**Григорьев Алексей Львович. Формирование ударных волн импульсными электрическими разрядами в воде и исследование их воздействия на преграды : диссертация ... кандидата технических наук : 01.02.05 Москва, 2007 129 с., Библиогр.: с. 115-129 РГБ ОД, 61:07-5/4383**

**61** **07**-**5/4383**

**Исследовательский Центр им. М.В. Келдыша**

**На правах рукописи**

Григорьев Алексей Львович

УДК 532. 593

**ФОРМИРОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ В ВОДЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРЕГРАДЫ**

Специальность: 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук Нагель Юрий Анатольевич

Научный консультант: доктор технических наук Десятов Андрей Викторович

Москва

2007

**СОДЕРЖАНИЕ Введение Обзор литературы. Постановка задачи Результаты расчетно-теоретического исследования**

Исходные эмпирические зависимости Результаты расчетов Обобщение результатов расчетов Взаимодействие УВ с макро- и микро- прегра­дами в воде

**Устройство для возбуждения УВ в во­де микросекундными импульсными электрическими разрядами**

Принцип действия и блок-схема

Узел для сброса энергии в воду и формировав

ния плазменного канала

***Особенности формирования плазменного канала при импульсном электрическом разряде в воде и других жидкостях* •**

***Электроразрядный узел. Обоснование технического решения* .**

***Исходные данные к проектированию опытного элек- троразрядного узла***

Конструкции рабочих гидрокамер ***Непроточные рабочие гидрокамеры Проточные рабочие гидрокамеры***

**Методика и результаты эксперимен­тальных исследований**

Методика измерений при проведении экспери­ментальных исследований

***Обоснование и формирование требований к динамиче­ским средствам измерений***

***Выбор динамических средств измерения давления и тока***

***Отработка динамических средств измерений и реги­страции***

***Определение эффективности воздействия УВ на мик­ро-преграды***

Результаты экспериментальных исследований ***Воздействие УВ на макро- преграды Результаты испытаний электроразрядного узла Сопоставление экспериментальных и расчетных***

з

***данных***

***Исследование воздействия УВ на микро- преграды***

***Результаты воздействш УВ на микро-преграды при мощных разрядах***

***Результаты воздействия УВ на микро-преграды при разрядах средней мощности***

***Результаты воздействия УВ на микро-преграды при наличии разделительной мембраны Сопоставление экспериментальных и расчетных дан­ных***

**Электроимпульсная технология обез­зараживания воды и других жидкостей ударными' волнами. Приложение по­лученных результатов**

Влияние формы рабочей гидрокамеры на эф­фективность воздействия УВ на микроорга­низмы

Зависимость эффективности обеззараживания от типа воды

Явление последействия и физико-химические показатели воды после импульсного разряда Обеззараживающее действие ударных волн при наличии разделительной мембраны Сопоставление эффективности обеззаражива­ния ударными волнами при разрядах различ­ной мощности

Общие рекомендации по выбору проектных параметров конструкции опытной ЭИ установ­ки обеззараживания воды ударными волнами **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Список использованных источников**

**Введение**

**Актуальность темы.** Начало всестороннему исследованию электроим- пульсной (ЭИ) технологии, основанной на быстром (за время ~10‘5-Н0'6 с) сбросе электрической энергии из емкостного накопителя в воду, приводящем к образованию расширяющейся плазмы и формированию ударных волн (УВ), воздействующих на преграды, было положено в начале 50-х годов 20 века. ЭИ технологии нашли широкое применение в технологических процессах. Разработаны и эксплуатируются ЭИ установки по очистке литья в массовом производстве в литейных цехах, передвижные комплексы для разрушения негабарита, мелкого дробления и диспергирования, для электровзрывного уплотнения и т.д. Разработка перечисленных ЭИ устройств стимулировала проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов, лежащих в основе ЭИ технологии. Изучены закономерности возникновения и развития импульсного электрического разряда в воде, свойства плазмы в ка­нале разряда, взаимодействие расширяющегося плазменного образования с окружающей средой (водой), переходные процессы в электроразрядной цепи, гидродинамические и теплофизические характеристики, критерии подобия, получены эмпирические формулы для амплитуды давления УВ на различном удалении от канала разряда.

В связи с прогрессом импульсной энергетики за последние 20-30 лет появилась возможность развития на качественно новом уровне направлений ЭИ технологии, не нашедших до недавнего времени практического примене­ния, и формирования новых направлений. Среди востребованных в настоя­щее время направлений ЭИ технологий следует выделить:

* моделирование импульсных механических нагрузок от потоков высоких энергий на элементы конструкций изделий ракетно-космической техники,
* упрочнение металлов и сплавов и нанесение покрытий,
* генерирование в жидкостях ударных волн (УВ) с толщиной фронта порядка 102нм и менее при малых энергозатратах для решения различных технологи­ческих задач, связанных с импульсным механическим воздействием на раз­личные макро- и микро- объекты (дроблением, разрушением, обеззаражива-

**\***

нием воды и др. жидкостей и т.д.).

Результаты предварительных экспериментальных исследований пока­зали, что при толщине фронта УВ порядка 102нм и менее существенно воз­растает эффективность ряда технологических процессов, что приводит к снижению их удельной энергоемкости. Это позволяет рассматривать данное направление ЭИ технологии как весьма перспективное и актуальное.

**Цель диссертационной работы** - экспериментальное исследование взаимодействия УВ, возбуждаемых мощными микросекундными импульс­ными электрическими разрядами в воде со скоростью нарастания тока разря-

*т*

да в плазменном канале до ~10пА/с, с макро- и микро- преградами в воде, создание научно-технического задела для разработки опытных ЭИ установок для различных технологических процессов, в том числе для обеззараживания ударными волнами воды и др. жидкостей, диспергирования органических жидкостей и т.д.

**В ходе выполнения работы решались следующие задачи:**

* Расчетно-теоретическое исследование параметров процесса возбужде­ния УВ в воде импульсным электрическим разрядом, определение взаимо­связи между параметрами (давлением в точке наблюдения, характеристиками

\*

разрядной цепи и удельными энергозатратами).

* Разработка и создание стендового варианта ЭИ установки со скоростью нарастания тока разряда в воде до ~10пА/с, позволяющей формировать УВ с перепадом давления на фронте до 40-50 кбар в области, находящейся в непо­средственной близости к плазменному каналу разряда.
* Обоснование, формирование требований и выбор динамических средств измерения давления на фронте УВ и тока разряда через плазменный канал. Отработка первичных средств электрических измерений, определение и устранение искажений, вносимых передающими линиями в условиях силь­ных электромагнитных помех, сопровождающих разряд.
* Анализ физических процессов, сопровождающих импульсный элек­трический разряд в воде и формирование плазменного канала, исследование взаимодействия УВ с макро-преградами в воде при различных энергиях раз­ряда, разработка и отработка устройств для возбуждения УВ в воде мощны­ми импульсными электрическими разрядами.
* Разработка методики и проведение экспериментальных исследований взаимодействия УВ с микро-преградами (микроорганизмами) в воде и др. жидкостях в диапазоне энергий разряда ~102+2'104 Дж. Определение зависи­мости эффективности разрушения микро-преград от энергии разряда, формы рабочей гидрокамеры, типа воды (жидкости).
* Обобщение полученных результатов. Разработка рекомендаций по выбору проектных параметров конструкции опытной ЭИ установки для обез­зараживания воды и др. жидкостей ударными волнами, диспергирования ор­ганических жидкостей и пр.

**Научную новизну** представляют:

* Результаты расчетно-теоретического исследования процесса возбуж­дения УВ в воде импульсными электрическими разрядами, позволяющие за счет выбора параметров разрядной цепи формировать УВ с требуемым пе­репадом давления на фронте и минимизировать удельные энергозатраты.
* Методика применения известных динамических методов измерения давления на фронте УВ и тока разряда через плазменный канал в условиях воздействия мощных электромагнитных помех, сопровождающих импульс­ные электрические разряды.
* Результаты экспериментальных исследований взаимодействия УВ с макро-преградами, позволившие обосновать техническое решение и создать работоспособный стендовый вариант узла для сброса энергии в воду и фор­мирования плазменного канала (электроразрядного узла) для возбуждения УВ в воде при энергии разряда до 1.2-103 Дж и скорости нарастания тока в плазменном канале до ~1011 А/с.
* Результаты экспериментального исследования взаимодействия. УВ с микро-преградами (микроорганизмами) в воде и др. жидкостях в диапазоне энергий разряда ~102+2-104 Дж., полученные зависимости эффективности разрушения микро-преград от энергии разряда, определяющей параметры УВ, формы рабочей гидрокамеры, типа воды (жидкости), данные, подтвер­ждающие возможность эффективного применения мембраны, отделяющей зону разряда от исследуемой жидкости.
* Рекомендации по выбору проектных параметров конструкции опыт­ной ЭИ установки обеззараживания воды ударными волнами.

**На защиту выносятся;**

* Результаты расчетно-теоретического исследования процесса возбуж­дения УВ в воде импульсным электрическим разрядом, позволяющие за счет выбора параметров разрядной цепи ЭИ установки формировать УВ с тре­буемым перепадом давления на фронте и минимизировать удельные энерго­затраты.
* Методика применения известных динамических методов измерения давления на фронте УВ и тока разряда через плазменный канал в условиях воздействия мощных электромагнитных помех, сопровождающих импульс­ные электрические разряды.
* Результаты экспериментальных исследований взаимодействия УВ с макро-преградами, позволившие обосновать техническое решение и создать работоспособный стендовый вариант узла для сброса энергии в воду и фор­мирования плазменного канала (электроразрядного узла) для возбуждения УВ в воде при энергии разряда до 1.2-103 Дж и скорости нарастания тока в плазменном канале до ~10пА/с, предложенный способ прогнозирования ре­сурса узла.
* Результаты экспериментального исследования взаимодействия УВ с микро-преградами (микроорганизмами) в воде и др. жидкостях в диапазоне энергий разряда ~102-КМ04 Дж., полученные зависимости эффективности разрушения микро-преград от энергии разряда, определяющей параметры

УВ, формы рабочей гидрокамеры, типа воды (жидкости), данные, подтвер­ждающие возможность эффективного применения мембраны, отделяющей зону разряда от исследуемой жидкости.

- Результаты приложения полученных данных к проблеме обеззаражи­вания ударными волнами различных жидкостей, рекомендации по выбору конструкции опытной ЭИ установки обеззараживания воды и параметров ее основных блоков.

**Практическая ценность.** Полученные в работе результаты представ­ляют собой научно-технический задел, позволяющий приступить к разработ­ке опытных установок обеззараживания воды и других жидкостей на основе ЭИ технологии, оценить эффективность применения ЭИ технологии при ско­рости нарастания тока ~10пА/с для решения различных практических задач, связанных с воздействием УВ на преграды (дроблением, разрушением раз­личных макро- и микро- объектов и т.д.), диспергированием органических жидкостей.

**Внедрение.** Полученные результаты внедрены в Центре Келдыша.

Способ и устройство для генерирования УВ в воде импульсным элек­трическим разрядом использовались при проведении исследований по обез­зараживанию воды и др. жидкостей, диспергированию органических жидко­стей, оценке возможности штамповки изделий сложной формы.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов и сделан­ных на их основе выводов базируются на повторяемости экспериментов и надежности измерений, подтвержденной проверкой путем подачи тестовых сигналов и косвенными данными (при электрических измерениях), совпаде­нием данных экспертизы различных специализированных организаций (при определении количества микроорганизмов, подвергнувшихся деструкции ударными волнами).

Апробация. Результаты работы докладывались на конференциях:

1. Third International Conference & Exhibition “Small Satellites: New

Technologies, Miniaturization. Efficient Applications in the 21st Century”

Symposium I ’’Small Satellite Powwer Supply and Attiude Control Systems”, Korolev, Moscow Region, Russia, 2002.

2. 5 Международный конгресс «Экватек-2002» «Разработка опытно­промышленной электроимпульсной установки для обеззараживания воды».

**Публикации.** Основные результаты работы изложены в 7 научных трудах: в том числе 3 печатных [76, 114, 148], и 4 научно-технических отче­тах [81,115, 149,150].

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из пяти глав, введения и заключения.

В первой главе приведен обзор литературы, описаны результаты иссле­дований процессов, связанных с образованием при импульсных электриче­ских разрядах в воде плазменного канала, его динамикой, формированием и распространением УВ, даны области практического применения ЭИ техноло­гий. Выделены востребованные и актуальные в настоящее время направления ЭИ технологии. Дана постановка диссертационной работы: сформулирована цель работы и перечислены задачи, решение которых необходимо для дос­тижения поставленной цели.

- Вторая глава посвящена расчетно-теоретическому исследованию при помощи эмпирических зависимостей параметров УВ, возбуждаемых в воде импульсным электрическим разрядом. Результаты представлены в виде зави­симости давления на фронте УВ от расстояния от оси плазменного канала *для* различных параметров разрядной цепи (электрической емкости накопи­теля, начального напряжения, индуктивности и др.). На основе анализа и обобщения расчетных данных определены параметры ЭИ установки, позво­ляющие за счет выбора параметров разрядной цепи формировать УВ с тре­буемым перепадом давления на фронте и минимизировать удельные энерго­затраты. Рассмотрены вопросы взаимодействия УВ с макро- и микро- пре­градами в воде.

В третьей главе описан принцип действия устройства для возбуждения УВ в жидкостях мощными электрическими разрядами, дана блок-схема уст­ройства, обоснован выбор конкретных элементов блок-схемы. Сформулиро­ваны требования к наиболее напряженному элементу - узлу для сброса энер­гии в воду и формирования плазменного канала (электроразрядному узлу). Описаны техническое решение и разработанная конструкция узла, схемы и конструкции использовавшихся модельных рабочих гидрокамер.

В четвертой главе описана методика и результаты экспериментальных исследований. Дано обоснование выбора динамических средств измерений давления на фронте УВ, тока разряда через плазменный канал, описана мето­дика применения этих средств в условиях электромагнитных помех, созда­ваемых мощными электрическими разрядами, и устранения искажений, вно­симых передающими линиями. Приведены результаты экспериментального исследования взаимодействия УВ с макро- и микро-преградами (элементами электроразрядного узла и микроорганизмами) в воде при различных энергиях разряда, результаты сопоставления экспериментальных и расчетных данных

Пятая глава посвящена приложению полученных данных к проблеме обеззараживания воды и др. жидкостей. Рассмотрены вопросы, связанные с влиянием формы рабочей камеры, энергии разряда, типа воды на эффектив­ность обеззараживания воды ударными волнами, с возможностью примене­ния мембраны, отделяющей зону разряда от обеззараживаемой жидкости. Даны рекомендации по выбору конструкции опытной ЭИ установки обезза­раживания воды и параметров ее основных блоков.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе решена задача создания научно­технического задела для разработки опытных электроимпульсных (ЭИ) установок для возбуждения ударных волн (УВ) мощными микросекундными импульсными электрическими ^разрядами в воде со скоростью нарастания тока разряда в плазменном канале до ~10иА/с и применения УВ для различных технологических процессов, в том числе обеззараживания воды и др. жидкостей, включающего:

* устройство для возбуждения УВ, методику выбора его параметров, отработанную конструкцию узла для сброса энергии в воду и формирования плазменного канала (электроразрядного узла);
* результаты экспериментального исследования взаимодействия УВ с макро- и микро- преградами в воде и др.
* рекомендации по выбору геометрических параметров рабочих гидрокамер, обеспечивающих эффективность технологического процесса при минимальных удельных энергозатратах;
* методику применения динамических методов измерения и контроля параметров ударной волны и импульса тока через плазменный канал.

Выводы:

1. На основе эмпирических соотношений проведено расчетно­теоретическое исследование распространения УВ, генерируемых импульсным электрическим разрядом в воде. Определены расчетные параметры процесса, позволяющие минимизировать удельные энергозатраты при заданном перепаде давления на фронте УВ. Разработан и создан стендовый вариант ЭИ установки со скоростью нарастания тока разряда в плазменном канале до ~10пА/с, обеспечивающей возможность реализации расчетных параметров.
2. Предложена методика применения известных динамических методов измерения давления на фронте УВ и тока разряда через плазменный канал в условиях воздействия мощных электромагнитных помех, сопровождающих импульсные электрические разряды.
3. Исследовано взаимодействие УВ с макро-преградами в воде при различных энергиях разряда и предложено техническое решение, позволившее создать работоспособный стендовый вариант узла для сброса энергии в воду, формирования плазменного канала и возбуждения УВ в воде при энергии разряда до 1.2-10^ Дж. Работоспособность узла подтверждена ресурсными испытаниями в утяжеленных условиях при энергии разряда (0.8 \*1.2) -103 Дж, предложен способ прогнозирования ресурса узла.
4. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования взаимодействия УВ с микро-преградами (микроорганизмами) в воде и др. жидкостях (обезжиренном молоке, подсырной сыворотке, пиве) в диапазоне энергий разряда ~102\*2-104 Дж. Получены зависимости эффективности разрушения микро-преград от энергии разряда, определяющей параметры УВ, формы рабочей гидрокамеры, типа жидкости, данные, подтверждающие возможность эффективного применения мембраны, отделяющей зону разряда от исследуемой жидкости.
5. Разработаны рекомендации по выбору проектных параметров конструкции опытной ЭИ установки обеззараживания воды ударными

**і**

волнами производительностью 1-2 м /ч.

Список использованных источников

1. Пристли Дж. Экспериментальные исследования поперечных усилий электрических взрывов.// Phil. Trans. Roy. Soc. London A, 1769, с 57-62
2. Юткин JI.A. Электрогидравлический эффект.//М.: МАШГИЗ, 1955.
3. Юткин J1.A., Гольцова Л.И. Гидравлический вибратор.// Патент СССР №126400 от 15.05.83, приоритет от 26.10.55
4. Юткин JI.A., Гольцова Л.И. Устройство для очистки поверхностей от загрязнений.// Патент СССР №153827 от 08.02.68, приоритет от

06.12.57

1. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ резания материалов и устройство для осуществления этого способа.// Патент СССР №110179, приоритет от 07.06.55
2. Жравецкий Ю.В., Рейфисов М.Г., Юткин Л.А. Устройство для резания материала посредством электрогидравлического удара.// Патент СССР №120113, приоритет от 15.05.57
3. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ получения высоких и сверхвысоких давлений.// Патент СССР № 105011, приоритет от 15.04.50
4. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ получения сверхвысоких гидравлических давлений.// Патент СССР №119074, приоритет от 15.04.50
5. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ получения высоких и сверхвысоких давлений.// Патент СССР №148724, приоритет от 22.03.51

Ю.Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Электрогидравлическое устройство. // Патент СССР №121885, приоритет от 10.02.58

1. Юткин Л.А., Яссиевич Г.Н. Способ повышения эффективности электрогидравлических устройств. // Патент СССР №161820, приоритет от 04.10.61
2. Юткин Л.А,, Мельникова А.Н. Способ получения удобренной почвы непосредственно в поле. // Патент СССР №260303, приоритет от 17.02.60

• 116

1. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ бурения шпуров и скважин и устройство для его осуществления. // Патент СССР №100876, приоритет от 16.01.52
2. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ взрывания горных пород и других материалов и устройство для его осуществления. // Патент СССР №123500, приоритет от 04.03.57
3. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Электрогидравлический способ разрушения горных пород и других материалов. // Патент СССР №123911, приоритет от 12.11.57
4. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Электрогидравлический бур для бурения скважин. // Патент СССР №118436, приоритет от 12.11.57
5. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ возбуждения упругих волн в толще земной коры при сейсмической разведке. // Патент СССР №106338, приоритет от 13.07.53
6. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ дробления твердых материалов. // Патент СССР №126348, приоритет от 10.12.57
7. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ обработки материалов высоким и сверхвысоким давлением: // Патент СССР №216602, приоритет от 06.11.64
8. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ механической обработки (например, дробление, очистка, бурение) вязких, волокнистых, твердых материалов при помощи электрогидравлических ударов. // Патент СССР №237068, приоритет от 08.01.58
9. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Устройство для разрушения монолитных объектов. // Патент СССР №357345, приоритет от 23.08.62
10. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ разрушения монолитных объектов, преимущественно горных\* пород. // Патент СССР №407048, приоритет от 26.09.61
11. Берсенев B.C., Юткин Л.А. Гидравлический насос. // Патент СССР №107557, приоритет от 20.12.56
12. Юткин Л.А., Гольцова „ Л.И. Гидравлический объемный насос. // Патент СССР №110887, приоритет от 17.03.55
13. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Электрогидравлический способ подачи и распыла жидких топлив и других жидкостей и устройство для его осуществления. // Патент СССР №119403, приоритет от 20.01.51
14. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Способ очистки питьевых и сточных вод. //Патент СССР №196632 от 15.05.83, приоритет от 02.01.58
15. Юткин Л.А., Гольцова Л.И. Устройство для очистки питьевых и сточных вод. // Патент СССР №225799 от 15.05.83, приоритет от
16. ,
17. Поздеев В. А. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости. //Киев: Наукова думка, 1980.
18. Гаврилов Г.Н., Горовенко Г.Г., Малюшевский П.П., Рябинин А.Г. Разрядноимпульсная технология обработки минеральных сред.//Киев: Наукова думка, 1979
19. Горовенко Г.Г., Вишневский В.Б., Малюшевский П.П., Ляпис Д.Н. Оптимизация условий электрогидравлического диспергирования материалов на примере глинистых минералов/Юсновные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1980
20. Сизоненко О.Н., Малюшевский П.П., Горовенко Г.Г. Разрадно- импульсная технология дробления и измельчения абразивных материалов// Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1980
21. Мериин Б.В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий.// Ленинград: Машиностроение, 1985
22. Костыркин Б.В., Васильева А.Н., Качкаров А.Г., Шевченко Е.Т. Исследование влияния параметров разрядного контура ЭГУ и числа разрядов на эффективность и степень отделения керамики от отливок точного литья по выплавляемым моделям// Разрядно-импульсные

технологические процессы. Сб. научных трудов. //Киев: Наукова думка, 1982 ’

1. Ризун А.Р. Электрические и гидродинамические характеристики электрогидравлических установок по выбивке высокопрочных стержневых и формовочных смесей из отливок/Юсновные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1980
2. Приходько В.В., Качкаров А.Г., Костыркин Б.В. Эффективность электрогидравлического способа очистки отливок// Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1980
3. Поздеев В .А., Бескаравайный Н.М., Ковалев В.Г. Импульсные возмущения в газожидкостных средах. // Киев: Наукова думка, 1988
4. Ивлиев А.И., Гнесин Г.Г., Малюшевский П.П., Горовенко Г.Г. Виброимпульсное прессование порошковых материалов//Новое в разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1979
5. Мирошниченко Е.К., Радутман Я.С., Ивлиев А.И., Малюшевский П.П. Применение импульсного электрического разряда в жидкости для прессования изделий из порошка твердого сплава// Физика и технология электрогидроимпульсной обработки материалов. Сб. научных трудов. - Киев: Наукова думка, 1984
6. Черушев В.В., Бакалов Л.С., Литвиненко И.М. Электрогидроимпульсная штамповка панелей пластинчатых теплообменных аппаратов// Новое в разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов. - Киев: Наукова думка, 1979
7. Мазуровский Б.Я., Гуляева Л.Ю., Кириченко B.C. Оценка контактного давления в прессовых соединениях трубы с трубной решеткой при электроимпульсной запрессовке// Физика и технология электрогидроимпульсной обработки материалов. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1984
8. Гулый Г.А., Сысоев В.Г., Бабей Ю.И. Электрогидроимпульсная обработка как метод поверхностного упрочнения деталей машин// Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1978
9. Левинсон Е.М., Лев B.C., Гуткин Б.Г., Лившиц А.Л., Юткин Л.А. Электроразрядная обработка материалов.// М.: Машиностроение, 1971.
10. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости.// Киев: Наукова думка, 1986
11. Царенко П.И., Ризун А.Р., Жирнов М.В., Иванов В.В. Гидродинамические и теплофизические характеристики мощных подводных искровых разрядов.// Киев: Наукова думка, 1984
12. Окунь И.З. Применение методов размерности и подобия к исследованию импульсного разряда в воде//ЖТФ, 1967, т. XXXVII, вып.9, стр. 1929-1738
13. Окунь И.З. Исследование электрических характеристик импульсного разряда в жидкости. I. //ЖТФ, 1969, т. XXXIX, вып.5, стр. 837-839

47.Окунь И.З. Исследование электрических характеристик импульсного разряда в жидкости. II. //ЖТФ, 1969, т. XXXIX, вып.5, стр. 850-861

1. Окунь И.З. Исследование' волн сжатия, возникающих при импульсном разряде в воде //ЖТФ, 1971, т. XLI, вып.2, стр. 292-301
2. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. // М.: Наука, 1971
3. Шамко В.В., Кучеренко В.В. Применение модели несжимаемой жидкости к задаче о расширении канала подводной искры// Электрический разряд в жидкости и его применение. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1977
4. Жекул В.Г., Бутаков Б.И., Ризун А.Р. Исследование пробоя в ограниченном объеме водного электролита// Волновые процессы в жидкости и элементах конструкций электрогидравлических установок. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1990
5. Гулый Г.А., Иванов В.В., Рыбка О.М. Термодинамические потенциалы вещества переходного слоя вода-плазма в канале подводных искровых разрядов электрогидравлических установок// Электроразрядные процессы: теория, эксперимент, практика. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1984
6. Жекул В.Г., Кривицкий Е.В., Раковский Г.Б. Расчет времени зажигания разряда в проводящих жидкостях// Электрический разряд в конденсированных средах. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1989
7. Раковский Г.Б., Скорых В.В. Исследование механизма зажигания разряда в жидкости (обзор)// Электрофизические и гидродинамические процессы электрического разряда в конденсированных средах. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1987
8. Кучеренко В.В., Шамко В.В. О термодинамическом поведении продуктов подводной искры на послеразрядной стадии// Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1980
9. Иванов В.В., Швец И.С. Термодинамика, состав и электропроводность неидеальной плазмы подводных искровых разрядов// Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1980
10. Посохов А.А. Расчет энергетического баланса плазмы подводного искрового разряда// Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1980
11. Гулый Г.А., Поздеев В.А., Швец И.С. О влиянии параметров разрядной цепи на нагрев плазмы в канале подводного взрыва проводников// Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1978
12. Иванов В.В., Швец И.С. О влиянии начального радиуса канала на параметры подводного искрового разряда// Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1978
13. Селезов И.Т., Шамко В.В. Динамика расширения канала подводного искрового разряда// Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1978
14. Рыбка О.М., Иванов В.В., Хомкин A.JI. Состав вещества в канале подводных искровых разрядов электрогидравлических установок// Электроразрядные процессы: теория, эксперимент, практика. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1984
15. Малюшевский П.П., Пастухов В.Н. Некоторые особенности формирования электрического пробоя под повышенным гидростатичексим давлением// Разрядно-импульсные технологические процессы. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1982
16. Шамко В.В., Кривицкий Е.В., Бурцев В.А., Вовченко А.И. Оценка давлений, инициируемых мощным подводным искровым разрядом с характерным временем порядка 1 O'4// Физические основы электрогидравлической обработки материалов. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1978
17. Демина В.М., Кривицкий Е.В., Шолом В.К. Исследование электрического взрыва ’ проводников в ограниченном объеме жидкости// Электрический разряд в жидкости и его применение. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1977
18. Пастухов В.Н., Малюшевский П.П., Стрельцов В.А. Мощный электрический разряд в жидкости в электродной системе направленного воздействия// Электрический разряд в жидкости и его применение. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1977
19. Шамко В.В., Кучеренко В.В. Энергетические характеристики канала подводного искрового разряда// Физика и технология электрогидроимпульсной обработки материалов. Сб. научных трудов.// Киев: Наукова думка, 1984
20. Поздеев В.А., Тульский В.В. Волны напряжения в одномерном волноводе при продольном импульсном нагружении// Физика и технология электрогидроимпульсной обработки материалов. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1984
21. Шолом В.К., Литвиненко В.П. Особенности формирования ударных волн при подводном электрическом взрыве проводников// Новое в разрядноимпульсной технологии. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1979
22. Костыркин Б.В., Васильева А.Н., Качкаров А.Г., Шевченко Е.Т. Исследование зависимости напряженно-деформированного состояния пластин от некоторых параметров разрядного контура при электрогидроимпульсном нагружении// Разрядно-импульсные технологические процессы. Сб. научных трудов. // Киев: Наукова думка, 1982
23. Вилков К.В., Нагель Ю.А. Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. I. Зарождение, эволюция и структура ударных волн// ПЖТФ, 2004, т.30, вып. 5.
24. Вилков К.В. Комплексная расчетно-теоретическая методика моделирования процессов, сопровождающих импульсное энерговыделение в конденсированных средах// Диссертация на соискание ученой степени канд. физ-мат наук, М-2004
25. Нагель Ю.А., Уварова И.В., Зарков О.А., Комарова А.П. Электроимпульсный способ обеззараживания жидкости// Патент РФ №2058940, от 27.04.96 г., приоритет от 22.06.93 г.
26. Нагель Ю.А., Уварова И.В., Зарков О.А., и др. НТО №1581, Определение параметров электроимпульсного метода обеззараживания воды, //НИИТП, 1993
27. Нагель Ю.А., Зарков О.А., Уварова И.В. Эль Ю.Ф., Филимонова Е.В. // Водоснабжение и санитарная техника. 1997. № 6.
28. Миронов В.В., Нагель Ю.А., Уварова И.В., Зарков О.А., Воронов А.С. Электроимпульсный способ обеззараживания жидкости// Патент РФ №2144003, от 10.01.2000 г., приоритет от 19.02.99 г.
29. Вилков К.В., Григорьев A.JL, Нагель Ю.А., Уварова И.В. Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. II. Экспериментальные результаты// ПЖТФ, 2004, т.30, вып. 7.
30. Сытник И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы. //Киев: Здоровье, 1982
31. Бреховских Л.М., Городин О.А., Акустика слоистых сред. // М. Наука 1989. \*
32. Воскобойников И.М., Гельфанд Б.Е., Губин С.А., Когарко С.М., Попов О.Е. Об использовании смеси жидкости с пузырьками газа для передачи ударно-волновых возмущений; // ИФЖ-1976 XXXI №4 с674- 677
33. Яковлев Ю.С. Гидродинамика взрыва//Л, Судпромгиз, 1961
34. Разработка электроимпульсной установки для обеззараживания питьевой и сточной воды, в т.ч. вод поверхностно-ливневого стока.//Итоговый научно-технический отчет// ФГУП "Центр Келдыша"; Исполнители Нагель Ю.А., Давыденко Н.А., Изотов И.И., Уварова И.В., О.А. Зарков, Григорьев АЛ., Вилков К.В., Инв. № 3801; 2003 г.
35. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. // М., Наука, 1987.
36. Гельфанд Б.Е., Губин С.А., Нигматулин Р.И., Тимофеев Е.И. Влияние плотности газа на дробление пузырьков ударными волнами. //ДАН СССР. 1977. Т.233, № 2. С.292-294
37. Физика и техника мощных импульсных систем. // М., Энергоатомиздат, 1979.
38. Мериин Б.В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. *ПЛ.,* Машиностроение. 1985.
39. Богомаз А.А., Горячев B.JL, Ременный А.С., Рутберг Ф.Г. Об эффективности импульсного электрического разряда при

обеззараживании воды.// Письма в ЖТФ, 1991 т.17, вып. 12.

1. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н. О некоторых свойствах импульсного периодического разряда с энергией в импульсе ~ 1 Дж в воде, применяемого для ее очистки. // ТВТ, 1996, т.34, № 5.
2. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н. Электроразрядный метод очистки воды. Состояние проблемы и перспективы. // Известия АН. Энергетика, 1998, № 1.
3. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Уфимцев А.А. О фотолитических свойствах импульсного разряда в воде. Письма в ЖТФ, 1998, т.24, № 3.
4. Горячев В.Л., Коробочко В.Ю., Кулишевич А.И., Петров В.В., Рутберг Ф.Г. Влияние физических свойств импульсного разряда в воде на биологическую активность воды, созданную разрядом. // Известия АН. Серия физическая, 1999, №11, с.2294-2297.
5. Пентегов И.В. Основы зарядных цецей емкостных накопителей энергии.// Киев, Наукова думка, 1982.
6. Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Штейнберг А.А. Некоторые особенности электрического пробоя электролитов // Доклады АН СССР, 1962, Т.147, №4
7. Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Стояк М.Ю. Развитие электрического разряда взводных электролитах // Доклады АН СССР, 1963, Т.148, №5
8. Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Стояк М.Ю. Формирование электрического пробоя в водных растворах хлористого натрия// Журнал технической физики, 1964, Т.34, №4

. 125

1. Стекольников И.С., Ушаков В .Я. Исследование разрядных явлений в жидкостях // Журнал технической физики, 1965, Т.35, №9
2. Буткевич Г.В., Белкин Г.С., Ведешников Н.А., Жаворонков М.А. Электрическая эрозия сильноточных контактов и электродов. // М., Энергия, 1978.
3. Энциклопедия полимеров // М, 1972
4. Атанов Г.А., Куницын JI.A. Взаимодействие ударной волны в воде с кольцевой диафрагмой. // ЖВММФ, 1975,т. 15, № 4
5. Шваб А. Измерения на высоком напряжении//М., Энергоатомиздат. 1983
6. Бриджмен П.В. Физика высоких давлений//М., 1935 Ю1.Эккенрод Р., Киршнер Г. Измерения быстроизменяющегося

давления//М., 1957 Ю2.Воген Д. Применение аппаратуры для измерения деформации// М., 1975

ЮЗ.Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях//М., Химия, 1976

1. Баулин Н.Н., Пилюгин Н.Н., Сунцов Г.Н., Чернявский С.Ю. Пьезоэлектрический преобразователь для измерения высоких переменных давлений//М., ПТЭ., №5, 1978
2. Канель Г.И., Атанов Ю.А., Иванова Е.М., Исследование манганиновых манометров сопротивления при высоких давлениях// М., Труды ВНИИФТРИ, в.5(35), 1971
3. Иванова Е.М., Атанов Ю.А. Долговременная стабильность манганиновых материалов// М., Труды ВНИИФТРИ, в.5(35), 1971

Ю7.Бальсон М.Д. Аппаратура для регистрации быстропеременных давлений и расходов (материалы конференции)// M-JL, Химия, 1968

1. Стивенсон К. Физика высоких давлений//Л., Наука, 1963
2. Yoler Y.A., Nagamatsu Н.Т. A study of piezoelectric elements for the measurements of transient forces// GALCIT Hypersonic, 1954,№ 23
3. Тамм И.Е. Основы теории электричества// М., Наука, 1966
4. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля//М. Мир, 1972 г.
5. Рябов Б.М. Измерения высоких импульсных напряжений//!!. Энергоатомиздат, 1983 г.
6. Методы исследования плазмы. Под ред. В.Лохте-Хольтгревена.// М.: Мир, 1971.
7. Акимов В.Н., Вилков К.В., Григорьев А.Л., Зарков О.А., Миронов В.В., Нагель Ю.А., Оглоблина И.С. Антропов Н.Н., Дьяконов Г.А., Орлов М.М., Посохин B.C., Тютин В.К., Яковлев В.Н., Чеботарев В.ЮУ/Pulsed Plasma Thrusters. The State-of-the-Art in Development and Outlooks for Application. Proceedings of the Third International Conference & Exhibition “Small Satellites: New Technoloqgies, Miniaturization. Efficient Applications in the 21st Century”, vol.III, Symposium I ’’Small Satellite Powwer Supply and Attiude Control Systems”, Korolev, Moscow Region, Russia, 2002.
8. Анализ и обобщение накопленных экспериментальных данных по процессам электростатического взаимодействия системы электрореактивные двигательные установки (ЭРДУ) - космический аппарат (КА). Разработка исходных данных для оценки потенциала КА при работе ЭРДУ, в том числе в геомагнитных возмущенных условиях// отчет ФГУП "Центр Келдыша"; Исполнители Нагель Ю.А., Уварова И.В. Григорьев А . Л. НТО инв. № 3443; 2001 г.
9. Теумин И.И. Справочник по переходным электрическим процессам// М., Связьиздат, 1951
10. Справочник по импульсной технике// под ред. Яковлева В.Н., Киев, Техника, 1973
11. Трикоми Ф. Интегральные уравнения//М., Иностранная литература, 1960
12. Романовский П.И. Ряды Фурье//М., Физматгиз, 1961
13. Дьяконов В.П. Энциклопедия Mathcad//M., Солон -пресс, 2004
14. Фадеенко Ф.И. Временные критерии разрушения взрывом// ПМТФ, 1977, №6
15. Популярная медицинская энциклопедия.//М., 1991.
16. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. // JL, Наука, 1975.
17. Физические величины. // Справочник под ред. Григорьева Н.С. Мейлихова Е.З. //М., Энергоатомиздат, 1991. с. 1232
18. Патент США №3366564, кл. 206-186, 1968
19. Файнштейн Л.Б., Мамаков А.А., Очистка сточных вод электрическим током//ЭОМ, 1970, № 1(31)
20. Жук Е.Г. Действие .импульсных электрических разрядов на микробную клетку// ЭОМ, 1971, №1(37)
21. Бретош Р.А., Руденко Л.А., Урусов А.Ф. Влияние подводных электроискровых разрядов на стерилизацию сточных вод.// ЭОМ, 1971, №3
22. Бретош Р.А., Руденко JI.A. Некоторые особенности подавления микрофлоры подводными электроискровыми разрядами.// ЭОМ, 1974, №4
23. Жук Е.Г. Бактерицидные факторы импульсного электрического разряда при обеззараживании воды// ЭОМ, 1978, №4
24. Кульский JI.A., Савлук О.С., Дейнега Е.Ю. Влияние электрического поля на процессы обеззараживания воды. // Киев: Наукова думка, 1980
25. Сытник И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы. // Киев: Здоровье, 1982
26. Бубенцов В.Н., Жук Е.Г., Якунин Ю.В., Исследование влияния электрических параметров импульсного разряда на процессе обеззараживания воды.// ЭОМ, 1983, №5
27. Рязанов Н.В., Перевязкина Е.Н. Действие обеззараживающих факторов импульсного электрического разряда в воде.// ЭОМ, 1984, №2
28. Нагель Ю.А., Турина И.Н., Комарова А.П. НТО №1787, Исследование электроимпульсного воздействия на жидкие молочные продукты, // НИИТП, 1993
29. Авчинников А.В. Рахманин Ю.А. Додерьян Л.Г. Биотестирование - как критерий гигиенической оценки качества воды, кондиционированной по электроимпульсной технологии// Медицинская консультация, 1995, № 3.
30. Авчинников А.В., Недачин А.Е., Рахманин Ю.А., Жук Е.Г. К вопросу о вирулицидном действии низковольтных импульсных электрических разрядов в воде.// Медицинская консультация, 1996, № 1.
31. Ильин А.П, Миненков В.Р., Трампильцев В.Н. Устройство для обработки воды электрическими разрядами // Патент РФ №2126771, от 27.02.1999 г., приоритет от 21.01.97 г.
32. Яворовский Н.А., Соколов В.Д., Сколубович Ю.Л., Ли И.С. Очистка воды с применением электроразрядной обработки // ВСТ, 2000 г., №1.
33. Yavorovsky N.A., Peltsman S.S., Kornev J. I., Volkov Yu. V. Technology of water treatment using pulsed electric discharges// Proceedings of the 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, 27.06 - 01.07. 2000 r.
34. Авчинников А.В. Гигиеническая оценка эффективности паразитоцидного действия низкоэнергетических импульсных электрических разрядов в воде. // Вестник Смоленской медицинской академии, 2001, № 3.
35. Азизов Э.А., Емельянов А.И., Ягнов В.А. Методы обеззараживания воды электрическими разрядами //Прикладная физика, 2003, №2.
36. Жук А.Е., Жук Е.Г. О природе явления последействия в воде, обработанной импульсными электрическими разрядами, //ЭОМ, 1975, Томск, том 4
37. Юткин JI.A., Мельникова О.Н., Постоев А.К., Земляной А.М. О бактерицидных свойствах жидкостей после их электрогидравлической обработки,//ЭОМ, 1978, №1(79)
38. Summary of dewatering tests. Scientific Utilization Inc., USA, 1995, April.60
39. Авчинников A.B. Дудкова B.C. Изучение механизма бактерицидного действия в воде низкоэнергетических импульсных электрических разрядов, // Вестник Смоленской медицинской академии, №3. 2001
40. Теоретические и методические основы обеззараживания питьевой воды комбинированными физико-химическими способами, // Вестник Смоленской медицинской академии, №3, 2000
41. Вилков К.В., Григорьев А.Л., Миронов В.В., Нагель Ю.А., Уварова И.В., Морозов Ю.А. Разработка опытно-промышленной

**і**

электроимпульсной установки для обеззараживания воды// Материалы конгресса ЭКВАТЕК-2002., М., 2002

1. Разработка электроимпульсной установки для обеззараживания питьевой и сточной воды, в т.ч. вод поверхностно-ливневого стока//Инженерная записка// ФГУП "Центр Келдыша"; Исполнители Нагель Ю.А., Давыденко Н.А., Изотов И.И., Уварова И.В., О.А. Зарков, Григорьев А.Л., Вилков К.В. инв. №3495; 2001 г.
2. Разработка электроимпульсной установки для обеззараживания

питьевой и сточной воды, в т.ч. вод поверхностно-ливневого

**\***

стока.//Техническое предложение ФГУП "Центр Келдыша"; Исполнители Нагель Ю.А., Давыденко Н.А., Изотов И.И., Уварова И.В., О.А. Зарков, Григорьев А.Л., Вилков К.В. инв. № 3561; 2002 г

1. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей //Томск, изд-во. Томского университета, 1975г.
2. Кривицкий Е.В., Шамко В.В. Переходные процессы в высоковольтном разряде в воде. Киев: Наук, думка, 1979. 207 с.