

УДК 62-93

UDC 62-93

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТО-МАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

APPLICATION OF ACOUSTIC-MAGNETIC DEVICES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS OF GREENHOUSE COMPLEXES

Оськин Сергей Владимирович

д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код: 2746-7547

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Oskin Sergey Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, professor

RSCI SPIN-code: 2746-7547

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Коржаков Алексей Валерьевич

к.т.н., доцент

РИНЦ SPIN-код: 7659-5644

Адыгейский государственный университет, Майкоп, Республика Адыгея, Россия

Korzhakov Alexey Valeryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Adyghe State University, Maikop, the Republic of Adygeya, Russia

Лойко Валерий Иванович

д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ

РИНЦ SPIN-код: 7081-8615

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Loiko Valery Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured scientific Worker of the Russian Federation

RSCI SPIN-code: 7081-8615

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются проблемы, связанные с образованием накипи на оборудовании и коммуникациях в тепличных комплексах с геотермальными источниками тепла. Для предотвращения накипи на оборудовании и коммуникациях в тепличных комплексах применяют двухконтурные системы геотермального теплоснабжения с промежуточными теплообменниками, в которых геотермальным теплом подогрывается пресная умягченная вода, поступающая в дальнейшем на потребительские нужды. В существующей системе накипеобразованию подвергается теплообменник и коммуникации первичного контура, соприкасающиеся с геотермальным теплоносителем. Образование на теплообменных поверхностях накипи снижает эффективность работы теплообменника и требует периодической остановки для проведения его очистки и вызывает цепочку экономических потерь при производстве, транспортировке и потреблении тепла. В настоящее время применяются физические, химические, биологические и комбинированные методы устранения накипеобразования. В статье выдвигается гипотеза о воздействии акусто-магнитного поля на водные растворы. Экспериментальным путем было установлено, что акусто-магнитное поле влияет на характеристики и размеры кристаллов, твердая фаза становится мельче, а количество частиц становится больше. В результате воздействия акусто-магнитного аппарата на воду образуется большое количество взвешенных в воде микрокристаллов. Они не прилипают к поверхности трубопровода, не

The article discusses scale formation problems of greenhouse complexes with geothermal heat sources. Two-circuit geothermal heat supply systems with intermediate heat exchangers are used to prevent equipment and communications scale. Fresh softened water is heated by geothermal heat and is supplied to consumer needs. The heat exchanger and primary circuit communications contacting with the geothermal heat carrier (geothermal water) are subjected to scale formation in the existing system. A scale formation of heat exchange surfaces reduces the efficiency of the heat exchanger and requires a periodic cleaning and causes a chain of economic losses in the production, transportation and consumption of heat. Currently, we use physical, chemical, biological and combined methods of scale formation prevention. The article also considers hypothesis about the effect of an acoustic-magnetic field on solutions. It was found experimentally, that the acoustic-magnetic field affects to characteristics and dimensions of salt crystals. The number of particles increases and solid phase dimensions decrease. A large number of microcrystals suspended in water are formed as a result of the nonchemical acoustic-magnetic treatment of geothermal water. These crystals do not stick to the pipe surface and do not settle to the bottom, may be filtered out and carry out by water flow from the system

прикипают и не осаждаются на дно. Образовавшиеся кристаллы имеют малые размеры, могут быть отфильтрованы и выносятся водой из системы

Ключевые слова: АКУСТО-МАГНИТНЫЙ АППАРАТ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ОБРАБОТКА ЖИДКОСТИ АКУСТО-МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ, ТЕПЛИЧНЫЙ КОМПЛЕКС, НАКИПЬ

Keywords: ACOUSTIC AND MAGNETIC DEVICE, HEAT SUPPLY, TREATING OF LIQUID BY ACOUSTIC-MAGNETIC FIELDS, SCALE

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-157-025>

Введение. В настоящее время существует целый ряд гипотез, пытающихся объяснить механизм действия электромагнитного и акустического полей на физико-химические и биологические системы. В практике эксплуатации теплотехнического оборудования, при использовании воды обработанной физическими полями наблюдается явление, суть которого состоит в следующем: ранее образовавшаяся накипь становится хрупкой, растрескивается, вспучивается и сравнительно легко отслаивается. Новая же накипь, если и образуется, то в незначительном количестве и через некоторое время разрушается (рассыпается). Обычно описанный процесс становится заметным через несколько месяцев после начала применения безреагентной обработки воды. Предлагаемый способ акусто-магнитной обработки воды, на который имеется патент РФ [6], позволяет уменьшить интервал времени, в течение которого происходит описанный выше процесс, до нескольких дней. Отмеченное явление изучалось многими исследователями, по-разному объясняющими процесс разрушения накипи. В одних работах воде приписывается способность растворять карбонатную и смешанную накипь (Б.П.Татаринов, П.С. Стукалов, М.Ф. Скалазубов) [11]. Другие исследователи утверждают, что коллоидные частицы, образующиеся при обработке воды, проникают в поры накипи, ослабляют сцепление между кристаллами, что и приводит к локальным процессам эрозии, в следствие чего прочность накипи снижается. Существуют и другие концепции, объясняющие процесс воздействия на накипеобразование[2]. Анализ предлагаемых концепций позволяет сделать вывод, что отсутствие

единого мнения предполагает возможность ориентироваться только на процессы, наблюдаемые на практике.

Постановка задачи. Проведённый анализ существующих гипотез механизмов воздействия физических полей на воду даёт возможность выдвинуть гипотезу, основанную на практической эксплуатации акусто-магнитных аппаратов в течение ряда лет, позволяющую обозначить направления описания процессов, происходящих в воде под воздействием акусто-магнитного поля. Практика показывает, что решение проблемы накипеобразования возможно посредством установки акусто-магнитных аппаратов в систему теплоснабжения.

Анализ применения акусто-магнитных устройств в системах теплоснабжения тепличных комплексов. Одной из главных проблем теплоэнергетики является образование накипных отложений на теплообменных поверхностях. Отложение солей карбонатной жесткости на теплообменном оборудовании приводит к снижению температуры нагреваемой воды за счет различных коэффициентов теплопроводности металла и образующегося слоя накипи. Чем больше карбонатная жесткость и выше температура воды, тем с большей скоростью происходит увеличения слоя накипи. Слой накипи толщиной в один миллиметр ухудшает процесс теплообмена на 5-20% в зависимости от состава накипи и типа теплообменника. Если теплообменник будет непродолжительный срок работать на химически не подготовленной воде, то образующаяся накипь толщиной более одного миллиметра внутри теплообменных трубок приводит к уменьшению эффективности использования теплоносителя до 30%. При этом количество переданного нагреваемой воде тепла в три раза меньше, чем количество тепла, содержащееся в прошедшем через нагреватель теплоносителе. Нарастающий слой накипи из-за своей низкой теплопроводности препятствует нормальному протеканию процесса теплообмена, вызывая снижение температуры нагреваемой воды на выходе нагревателя. Под-

держание температуры нагреваемой воды на заданном уровне происходит за счет увеличения расхода теплоносителя, что соответственно приводит к дополнительным потерям[1].

Образование накипи на теплообменных поверхностях снижает эффективность работы теплообменника и требует периодической остановки для проведения его очистки и, главное, вызывает цепочку экономических потерь при производстве, транспортировке и потреблении тепла. В тепловых пунктах – это увеличение потребления электроэнергии насосами, перекачивающими повышенный объем теплоносителя, дополнительные гидравлические и тепловые потери в нагревателях, необходимость их разборки и чистки теплообменных поверхностей. Тепловые потери при транспортировке тепла пропорциональны количеству тепла, содержащегося в теплоносителе, прошедшем по теплопроводам.

На сегодняшний день используются следующие способы борьбы с накипеобразованием: химическая подготовка воды и применение электрохимических, электромагнитных, ультразвуковых устройств, обеспечивающих снижение скорости образования накипи.

Применение химической подготовки воды предотвращает образование накипи на теплообменных поверхностях котлов при соблюдении технологии ее использования в течение всего времени работы теплообменного оборудования, но аварийные заборы воды нарушают технологические процессы, что приводит к скоротечному образованию слоя накипи. В этом случае применяется электрохимическая подготовка воды. В электрохимических противонакипных аппаратах процесс накипеобразования переносится на спецфильтры, на которых образование накипных отложений происходит более интенсивно, чем в теплообменном оборудовании. Но и очищать фильтры электрохимического аппарата от накипи приходится чаще, чем теплообменные поверхности. Кроме того, применение обедненной солями воды в системе горячего водоснабжения капиталоемко[9]. Приме-

нение ингибиторов для предотвращения отложений в системах теплоснабжения одна из передовых технологий, при ее использовании применяются реактивы на основе фосфатов и поликарбонатов. Данная технология требует доработку теплообменного оборудования, монтаж дополнительных химических блоков и ежемесячные расходы на приобретение импортных реактивов.

Безреагентными способами снижения скорости образования накипи являются магнитная, электромагнитная, ультразвуковая обработка воды, которые предотвращают образование накипи посредством формирования из накипеобразующих солей шлама с его последующим удалением при продувках и межсезонных чистках.

Применяемые реагентные методы не позволяют предотвращать накипеобразование, а работают по факту образования накипи. Арсенал безреагентных методов очень широк, у каждой технологии есть свои преимущества и недостатки. Но практически все методы имеют высокие энергетические и эксплуатационные затраты. Несмотря на большое количество научных работ, направленных на повышение эффективности системы теплоснабжения аграрных комплексов, проблема накипеобразования остаётся актуальной. Анализ существующих методов снижения солеотложения в теплотехнических системах показывает, что на данный момент основным способом умягчения воды для теплосетей является методы ионного обмена, реагентные и безреагентные методы. Но практически все методы направлены на устранение уже возникших проблем, а не на предотвращение их возникновения.

Для решения поставленных проблем было создано устройство, которое при низких эксплуатационных затратах имеет высокие показатели устранения накипи на стенках теплотехнического оборудования. Суть устройства заключается в том, что в рабочем зазоре предлагается одновременно использовать акустическое и магнитное поле. Ультразвук поступает

в систему волнообразно в обе стороны от аппарата. Эффективность акустической энергии проявляется в предотвращении формирования первичных кристаллов на трубах. Магнитная обработка заключается в том, что под действием вращающегося магнитного поля ферромагнитные примеси воды укрупняются и адсорбируют на своей поверхности карбонатные кристаллы, в результате чего образование твердой фазы CaCO_3 происходит в толще воды, а не на поверхности труб. С помощью акусто-магнитной обработки имеется возможность существенно замедлить образование неорганических отложений, в несколько раз снизить скорость внутренней коррозии.

Принцип действия акусто-магнитного аппарата основан на применении псевдо-трёхфазного генератора прямоугольных электромагнитных импульсов, который работает в диапазоне частот от 22 до 200 кГц, и подаёт на провод, особым образом намотанный на ферритовое кольцо, сигнал, создающий вращающееся переменное электромагнитное поле, которое необходимо для создания магнитострикционного эффекта в ферритовом кольце[5]. Ферритовое кольцо помещено в корпус и залито компаундом. Для передачи сигнала от корпуса акусто-магнитного аппарата необходимо осуществить посадку с натягом на трубу подходящего диаметра. Труба, в свою очередь, сама становится излучателем, т.е. технологическим элементом, который становится своеобразным продолжением аппарата. В трубе наводится ЭДС самоиндукции, и возникает вторичное электромагнитное поле. За счет электромагнитного резонанса в ферритовом кольце происходит образование акустической волны.

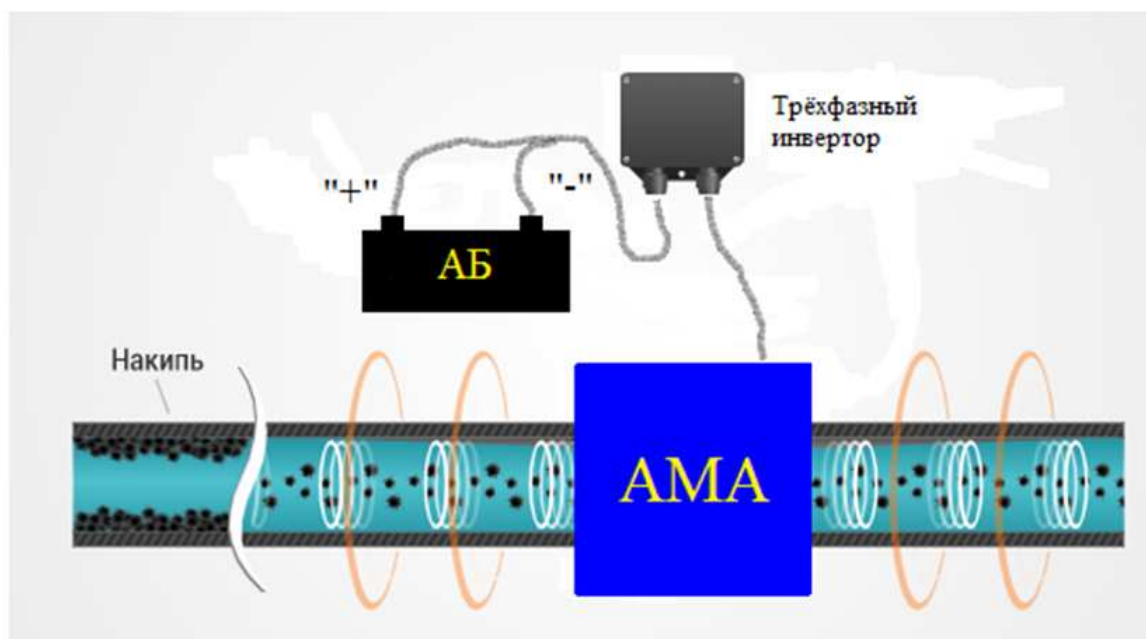


Рисунок 1 – Распространение электромагнитного поля в трубе

Электромагнитное поле направлено поперёк оси трубы (радиально), на рисунке 1 условно показано в виде колец, расположенных в обе стороны от акусто-магнитного аппарата. Следует отметить, что возбуждение продольных волн в ферромагнетиках при использовании механизма, основанного на силе Лоренца, является неэффективным[11].

При воздействии акусто-магнитного поля на водной раствор происходит отталкивание одноименно заряженных ионов кальция от поверхности трубы по направлению к оси трубы. Импульсы, направленные вдоль трубы, вызывают образование из них кластеров (полимероподобных аморфных сгустков ионов), которые впоследствии упорядочиваются. При нагревании воды возникают условия кристаллизации, упорядоченные кластеры кристаллизуются с образованием в массе воды взвешенных микрокристаллов размером порядка 50 микрон, которые потоком воды удаляются из системы и оседают в специально установленных отстойниках.

Радиально направленное электромагнитное поле притягивает свободные электроны на внешнюю поверхность трубы от внутренней, по-

этому внутренняя поверхность трубы приобретают очень слабый положительный заряд.

Экспериментально установлено, что электромагнитная обработка заметно влияет на гидратацию ионов. При этом гидратация диамагнитных ионов уменьшается, что же касается парамагнитных ионов, то для них наблюдается тенденция к увеличению гидратации. Значительные изменения гидратации ионов наблюдается в разбавленных растворах, в которых присутствуют ионы Li^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и ионы, способные к образованию комплексов с водой (Fe^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+}). Положительно заряженные ионы растворенных в воде солей не могут осесть на стенки трубы, отталкиваясь от одноимённых заряженных стенок труб по направлению к оси трубы [3,4,9].

Можно предположить, что акусто-магнитное поле воздействует на ионы уже существующих отложений, удаляя их со стенок трубы, тем самым происходит постепенное удаление накипи. В воде, наряду с положительно заряженными ионами присутствуют также отрицательно заряженные ионы, например гидрокарбонаты. Возможно, под воздействием акусто-магнитного поля аппарата происходит образование свободных кластеров. Свободный кластер представляет собой сгусток ионов, который окружен молекулами воды. Ионы в кластере располагаются хаотично, расстояния между ними неоднородно. Электромагнитные импульсы, направленные вдоль трубы, заставляют положительно и отрицательно заряженные ионы совершать колебательные движения. При этом, предположительно, происходит упорядочивание кластеров, т.е. ионы в них перераспределяются в пространстве в соответствии со своими электрическими зарядами так, как если бы ионы располагались в кристалле. Происходит выравнивание расстояний между ними. Из кластера вытесняются часть молекул воды (рисунок 2).

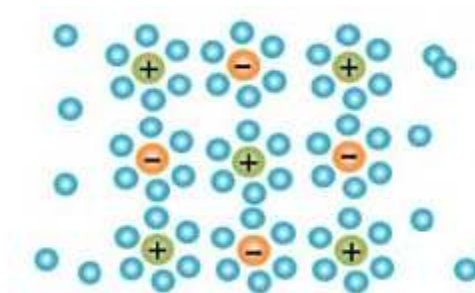


Рисунок 2 – Формирование упорядоченного кластера в воде под воздействием акусто-магнитного поля

В нагретой воде происходит вытеснение молекул воды из упорядоченного кластера с образованием устойчивых микрокристаллов.

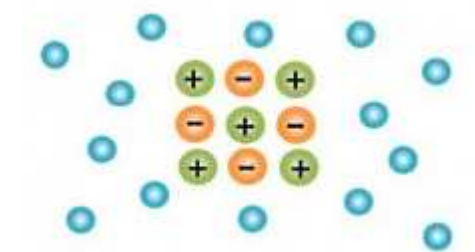


Рисунок 3 – Образование микрокристаллов в воде под воздействием акусто-магнитного поля

В результате воздействия акусто-магнитного аппарата на воду образуется большое количество взвешенных в воде микрокристаллов. Они не прилипают к поверхности трубопровода, не прикипают и не осаждаются на дно. Образовавшиеся кристаллы имеют малые размеры, могут быть отфильтрованы и выносятся водой из системы.

Дальность действия акусто-магнитного аппарата, в зависимости от диаметра трубы на которую будет установлен аппарат и конфигурации системы, составляет от 40 до 2000 метров.

Акусто-магнитная технология предотвращения образования накипи основана на возбуждении ультразвуковых колебаний, распространяющихся по теплообменной поверхности или в толще воды[7]. При воздей-

ствии ультразвука на воду происходит дробление образующихся в воде кристаллов солей, что не позволяет кристаллам достичь размеров, необходимых для образования осадка. Вынужденные высокочастотные вибрации теплообменной поверхности препятствуют осаждению накипи, отталкивая кристаллы солей, существенно снижая скорость формирования твердых отложений. Экспериментальным путем было установлено, что акусто-магнитное поле влияет на геометрические размеры кристаллов, твёрдая фаза становится мельче, а количество частиц (центров кристаллизации) становится больше (рисунок 4).

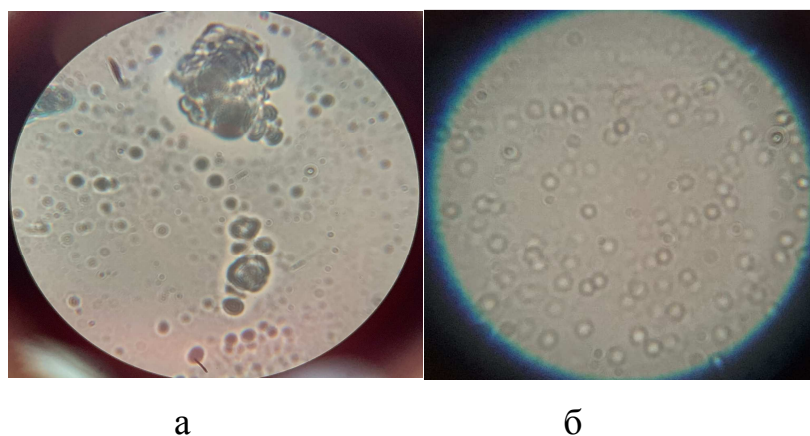


Рисунок – 4 Кристаллы соли, выпавшие в осадок: а - в необработанной воде; б – в воде, прошедшей через рабочую зону аппарата (увеличение 1000х)

Из всех применяемых технологий по защите теплового оборудования от накипных отложений акусто-магнитный способ является наиболее экономичным при высокой эффективности его применения. Акусто-магнитная технология предотвращения образования накипи позволяет продолжительное время работать теплотехническому оборудованию, при этом результаты работы проявляются в сравнительно небольшие сроки [10]. Наиболее наглядно эффективность применения акусто-магнитной технологии можно увидеть на теплообменниках работающих на артезианской воде, карбонатная жесткость которой составляет до 10 мг-экв/литр, при выходной темпе-

ратуре нагреваемой воды до 89°C. Работа теплообменника в таком режиме приводит к необходимости его остановки два раза в месяц для проведения очистки теплообменных поверхностей. Толщина слоя накипи, образующегося за две недели работы теплообменника, достигает 3-5 мм. Оснащение таких нагревателей акусто-магнитными аппаратами позволит увеличить время работы нагревателя между его вынужденными остановками для проведения очистки.

Заключение. Выдвинутая гипотеза о воздействии акусто-магнитного поля на водные растворы позволяет представить механизм взаимодействия акусто-магнитного поля с водой. Экспериментальным путем было установлено, что акусто-магнитное поле влияет на геометрические размеры кристаллов, твёрдая фаза становится мельче, а количество частиц (центров кристаллизации) становится больше. Практика показала, что из всех применяемых технологий по защите теплового оборудования от накипных отложений акусто-магнитный способ является наиболее экономичным при высокой эффективности его применения. Акусто-магнитная технология предотвращения образования накипи позволяет продолжительное время работать теплотехническому оборудованию, при этом результаты работы проявляются в сравнительно небольшие сроки.

Литература

1. Андреев А.Г. Применение акустических противонакипных устройств в малой энергетике / А.Г. Андреев, П.А. Панфиль. "Энергосбережение и водоподготовка", № 12, 2003).// Журнал "Новости теплоснабжения", www.ntsni.ru.
2. Капылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Издательский дом МЗИ, 2006. – 309 с.
3. Классен В. И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982.
4. Классен В.И. Вопросы теории и практики магнитной обратотки воды и водных смесей. – М.: Наука, 1971.
5. Коржаков А.В., Лойко В.И. Исследование эффективности акусто-магнитной обработки водных систем // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ)

[Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – №05(03). IDA [article ID]: 0050403007. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/03/pdf/07.pdf>.

6. Коржаков А.В., Коржаков В.Е., Оськин С.В. Способ безреагентной обработки воды // Патент РФ №2641822,С1 С02F 1/36. Заявка 2017100213, 09.01.2017. Оpubл. 22.01.2018. Бюл. №3.

7. Оськин С.В., Коржаков А.В. Предупреждение коррозии и солеотложения в системах геотермального теплоснабжения. Журнал «Сельский механизатор» №2 2020г. Стр.18-19.

8. Стукалов П. С. и др. Магнитная обработка воды. – Л.: Судостроение, 1969. – 192с.

9. Тебенихин Е. Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. – М.: Энергоиздат, 1985.

10. Korzhakov Alexey. Proceedings - 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018 / Investigation of influence of pulse voltage form on change of voltage gradient of magnetic field in working zone of acoustic and magnetic device model. / Alexey Korzhakov, Sergei Oskin.

11. Masahiko Hirao, Hirotugu Ogi «EMATS for science and industry non contacting ultrasonic measurements» Kluwer Academic Publishers, 2003.-p.372.

References

1. Andreev A.G. Primenenie akusticheskix protivonakipny`x ustrojstv v maloj e`nergetike / A.G. Andreev, P.A. Panfil. "E`nergoberezhenie i vodopodgotovka", № 12, 2003)// Zhurnal "Novosti teplosnabzheniya", www.ntsni.ru.

2. Капу`лов А.С., Лавы`гин В.М., Очков В.Ф. Vodopodgotovka v e`nergetike: Ucheb–noe posobie dlya vuzov. – 2-e izd., stereotipnoe. – М.: Izdatel`skij dom MZI, 2006. – 309 s.

3. Klassen V. I. Omagnichivanie vodny`x sistem. – М.: Ximiya, 1982.

4. Klassen V.I. Voprosy` teorii i praktiki magnitnoj obratutki vody` i vod-ny`x smesey. – М.: Nauka, 1971.

5. Korzhakov A.V., Lojko V.I. Issledovanie e`ffektivnosti akusto-magnitnoj obrabotki vodny`x sistem // Politematicheskij setевой e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Краснодар: KubGAU, 2005. – №05(03). IDA [article ID]: 0050403007. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2004/03/pdf/07.pdf>.

6. Korzhakov A.V., Korzhakov V.E., Os`kin S.V. Sposob bezreagentnoj obra-botki vody` // Patent RF №2641822,С1 S02F 1/36. Zayavka 2017100213, 09.01.2017. Opubl. 22.01.2018. Byul. №3.

7. Os`kin S.V., Korzhakov A.V. Preduprezhdenie korrozii i soleotlozheniya v siste–max geotermal`nogo teplosnabzheniya. Zhurnal «Sel`skij mexanizator» №2 2020g. Str.18-19.

8. Stukalov P. S. i dr. Magnitnaya obrabotka vody`. – Л.: Sudostroenie, 1969. – 192s.

9. Tebenixin E. F. Bezreagentny`e metody` obrabotki vody` v e`nergoustanovkax. – М.: E`nergoizdat, 1985.

10. Korzhakov Alexey. Proceedings - 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018 / Investigation of influence of pulse voltage form on change of voltage gradient of magnetic field in working zone of acoustic and magnetic device model. / Alexey Korzhakov, Sergei Oskin.

11. Masahiko Hirao, Nirotugu Ogi «EMATS for science and industry non contacting ultrasonic measurements» Kluwer Academic Publishers, 2003.-r.372.