения изменения свободной энергии Гиббса (уравнение 16) определен радиус зародыша кристалла, образованный после интенсивного перемешивания с применением раствора аммиака, зависящий от движущей силы процесса (химического потенциала) и энергии Гиббса.

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho \left( \frac{\mu_1 - \mu_2}{M} \right) + 4\pi r^2 \sigma \quad (16),$$

где,  $V$  – объем вещества новой фазы;  $\rho$  – плотность;  $M$  – молекулярная масса;  $\mu_1, \mu_2$  – химические потенциалы;  $\sigma$  - удельная свободная поверхностная энергия границы зародыша со средой;  $S$  – площадь поверхности зародыша.

Результаты расчета радиуса зародыша представлены в табл. 4.

Таблица 3. Результаты кинетических расчетов интенсивного перемешивания водопроводной воды с применением и без применения водного раствора аммиака

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением аммиака
Порядок реакции, $n$	0,79	0,12
Энергия активации, $E$	31,8	29,5
Степень умягчения раствора воды, %	27	72

Таблица 4. Результаты расчета радиуса зародыша

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением водного раствора аммиака
Свободная энергия Гиббса, кДж/моль	-74
Энергия активации, кДж/моль	29,5
Движущая сила процесса, Е мВ	133
Радиус зародыша, мкм	0,89

Микроскопические исследования показали, что среднеквадратичный диаметр образовавшихся частиц солей жесткости через 2 минуты после обработки воды составил 1,419 мкм.

**В пятой главе** на основе экспериментальных данных определен диапазон чисел Рейнольдса, в котором происходит значительное снижение солей жесткости. Зависимости критерия Рейнольдса от числа оборотов мешалки представлена на рис. 7.

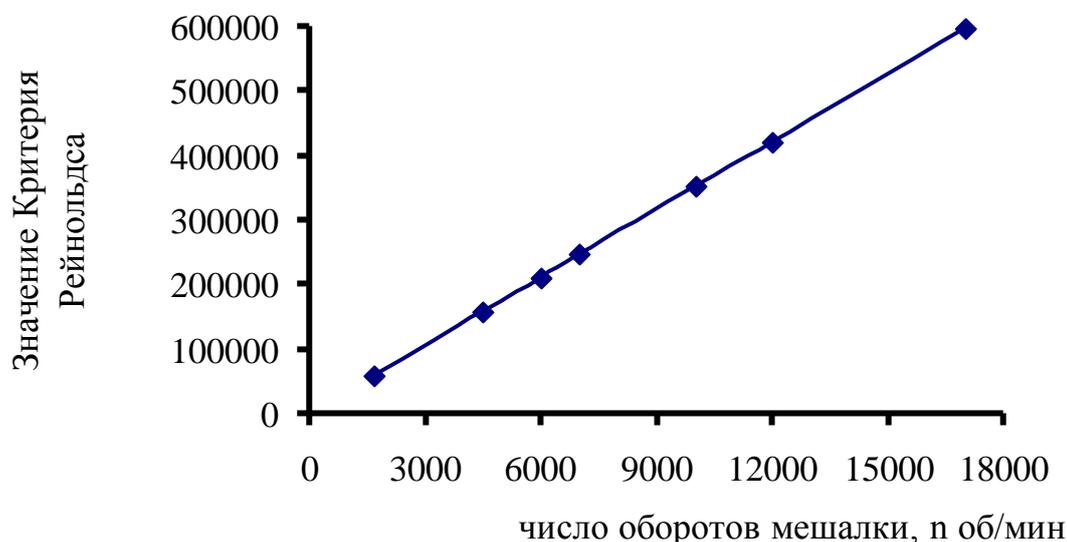


Рис. 7. Зависимость критерия числа Рейнольдса от числа оборотов мешалки

Аппаратурно-технологическая схема установки для умягчения воды представлена на рис. 8.

Характеристика аппарата интенсивного перемешивания шестилопастной мешалки для удаления солей жесткости:  $D/d=2,02$ ,  $H/D= 0,3$ ,  $b/d=0,12$ ,  $S/d=0,4$  ( $D$  – диаметр сосуда;  $d$  – диаметр мешалки;  $H$  – высота слоя жидкости в мешалки;  $b$  – ширина лопасти мешалки;  $S$  – шаг винта).

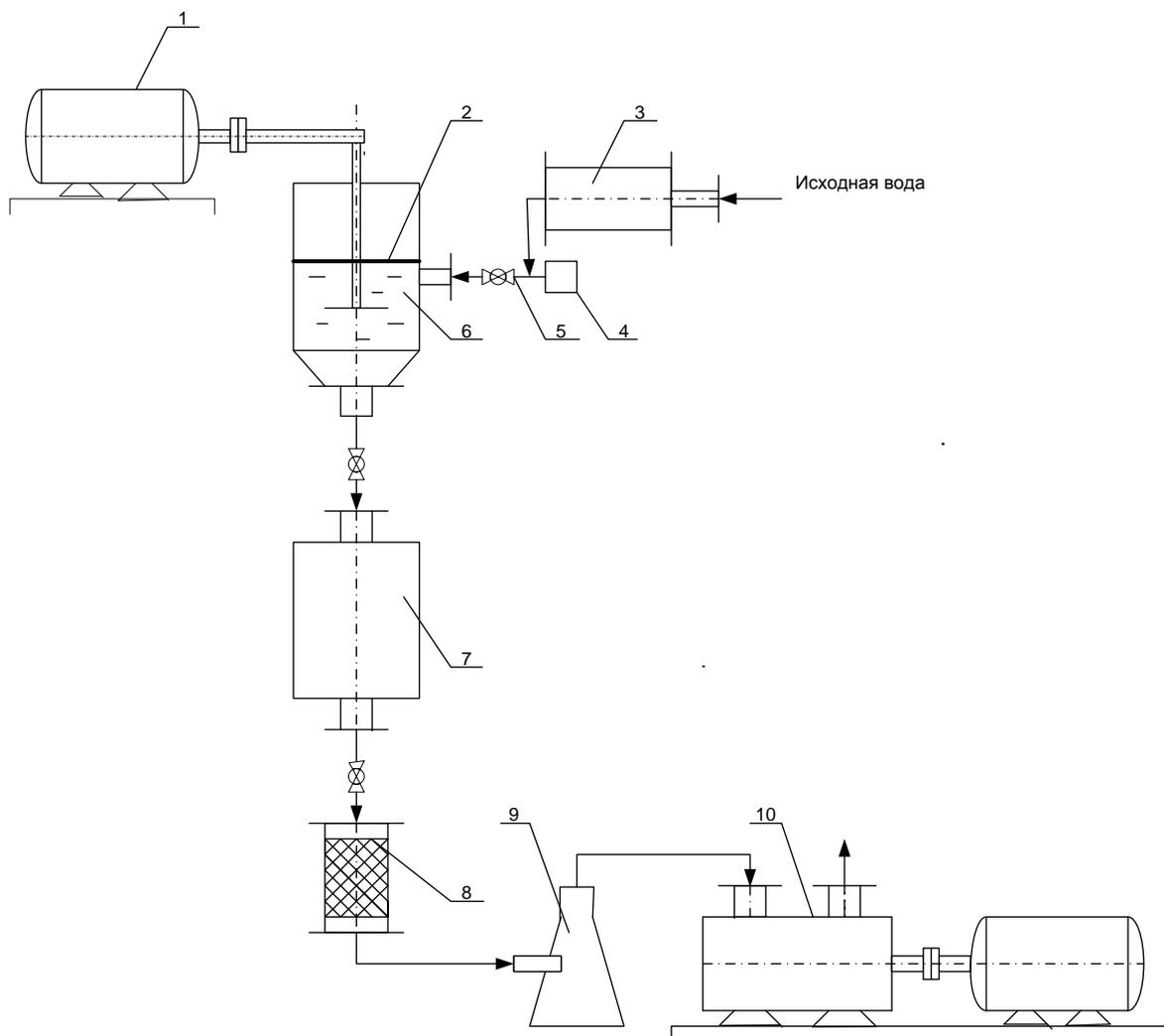


Рис. 8. Аппаратурно-технологическая схема установки для умягчения воды  
 1 – электродвигатель, 2 – регулятор объема, 3 – подогреватель воды, 4 – дозатор аммиака, 5 – шаровый кран; 6 – аппарат с мешалкой; 7 – отстойник; 8 – патронный фильтр; 9 – сборник фильтрата; 10 – вакуумный насос

Расчет аппарата отстойника проведен по формуле Стокса при плотности частицы  $\rho_T = 2,8 \text{ г/см}^3$ , плотности среды  $\rho_c = 0,9982 \text{ г/см}^3$ , диаметре частиц  $1,419 \text{ мкм}$ ; вязкости среды  $1,33 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Скорость осаждения частиц составила

$$w_{oc} = 1,485 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$$

Производительность отстойника:

$$Q = F \cdot w_{oc} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Экспериментально установлено время осаждения частиц – 15 часов.

Для интенсификации процесса очистки воды от образовавшихся солей жесткости обработанный раствор отстаивался в течение 2-10 минут, а затем фильтровался через волокнистый сорбент из термопластов по ТУ 9081-001-

46632946-00. Диаметр используемых волокон 2,8 мкм. Для удаления аммиака из раствора воды использовался природный цеолит (клиноптилолит).

При работе малогабаритной установки объем доочищаемой воды составляет до 0,03 м<sup>3</sup>/час. Результаты расчетов стоимости энергозатрат, используемых материалов при предлагаемой обработке воды в ценах 2010 года представлены в таблице 5.

Таблица 5. Технико-экономические показатели установки по умягчению водопроводной воды

Объем доочищаемой воды, м <sup>3</sup>	1
Потребляемая мощность для очистки 1 м <sup>3</sup> воды, кВт	2,25
Стоимость 1кВт, руб.	3,5
Стоимость энергии расходуемой на умягчение 1 м <sup>3</sup> воды, руб.	7,9
Стоимость водного раствора аммиака, предназначенного для умягчения 1 м <sup>3</sup> воды, руб.	76
Стоимость процесса очистки 1 м <sup>3</sup>	83,9

#### Основные выводы по работе:

1. Удельная электропроводность, солесодержание, жесткость, вязкость, рН, окислительно-восстановительный потенциал зависят от интенсивности перемешивания (от 1650 до 17000 об/мин), температуры и концентрации раствора аммиака (от 0,022 % мас. до 0,072 % мас.).

2. Время контакта фаз, необходимое для умягчения воды до 76 % составило 43 с, размер зародыша кристалла, образованный в результате воздействия 0,072 % мас. аммиака и интенсивного перемешивания составил 0,89 мкм, среднеквадратичный диаметр частиц – 1,419мкм.

3. Воздействие на воду раствора аммиака концентрацией 0,072 % мас. при интенсивном перемешивании приводит к снижению общей жесткости водопроводной воды до значений стандарта ЕС.

4. Интенсивное перемешивание (17 000 об/мин мешалки) воды в присутствии водного раствора аммиака и подогреве воды до 40 °С приводит к образованию структуры карбоната кальция – арагонит, препятствующей отложению осадка на стенках аппарата.

5. Разработанная малогабаритная установка, на основе предложенной методики расчета аппарата удаления солей жесткости из раствора водопроводной

воды, имеет производительность до 30 л/час.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих публикациях:**

Статьи, входящие в перечень рецензируемых изданий ВАК:

1. Куликова М.В., Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Прокудин И.А., Кудрин О.А. Станция питьевого водоснабжения для малых поселков //Известия Томского политехнического университета. Томск, 2010. Т. 317, Вып. 3: С. 222-226.

2. Косинцев В.И., Куликова М.В., Бордунов С.В., Прокудин И.А., Сечин А.И. Анализ физико-химических процессов удаления солей жесткости энтальпийным методом расчета с применением приложения Excel. // Фундаментальные исследования. 2010. Вып. 12.

Публикации в других научных изданиях:

3. Косинцев В.И., Бордунов С.В., Пилипенко В.Г., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А. Сорбенты нефти и нефтепродуктов, получаемые из отходов термопластов.//Успехи современного естествознания. 2007. № 8. С. 84-86.

4. Косинцев В.И., Бордунов С.В., Пилипенко В.Г., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А. Переработка полимерных отходов в сорбенты. // Успехи современного естествознания. 2007. № 8. С. 82-83.

5. Косинцев В.И., Бордунов С.В., Пилипенко В.Г., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А. Вариант решения проблемы переработки полимерных отходов. // Успехи современного естествознания. 2007. № 8. С. 83-84.

6. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Куликова М.В., Прокудин И.А., Косинцев М.В., Программа расчета равновесия химических реакций в широком интервале температур // Современные наукоемкие технологии, 2008, - № 4. - С. 76-78.

7. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Куликова М.В., Прокудин И.А., Косинцев М.В., Фильтрационная очистка сточных вод // Современные наукоемкие технологии, 2008, - № 4. - С. 74-76.

8. Бордунов С.В., Бордунов В.В., Косинцев В.И., Куликова М.В., Кудрин О.А., Прокудин И.А., Сечин А.И. Проблемы и вариант комплексной переработки твердых бытовых отходов // Материалы международного форума: Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. –Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, Т2, 2008 – С. 323-331.

9. Бордунов С.В., Косинцев В.И., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А. Полипропиленовые волокнистые сорбенты - перспективные материалы для очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Вестник Алма-Атинского института связи. Алматы. №3. 2008. - С. 17-20.

10. Косинцев В.И., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А., Бордунов С.В. Расчет равновесия химических реакций в широком интервале температур энтропийным методом/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ № 2009610224. Заявл. 17.11.2008. зарегистрировано в реестре для ЭВМ 11.12.2009.

11. Косинцев В.И., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А., Бордунов С.В. Расчет равновесия химических реакций в широком интервале температур энтальпийным методом/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ № 2009611006. Заявл. 31.10.2008. зарегистрировано в реестре для ЭВМ 16.02.2009.

12. Косинцев В.И., Сечин А.И., Куликова М.В., Прокудин И.А., Бордунов С.В. Питьевое водоснабжение малых поселков // Материалы международного форума: Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, Т2, 2008 – С. 331-340.

13. Косинцев В.И., Беляев В. М., Куликова М.В., Прокудин И.А. Маланова Н.В., Шадская Н.А. Применение щелочных растворов и волокнистых фильтров для умягчения воды. // Современные наукоемкие технологии, 2010, - № 7. - С. 79-80.

14. В.И. Косинцев, С.В. Бордунов, М.В. Куликова, И.А. Прокудин, А.И. Сечин. Антимикробные волокнистые материалы // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: экология, надёжность, безопасность. - Томск: ТПУ, 2009. - С. 192-194.

15. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С. В., Куликова М.В., Прокудин И.А. Применение полипропиленового волокна из отходов для очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Международный форум: Проблемы и перспективы инновационного развития экономики Кузбасса. – Кемерово, 2008. – С. 340-346.

16. Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В, Куликова М.В., Прокудин И.А. Очистка вода с применением механоактивации // Материалы V Общероссийской научной конференции: Современные проблемы науки и образования. – Москва, 2010 – С. 128-129.