

НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Вінніков Денис Вікторович

УДК 621.3

## ДИСЕРТАЦІЯ

### ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИЙ ВПЛИВ ПОТУЖНОГО ПІДВОДНОГО ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ НА ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ РЕЧОВИН

05.09.13 – техніка сильних електричних та магнітних полів

14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Д.В. Вінніков

Науковий керівник:  
Коритченко Костянтин Володимирович,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник.

Харків – 2017

## АНОТАЦІЯ

*Вінніков Д.В.* «Електрофізичний вплив потужного підводного іскрового розряду на процеси обробки речовин». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.13 – «техніка сильних електричних та магнітних полів». – Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут». – Міністерство освіти і науки України Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2017.

У дисертаційній роботі представлені науково-технічні результати, що обґрунтовують напрямки вдосконалення високовольтного електророзрядного обладнання, яке застосовується у технологічних процесах обробки для зміни технологічних властивостей таких речовин як водопровідна та дистильована вода, гума, скло, метали (цирконій, нержавіюча сталь, сплав Вуда, олово). Чисельно та експериментально досліджувався вплив електрофізичних параметрів сильнотривового підводного іскрового розряду на речовини за умови зміни електричних параметрів розрядного кола, в якому ємність дорівнювала {1–6 мкФ}, зарядна напруга дорівнювала {10–25 кВ}; індуктивність дорівнювала {3 мкГн, 5 мкГн, 7 мкГн}. Обґрунтовано нові конструкції електрогідравлічних реакторів для впливу на процес обробки металів, що переплавляються у вакуумно-дугових пічках та для електрофізичної обробки гуми, скла та води. Було створено установку «ГИДРА», що складалася з генератора імпульсних струмів, електрогідравлічного реактора та з системи комутації, що дозволяла одержувати імпульси з енергією до 1 кДж, характерним часом розрядного імпульсу до 100 мкс. Розряд ініціювався за напруженості електричного поля до 30 кВ/см, за амплітуди розрядного струму до 30 кА. Частота високовольтних розрядних імпульсів під час обробки сягала 0,2 Гц. Під час створення установки було враховано та забезпечено потребу оперативного

приєднання спеціально розроблених електрогідравлічних реакторів та електророзрядних генераторів пружних коливань.

На установці «ГИДРА» проведено дослідження, за результатами обробки, зміни наступних фізико-хімічних властивостей води: окислювально-відновного потенціалу, водневого показника, електропровідності, кількості нітратів. Вперше виявлено можливість швидкої, (5–20 с), порівняно з електролізом (10–30 хв.), та безреагентної, порівняно з хімічними методами, зміни окислювально-відновного потенціалу води в бік негативних значень з помірним підвищенням водневого показника. За повної енергії розряду у діапазоні від 50 Дж/імпл до 600 Дж/імпл зміна окислювально-відновного потенціалу від додатного + 180 мВ до від'ємного – 500 мВ, відбувається після 3–5 розрядних імпульсів, при питомому енерговнеску в розряд близько 600 Дж/імпл.

Зміна водневого показника відбувалась на 0,4 одиниці після 200 розрядних імпульсів в залежності від початкового значення водневого показника (в діапазоні 7,2–7,8). При змінненні зарядної напруги в діапазоні  $U = 10\text{--}20$  кВ, за постійної ємності  $C = 1,924$  мкФ відбувається перехід окислювально-відновного потенціалу від додатних значень + 80 мВ до – 400 мВ за 50 імпульсів, за ті самі 50 високовольтних розрядних імпульсів збільшення зарядної напруги на 10 кВ дає збільшення негативного показника окислювально-відновного потенціалу приблизно на 100 мВ, а водневий показник зростає на 0,15 одиниць.

Вперше шляхом застосування у електрогідравлічному реакторі непружної мембрани, котра відокремлює електродну систему від решти об'єму рідини, що оброблюється, доведено, що зміна окислювально-відновного потенціалу залежить від процесів що відбуваються в межах парогазової порожнини, зокрема утворення хімічно-активних компонентів та полідисперсних термічно активованих електроерозійних частинок. На зміну водневого показника мають вплив процеси, що тривають поза межами парогазової порожнини, насамперед електророзрядна нелінійна об'ємна кавітація, котра призводить до утворення великої кількості бульбашок

різного об'єму, що під час свого руйнування утворюють великі тиски, та завдяки цьому можуть ініціювати хімічні перетворення у рідині.

За допомогою рентгенофлюоресцентного, дифрактометричного, металографічного, фотометричного методів виявлено склад та розміри частинок, які утворюються під час електричної ерозії електродів, що відбувається під впливом підводних іскрових розрядів з параметрами за напругою до 16 кВ, розрядним струмом до 25 кА, енергією в імпульсі до 400 Дж. Визначено, що в результаті електричної ерозії сталевих електродів відбувається утворення частинок, що володіють підвищеною фізико-хімічну активністю:  $\alpha$ -Fe розміром близько 50 нм, та кількістю близько 40 % від загальної кількості частинок, а також  $\gamma$ -Fe,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , FeO, що згідно запропонованої схеми хімічних перетворень, можуть змінювати фізико-хімічні властивості води. Ступінь зміни окислювально-відновного потенціалу пов'язана з кількістю полідисперсних частинок.

У технології обробки води потужними підводними іскровими розрядами виявлено можливість магнітної сепарації електроерозійних домішок у разі застосування сталевих розрядних електродів, що забезпечує можливість подальшого використання води, яка підлягала обробці, для галузей де є потреба у використанні води з великим негативним окислювально-відновним потенціалом, зокрема це медицина та сільське господарство. Вода після обробки також зберігала свої надбані властивості протягом двох тижнів.

Експериментально досліджено вплив початкового зниженого тиску в рідині на розвиток парогазової порожнини, процесів які тривають після зникнення порожнини, зокрема утворення кавітаційних бульбашок. При зниженому тиску термін життя парогазової порожнини збільшується з 15 мс до 250 мс, а максимальний її діаметр зростає від 40 мкм до 100 мкм, акустична потужність сигналів збільшується в 3–5 разів.

Встановлено, що зміна тиску від 100 кПа до 20 кПа у водопровідній воді та дистилаті, що оброблюється, призводить до їх дегазації. Дегазація

дистильованої води від бульбашок газу розміром понад 53 нм відбувається при питомому енерговнеску 20 Дж/імп·л за 5 імпульсів. Штучне додавання домішок до води викликало затримку дегазації, а при перевищенні концентрації 15 г/л повної дегазації не вдавалося досягати за ту саму кількість імпульсів, що свідчило про утворення сольватних оболонок навколо бульбашок повітря котрі відповідно призводили до збільшення їх ваги. Інтенсифікація процесів дегазації поліпшує якість води, що використовується у комунальному господарстві під час опалювального сезону у теплових мережах.

Експериментально встановлено, що для більш ефективного змішування води, котра оброблюється з продуктами електричної ерозії електродів, має виконуватись умова за якої радіус парогазової порожнини має потенціально бути більшим за радіус електрогідравлічного реактора у якому триває обробка. Забезпечення змішування близького до ідеального можна забезпечити за рахунок зменшення геометричних розмірів реактора, або за рахунок зниження тиску у електрогідравлічному реакторі, що призводить до збільшення радіусу парогазової порожнини.

Проведено випробування системи електродів спрямованої дії, котра дозволила забезпечити спрямування у воді у потрібному напрямку парогазової порожнини зі збереженням її динаміки, а саме процесами розширення та стиснення. Використання такої системи має забезпечити можливість введення у необхідні ділянки речовини, що оброблюється, парогазової порожнини, що вміщує в собі середовище зі зміненими властивостями (великий негативний окислювально-відновний потенціал, наночастинки). В умовах проведених досліджень відбувалось переміщення парогазової порожнини на 3–4 глибини виїмки розрядного електроду.

Удосконалено електрогідравлічний метод впливу на розплави, що кристалізуються в вакуумно-дугових пічках за рахунок передачі ударного впливу через непроникну стінку тигля. Доведено можливість обробки та зменшення розмірів зерен металів, що переплавляються в вакуумно-дугових

пічках під впливом механіко-акустичних імпульсів, які утворюються високовольтними потужними підводними іскровими розрядами. Зі зростанням енерговнеску на розрядний імпульс у діапазоні від 240–305 Дж/імп досягнуто зменшення середнього розміру кристалічного зерна металу з 1,075 мм до 0,44 мм.

Використання спеціально розробленого електророзрядного генератора пружних коливань, дозволило відпрацювати технологію впливу на метали, що переплавляються у вакуумно-дугових пічках.

Запропоновано технологічний цикл регенерації відпрацьованого ядерного палива, з метою вдосконалення методів його переробки, де подрібнення тепловиділяючих елементів є невід'ємним етапом. Встановлено можливість електрогідравлічного подрібнення матеріалів, зокрема скла, що у першому наближенні моделюють відпрацьоване ядерне паливо. Подрібнення склоподібних матеріалів, до розмірів 50–100 мкм, відбувається за енергії розряду до 875 Дж/імп. Встановлено, що подрібнення скляних матеріалів сферичної форми, збільшується приблизно на 10 % коли радіус реактора менший, або дорівнює трьом радіусам зразка, що оброблюється. Також встановлено, що зниження тиску до 20 кПа призводить до збільшення виходу корисної фракції на 17,4%.

Удосконалено електрогідравлічний метод впливу в технологіях руйнування гумотехнічних виробів в середовищі рідкого азоту завдяки застосуванню вакуумування електрогідравлічного реактора.

Встановлено, що збільшення міжелектродного проміжку в діапазоні 5–23 мм призводить до зростання виходу подрібненого матеріалу з розміром до 2 мм в 3,5 рази. Таким чином оптимізовано параметри розрядного кола та реакторів для подрібнення твердих матеріалів у різних середовищах.

Вдосконалено математичну модель щодо дослідження ранньої стадії розвитку іскрового каналу потужного іскрового розряду в водяній парі та у парогазовій оболонці за рахунок урахування перехідних процесів у електричному колі, газодинамічного розширення струмопровідного каналу та

парогазової оболонки, випаровування водяної пари під дією випромінювання. Проведене моделювання розширення струмопровідного каналу іскрового розряду з різними граничними умовами (водяна пара і вода) зміни термодинамічних параметрів парогазової оболонки, напрацювання в ній хімічно активних компонентів та напрацювання плазмової складової іскрового каналу. Визначено, що електрофізична та електрохімічна дія потужного підводного іскрового розряду у технологічних процесах залежить від розширення струмопровідного каналу з парогазовою оболонкою в умовах насичення цієї оболонки водяною парою під дією випромінювання.

Чисельним моделюванням оцінено вплив параметрів розрядного кола та зовнішніх умов на зміну фізико-хімічних властивостей води, та термодинамічних параметрів. Встановлено, що змінюючи значення параметрів розрядного кола в діапазоні 125–930 Дж, можна регулювати кількість компонентів, що напрацьовуються, управляти термодинамічними параметрами. Компоненти, що напрацьовуються впливають на подальші процеси, що змінюють водневий показник та окислювально-відновний потенціал. Виявлено, що температура у струмопровідному каналі у потужних високовольтних підводних іскрових розрядах сягає біля 40 кК, а у парогазовій порожнині перевищує критичну температуру у 2–3 рази. Досліджено напрацювання наступних компонентів  $e$ ,  $O^+$ ,  $O^{++}$ ,  $H^+$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $OH$ ,  $H_2O_2$ ,  $HO_2$ . Зменшення індуктивності розрядного кола і зростання напруги та ємності призводять до збільшення напрацювання активного компоненту  $OH$ .

Порівняння моделей доводить, що процеси розвитку каналу оточеного водою та у водяній парі мають деякі відмінності. Завдяки різній густині оточуючого канал середовища, термодинамічні параметри такі як тиск, температура, густина та швидкість мають менші швидкості розповсюдження вздовж напрямку розширення каналу, приблизно в три рази, в той же час амплітудні значення тиску та густини більші на два порядки при розряді у воді, температура в середньому більша на 30 кК.

Результати дисертаційної роботи використовуються в Інституті плазмової електроніки і нових методів прискорювання Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Інституті твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, в Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України, при виконанні тематичних планів та грантів, а також при підготовці бакалаврів і спеціалістів на кафедрі «Інженерної електрофізики» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Результати, здобуті у дисертаційній роботі, а також рекомендації щодо застосування створених електрогідравлічних реакторів, які застосовуються для різних технологічних процесів, дають можливість проектувати та виготовляти більш ефективні високовольтні електророзрядні установки.

*Ключові слова:* потужні підводні іскрові розряди, струмопровідний канал, парогазова порожнина, електрофізичний вплив, електророзрядне обладнання, генератор імпульсних струмів, електророзрядний генератор пружних коливань, електрогідравлічний реактор.

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

1. Винников Д.В. Электрогидроимпульсная установка для обработки расплавов металов в вакуумно-дуговых печах / В.Б. Юферов, Б.В. Борц, И.В. Буравилов, Д.В. Винников, А.Ф. Ванжа, Е.В. Муфель, Г.В. Писарев, А.Н. Пономарев // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 20. – С. 190–197.

2. Винников Д.В. Сравнительный анализ акустических импульсов от излучателей милли – и микросекундного диапазонов / В.Б. Юферов, Д.В. Винников, А.Н. Пономарев, И.В. Буравилов, Е.В. Муфель // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 11. – С. 185–189.



3. Винников Д.В. Уменьшение размеров кристаллического зерна в слитках в вакуумно-дуговых печах с импульсным воздействием / И.В. Буравилов, Д.В. Винников, В.Б. Юферов, Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, А.Н. Пономарев, А.Н. Озеров, Е.В. Муфель, Г.В. Писарев // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 39. – С. 32–40.
4. Винников Д.В. Электрогидравлический метод обезгаживания вакуумируемых жидкостей / Д.В. Винников, В.Б. Юферов, И.В. Буравилов, Е.В. Муфель, А.Ю. Пахомов, В.В. Гарбуз, К.И. Живанков, А.Н. Пономарев // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – № 16. – С. 211–217.
5. Винников Д.В. Электроимпульсное измельчение эластичных материалов в среде жидкого азота / В.Б. Юферов, А.Н. Озеров, Д.В. Винников, И.В. Буравилов, А.Н. Пономарев // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. – № 52. – С. 202–208.
6. Винников Д.В. Экспериментальное исследование электрического разряда в жидкости, создаваемого между электродами с конусной выемкой / Д.В. Винников, А.Н. Озеров, В.Б. Юферов, А.В. Сакур, К.В. Корытченко, А.П. Месенко // Научно-практический журнал «Электротехника і електромеханіка». – 2013. – № 1. – С. 55–60.
7. Винников Д.В. Математическое моделирование газодинамической стадии развития искрового разряда в кислороде / К.В. Корытченко, Е.В. Поклонский, Д.В. Винников, Д.В. Кудин // Вопросы атомной науки и техники. – 2013. – № 4 (86). – С. 155–161.
8. Винников Д.В. Сравнительный анализ электрогидравлического и пневмоакустического источников для некоторых технологических процессов / Д.В. Винников, А.Н. Озеров, В.Б. Юферов, А.Н. Пономарев, И.В. Буравилов // Вопросы атомной науки и техники. – 2014. – № 1 (89). – С. 74–80.
9. Vinnikov D.V. Numerical investigation of the influence produced by electric circuit parameters on the formation of chemically active radicals in water vapors. / D.V. Vinnikov // Problems of Atomic Science and Technology. – 2015. – № 3 (97). – P. 159–165.

10. Винников Д.В. Численное исследование наработки химически активных компонентов в искровом разряде в парах воды / Д.В. Винников, К.В. Корытченко, А.В. Сакун // Вопросы атомной науки и техники. – 2015. – №4 (98). – С. 220–223.

11. Винников Д.В. Измельчение материалов, моделирующих ОЯТ для магнитоплазменного разделения / Д.В. Винников, Н.А. Шульгин, В.В. Катречко, В.Б. Юферов, В.И. Соколенко, В.И. Ткачев, А.Н. Пономарев, И.В. Буравилов // Вопросы атомной науки и техники. – 2016. – № 4 (104). – С. 54–57.

12. Винников Д.В. Электрогидроимпульсное измельчение материалов, моделирующих твердые РАО / Д.В. Винников, А.Н. Пономарев, В.И. Ткачев, И.В. Буравилов, В.Б. Юферов // Вопросы атомной науки и техники. – 2016. – № 1 (101). – С. 130–133.

13. Винников Д.В. Исследование изменения физико-химических свойств водопроводной воды под воздействием мощных подводных искровых разрядов / Д.В. Винников, К.В. Корытченко, В.И. Ткачев, В.В. Егоренков, Д.В. Кудин, Т.Ю. Мирная // Научно-практический журнал «Електротехніка і електромеханіка». – 2017. – № 1. – С. 39–46.

14. Винников Д.В. Разряд емкостного накопителя энергии на R/RC нагрузку / Д.В. Винников, А.А. Петков // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й международной научно-технической конференции, Харьков: ХНПК «ФЭД». 28–29 мая, 2002 г., – С. 732–735.

15. Винников Д.В. О возможности обработки кристаллизующегося металла акустическими импульсами в вакуумно-дуговых печах / В.Б. Юферов, Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, И.В. Буравилов, Д.В. Винников, Е.В. Муфель, Г.В. Писарев, А.Н. Пономарев // Труды XVII международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению., Алушта, Крым, – 2006. – С. 299–300.

16. Винников Д.В. Обработка кристаллизующегося металла акустическими импульсами в вакуумно-дуговых печах. / Б.В. Борц, И.В. Буравилов, Д.В. Винников, А.Ф. Ванжа, А.Н. Пономарев, Г.В. Писарев, Е.В. Муфель, С.Н. Хижняк, В.Н. Ищенко, В.Б. Юферов // Труды XVIII международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению. Алушта, Крым. – 2008. – С. 390–391.

17. Винников Д.В. О применении вакуумной откачки при подводном искровом разряде для обезгаживания жидкостей. / Д.В. Винников, А.Н.Озеров, В.Б.Юферов // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XVI Международной научной конференции (19–22 августа 2013 г). – Николаев:КП «Миколаївська обласна друкарня», – 2013. – С. 34–37.

18. Vinnikov D.V. Producing fine-dispersed materials for the magnetoplasma separation. / D.V.Vinnikov, N.A. Shulgin, V.I.Tkachov, V.V. Katrechko, V.V. Yuferov, V.I. Sokolenko, A.N. Ponomarev, I.V. Buravilov // International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion. Kharkiv, Ukraine, September 12–15. – 2016. – p. 60.

## ABSTRACT

*Vinnikov.D.V.* «Electrophysical action of powerful underwater spark discharge on substance treatment processes». – Research Project, Manuscript copyright.

Thesis for the scientific degree of the candidate of engineering sciences by specialty 05.09.13 – «Technology of Strong Electric and Magnetic Fields». – National Science Center «Kharkiv Institute of Physics and Technology», – Ministry of education and science of Ukraine National Technical University «Kharkiv Politechnic University» Kharkiv, 2017.

This thesis gives scientific and engineering data that substantiate the methods of improvement of high-voltage electric discharge equipment that is used for the realization of substance treatment processes to change the process properties of such substances as the tap water, distilled water, rubber, glass, and metals (zirconium, stainless steel, Wood alloy, and tin). The effect of electrophysical parameters of a high-current spark discharge was studied numerically and experimentally provided that the electric parameters of discharge circuit whose capacitance was equal to  $\{1-6\mu\text{F}\}$ , the charge voltage was equal to  $\{10-25\text{kV}\}$ ; and the inductance was equal to  $\{3\mu\text{H}, 5\mu\text{H} \text{ and } 7\mu\text{H}\}$  were changed. New structures of electrohydraulic reactors that have an influence on the treatment process of metals that are melted in vacuum-arc furnaces and are used for the electrophysical treatment of rubber, glass and water were substantiated. The «HYDRA» plant, the electrohydraulic reactor and the pulse current generator equipped with the switching system that allowed us to generate the pulses with the energy of up to 1 kJ and the characteristic time of discharge pulse up to 100  $\mu\text{s}$  have been developed. The discharge was initiated at the electric field intensity of up to 30 kV/cm and the discharge current amplitude up to 30 kA. The frequency of high-voltage discharge pulses during the treatment reached 0.2 Hz. When creating the plant the need for the operational connection of specially developed

electrohydraulic reactors and electric discharge generators of intense vibrations was taken into consideration and secured.

The «HYDRA» plant was used to carry out the investigation of a change in the following physical and chemical properties of water, in particular the redox potential, pH value, the electric conductivity and the amount of nitrites; the investigation was carried out using the treatment data. It was established for the first time that it is quite possible to change quickly (5 to 20 s) the water redox potential towards negative values with a gradual increase in the pH value, as compared to the electrolysis (10 to 30 minutes) and chemical methods that require reagents. For the total discharge energy ranging from 50 J/pulse·l to 600 J/pulse·l, a change in the redox potential from positive + 180 mV to negative – 500 mV occurred after 3 to 5 discharge pulses at total energy input to the discharge in the range of 1 to 100 kJ. The pH value was changed by 0.4 units after 200 discharge pulses depending on the initial pH value (in the range of 7.2 to 7.8). As the discharge voltage changes in the range of  $U = 10\text{--}20\text{ kV}$  at the constant capacitance of  $C = 1,924 \mu\text{F}$  the transition of redox potential from positive values of + 80 mV to – 400 mV occurs after 50 pulses; those 50 high-voltage discharge pulses result in the increase of charge voltage by 10 kV that results in the increase of the negative value of redox potential by approximately 100 mV and the pH value is increased by 0.15 units.

Using the inelastic membrane for the electrohydraulic reactor that separates the electrode system from the remaining volume of treated liquid we proved for the first time that a change in the redox potential depends on the processes that occur within the gas-vapor cavity, in particular the formation of chemically active components and polydisperse thermally activated electroerosion particles. A change in the pH value is also affected by the processes that occur beyond the gas-vapor cavity, primarily the electric discharge nonlinear volume cavitation that results in the formation of many bubbles of a different volume that create high pressures during their collapse and due to this fact these can initiate chemical changes in the liquid.

X-ray fluorescent, diffractometric, metallographic and photometric methods were used to establish the composition and the size of particles that are formed during the electric erosion of electrodes caused by the influence of underwater spark discharges with the following parameters: voltage up to 16 kV, discharge current up to 25 kA and the pulse energy up to 400 J. It was established that the electric erosion of steel electrodes results in the formation of  $\alpha$ -Fe particles with the size of 50 nm that have an increased physical and chemical activity in the amount of approximately 40 % of the total number of particles and also  $\gamma$ -Fe,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , FeO that can change physical and chemical properties of water according to the suggested diagram of chemical changes. A degree of change in the redox potential is related to the number of polydisperse particles.

The water treatment technology that uses high-power underwater spark-discharges opened the prospects for the magnetic separation of electroerosion admixtures that are formed in the case of use of discharge steel electrodes and this gives us an opportunity to use the water that was exposed to the treatment for the branches that need water with high negative redox potential, in particular medicine and agriculture. It was also established that the water has retained acquired properties for two weeks after its treatment.

Experimental investigations were carried out to study the influence of initial reduced pressure in the liquid on the progress of gas-vapor cavity and the processes that take place after the cavity disappearance, in particular the formation of cavitation bubbles. A decrease in the pressure results in the increase of longevity of the gas cavity from 15 ms to 250 ms and a maximum diameter of it is increased from 40 mm to 100 mm and the acoustic power of signals is increased 3 to 5 times.

It was established that the change in the pressure from 100 kPa to 20 kPa in the treated tap water and the distillate results in their degassing. The degassing of distilled water to remove gas bubbles that exceed 53 nm occurs at the specific energy input of 20 J/pulse·l after 5 pulses. The artificial addition of admixtures to the water resulted in the delay of degassing and the exceed in the concentration of 15 g/l resulted in the failure of the total degassing for the same number of pulses,

which is indicative of the formation of solvate shells around the air bubbles, and as a result their weight was increased. The intensification of degassing processes improves the quality of water used by community facilities for heating during the heating period.

It was established experimentally that the more efficient mixing of water exposed to treatment containing the products of electric erosion of the electrodes requires fulfillment of the condition that the radius of gas-vapor cavity should potentially exceed the radius of electrohydraulic reactor in which the treatment is performed. Actually, the ideal mixing can be achieved due to a decrease in the geometric dimensions of reactor or due to a decrease in the pressure in the electrohydraulic reactor, which results in an increase of the radius of gas-vapor cavity.

The electrode system of a directive effect was tested. This system enabled the orientation of gas-vapor cavity in the water in a required direction with the retention of its dynamics due to expansion and compression processes. The use of such system can provide an opportunity for the introduction of the gas-vapor cavity that contains the medium with changed properties (high negative redox potential, nanoparticles) into the appropriate sections of treated substance. To do the research, the gas-vapor cavity was shifted by 3 to 4 depths of the hollow of discharge electrode.

The electrohydraulic method of influence on the melts that are crystallized in vacuum-arc furnaces due to the transfer of the shock action through the impermeable crucible wall has been improved. It was proved that it is possible to treat metal grains that are melted in vacuum-arc furnaces and reduce their size under the action of mechanical-acoustic pulses that are generated by high-voltage high power underwater spark discharges. The increase of power input to the discharge pulse in the range of 240 to 305 J/pulse resulted in the decrease of the average size of crystal grains of the metal from 1.075 mm to 0.44 mm.

The use of specially developed electrodischarge generator of elastic vibrations enabled the development of the technology of influence on the metals melted in vacuum-arc furnaces.

The process cycle was proposed for the reprocessing of spent nuclear fuel to improve the methods of the recycling of it, for which the crushing of fuel elements is an inseparable part. It was established that there is an opportunity for the electrohydraulic crushing of materials, in particular the glass that simulates in the first approximation the spent nuclear fuel. The crushing of glassy materials to get the sizes of 50 to 100  $\mu\text{m}$  occurs at the discharge energy of up to 875 J/pulse. It was established that the crushing of glassy materials of a spherical shape is increased by 10 % when the reactor radius is smaller than or equal to the three radii of the specimen exposed to the treatment. It was also established that the reduction in the pressure to 20 kPa results in the increased output of the useful fraction by 17.4 %.

The electrohydraulic method of influence used by the technologies for the demolishing of rubber items in the liquid nitrogen medium was improved due to the use of the method of evacuation of the electrohydraulic reactor.

It was established that an increase in the interelectrode gap in the range of 5 to 23 mm results in the 3 to 5 times increase in the output of crushed material with the size of 2 mm. Thus, the parameters of the discharge circuit and reactors used for the crushing of solid materials in different media were optimized.

The mathematical model used for the investigation of the early stage of the development of spark channel of high-power spark discharge in the water vapor and in the gas-vapor cavity was improved by taking into account transient processes in the electric circuit, gas-dynamic expansion of the current conduction channel and vapor-gas envelop and also water vapor evaporation when exposed to the irradiation. The expansion of current conduction channel of the spark discharge with different boundary conditions (vapor and water) of a change in the thermodynamic parameters of vapor-gas cavity, the formation of chemically active components in it and the formation of plasma component of the spark channel have



been simulated. It was established that the electrophysical and electrochemical action of a high-power underwater spark discharge for technological processes depends on the expansion of current-conduction channel with the gas-vapor cavity in the conditions of saturation of that cavity with the liquid vapor under the action of irradiation.

The numerical simulation was used for the evaluation of the influence the discharge circuit parameters and ambient conditions have on a change in the physical and chemical properties of water and thermodynamic parameters. It was established that by changing the values of the parameters of discharge circuit in the range of 125 to 930 J we can regulate thermodynamic parameters. Produced components have been able to change the redox potential and pH value. It was revealed that the temperature in the current-conduction channel for high-power high-voltage underwater spark discharges exceeds the critical temperature two-three times. The formation of such components as  $e$ ,  $O^+$ ,  $O^{++}$ ,  $H^+$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $OH$ ,  $H_2O_2$ ,  $HO_2$  was studied. A decrease in the induction of the discharge circuit and an increase in the voltage and capacitance results in the intensified formation of active OH component.

A comparison of the models shows that the processes of development of the channel surrounded by water and in the water vapor have certain differences. Due to a different density of the environment that surrounds the channel thermodynamic parameters, in particular the pressure, temperature, density and the velocity have a three-time lower propagation speed in the channel expansion direction; at the same time the amplitude values of pressure and density values are higher by two orders of magnitude for the water discharge and the temperature is higher on average by 30 kK.

The thesis data are used by the by the Institute for Plasma Electronics and New Methods of Acceleration of the National Science Center «Kharkiv Institute for Physics and Technology» of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Institute for Solid Body, Material Science and Technologies of the National Science Center «Kharkiv Institute for Physics and Technology» of the National

Academy of Sciences of Ukraine and the Institute for Pulsed Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine to fulfill thematic plans and to do work on grants and also to train bachelors and specialists at the Department for Engineering Electrophysics of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute».

The research data obtained for the thesis and the recommendations on the use of created electrohydraulic reactors that are used for different technological processes give us an opportunity to design and manufacture more efficient high-voltage electric discharge plants.

Keywords: powerful underwater spark discharges, current conducting channel, steam-gas cavity, electrophysical action, electrodischarge equipment, pulse current generator, electrodischarge generator of elastic vibrations, electrohydraulic reactor.

List of publications of the aspirant by the dissertation theme:

1. Vinnikov D.V. Elektrogidroimpulsnaya ustanovka dlya obrabotki rasplavov metalov v vakuumno-dugovyih pechah / V.B. Yuferov, B.V. Borts, I.V. Buravilov, D.V. Vinnikov, A.F. Vanzha, E.V. Mufel, G.V. Pisarev, A.N. Ponomarev // Vestnik NTU «HPI». – 2007. – № 20. – S. 190–197.

2. Vinnikov D.V. Sravnitelnyiy analiz akusticheskikh impulsiv ot izluchateley milli – i mikrosekundnogo diapazonov / V.B. Yuferov, D.V. Vinnikov, A.N. Ponomarev, I.V. Buravilov, E.V. Mufel // Vestnik NTU «HPI». – 2009. – № 11. – S. 185–189.

3. Vinnikov D.V. Umenshenie razmerov kristallicheskogo zerna v slitkah v vakuumno-dugovyih pechah s impulsnyim vozdeystviem / I.V. Buravilov, D.V. Vinnikov, V.B. Yuferov, B.V. Borts, A.F. Vanzha, A.N. Ponomarev, A.N. Ozerov, E.V. Mufel, G.V. Pisarev // Vestnik NTU «HPI». – 2009. – № 39. – S. 32–40.

4. Vinnikov D.V. Elektrogidravlicheskiy metod obezgazhivaniya vakuumiruemyih zhidkostey / D.V. Vinnikov, V.B. Yuferov, I.V. Buravilov,

E.V. Mufel A.Yu. Pahomov, V.V. Garbuz, K.I. Zhivankov, A.N. Ponomarev // Vestnik NTU «HPI». – 2011. – № 16. – S. 211–217.

5. Vinnikov D.V. Elektroimpulsnoe izmelchenie elastichnyih materialov v srede zhidkogo azota / V.B. Yuferov, A.N. Ozerov, D.V. Vinnikov, I.V. Buravilov, A.N. Ponomarev // Vestnik NTU «HPI». – 2012. – № 52. – S. 202–208.

6. Vinnikov D.V. Eksperimentalnoe issledovanie elektricheskogo razryada v zhidkosti, sozdavaemogo mezhdru elektrodami s konusnoy vyiemkoy / D.V. Vinnikov, A.N. Ozerov, V.B. Yuferov, A.V. Sakun, K.V. Koryitchenko, A.P. Mesenko // Naukovo-praktichniy zhurnal «Elektrotehnika I elektromehanika». – 2013. – № 1. – S. 55–60.

7. Vinnikov D.V. Matematicheskoe modelirovanie gazodinamicheskoy stadii razvitiya iskrovogo razryada v kislorode / K.V. Koryitchenko, E.V. Poklonskiy, D.V. Vinnikov, D.V. Kudin // Voprosyi atomnoy nauki i tehniki.. – 2013. – № 4 (86). – S. 155–161.

8. Vinnikov D.V, Sravnitelnyiy analiz elektrogidravlicheskogo i pnevmoakusticheskogo istochnikov dlya nekotoryih tehnologicheskikh protsessov /D.V. Vinnikov, A.N. Ozerov, V.B. Yuferov, A.N. Ponomarev, I.V. Buravilov // Voprosyi atomnoy nauki i tehniki. – 2014. – № 1 (89). – S. 74–80.

9. Vinnikov D.V. Numerical investigation of the influence produced by electric circuit parameters on the formation of chemically active radicals in water vapors. / D.V. Vinnikov // Problems of Atomic Science and Technology. – 2015. – № 3 (97). – P. 159–165.

10. Vinnikov D.V. Chislennoe issledovanie narabotki himicheskii aktivnyih komponentov v iskrovom razryade v parah vodyi / D.V. Vinnikov, K.V. Koryitchenko, A.V. Sakun // Voprosyi atomnoy nauki i tehniki. – 2015. – № 4 (98). – S. 220–223.

11. Vinnikov D.V. Izmelchenie materialov, modeliruyuschih OYaT dlya magnitoplazmennogo razdeleniya / D.V. Vinnikov, N.A. Shulgin, V.V. Katrechko, V.B. Yuferov, V.I. Sokolenko, V.I. Tkachev, A.N. Ponomarev, I.V. Buravilov // Voprosyi atomnoy nauki i tehniki. – 2016. – № 4 (104). – S. 54–57.

12. Vinnikov D.V. Elektrogidroimpulsnoe izmelchenie materialov, modeliruyuschih tverdyie RAO / D.V. Vinnikov, A.N. Ponomarev, V.I. Tkachev, I.V. Buravilov, V.B. Yuferov // Voprosy atomnoy nauki i tehniki. – 2016. – № 1 (101). – S. 130–133.

13. Vinnikov D.V. Issledovanie izmeneniya fiziko-himicheskikh svoystv vodoprovodnoy vody pod vozdeystviem moschnykh podvodnykh iskrovyykh razryadov / D.V. Vinnikov, K.V. Koryitchenko, V.I. Tkachev, V.V. Egorenkov, D.V. Kudin, T.Yu. Mirnaya // Naukovo-praktichniy zhurnal «Elektrotehnika i elektromehanika». – 2017. – № 1. – S. 39–46.

14. Vinnikov D.V. Razryad emkostnogo nakopitelya energii na R/RC nagruzku / D.V. Vinnikov, A.A. Petkov // Fizicheskie i kompyuternye tehnologii v narodnom hozyaystve. Trudy 5-y mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Harkov: HNPK «FED». 28–29 maya, 2002 g., – S. 732–735.

15. Vinnikov D.V. O vozmozhnosti obrabotki kristallizuyushegosya metalla akusticheskimi impulsami v vakuumno-dugovykh pechah / V.B. Yuferov, B.V. Borts, A.F. Vanzha, I.V. Buravilov, D.V. Vinnikov, E.V. Mufel, G.V. Pisarev, A.N. Ponomarev // Trudy XVII mezhdunarodnoy konferentsii po fizike radiatsionnykh yavleniy i radiatsionnomu materialovedeniyu., Alushta, Kryim, – 2006. – S. 299–300.

16. Vinnikov D.V. Obrabotka kristallizuyushegosya metalla akusticheskimi impulsami v vakuumno-dugovykh pechah. / B.V. Borts, I.V. Buravilov, D.V. Vinnikov, A.F. Vanzha, A.N. Ponomarev, G.V. Pisarev, E.V. Mufel, S.N. Hizhnyak, V.N. Ischenko, V.B. Yuferov // Trudy XVIII mezhdunarodnoy konferentsii po fizike radiatsionnykh yavleniy i radiatsionnomu materialovedeniyu. Alushta, Kryim. – 2008. – S. 390–391.

17. Vinnikov D.V. O primenenii vakuumnoy otkachki pri podvodnom iskrovom razryade dlya obezgazhivaniya zhidkostey. / D.V. Vinnikov, A.N. Ozerov, V.B. Yuferov // Fizika impulsnykh razryadov v kondensirovannykh sredah: Materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (19–22 avgusta 2013 g.). – Nikolaev: KP «MikolaYivska oblasna drukarnya», – 2013. – S. 34–37.

18. Vinnikov D.V. Producing fine-dispersed materials for the magnetoplasma separation. / D.V. Vinnikov, N.A. Shulgin, V.I. Tkachov, V.V. Katrechko, V.V. Yuferov, V.I. Sokolenko, A.N. Ponomarev, I.V. Buravilov // International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion. Kharkiv, Ukraine, September 12–15. – 2016. – p. 60.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....	5
Вступ .....	6
Розділ 1. ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДІВ.....	13
1.1 Зміна фізико-хімічних властивостей води при різних видах розрядів.....	13
1.2 Методи зміни фізико-хімічних властивостей води .....	14
1.2.1 Зміна фізико-хімічних властивостей води за допомогою підводного іскрового розряду.....	14
1.2.2 Зміна фізико-хімічних властивостей води за допомогою жевріючого і діафрагмового розряду.....	17
1.2.3 Зміна фізико-хімічних властивостей води за допомогою бар'єрного розряду.....	20
1.2.4 Зміна фізико-хімічних властивостей води за допомогою коронного розряду.....	21
1.3 Вплив на воду нанорозмірних металів, що утворюються електричним розрядом у рідині.....	22
1.4 Зміна фізико-хімічних властивостей води за допомогою кавітації, що виникає у розрядах.....	24
1.5 Електророзрядна нелінійна об'ємна кавітація підводного іскрового розряду.....	26
1.6 Зміна властивостей води при насиченні її воднем і киснем за допомогою електролізу.....	27
1.7 Зміна властивостей рідин і твердих матеріалів за допомогою ударного впливу, ініційованого підводним іскровим розрядом.....	29
1.8 Математичні моделі розряду в рідині.....	31
Висновки до розділу 1.....	35

Розділ 2. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ СТРУМОВОГО КАНАЛУ ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ В ВОДІ І В ВОДЯНІЙ ПАРІ.....	39
2.1 Математична модель розвитку струмового каналу іскрового розряду в воді і в водяній парі.....	39
2.2 Граничні та початкові умови моделювання.....	48
2.3 Алгоритм чисельного розрахунку.....	51
2.4 Результати математичного моделювання розвитку розряду на стадії розширення струмопровідного каналу у водяній парі та у воді. Порівняльний аналіз.....	52
Висновки до розділу 2.....	71
Розділ 3. ЕЛЕКТРОФІЗИЧНЕ ТА ДІАГНОСТИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТАНЕ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПОТУЖНИХ ПІДВОДНИХ ІСКРОВИХ РОЗРЯДІВ НА РЕЧОВИНИ.....	75
3.1 Електрична схема та діагностичне обладнання.....	75
3.2 Електрогідравлічні реактори, що використовувались під час досліджень.....	80
3.3 Алгоритм підготовки електрофізичного обладнання до досліджень.....	87
Висновки до розділу 3.....	94
Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОТУЖНИХ ПІДВОДНИХ ІСКРОВИХ РОЗРЯДІВ НА РЕЧОВИНИ.....	96
4.1 Результати досліджень параметрів розрядного кола.....	96
4.2 Результати досліджень зміни фізико-хімічних властивостей води під впливом потужних підводних іскрових розрядів.....	101
4.3 Результати досліджень динаміки розвитку та засобів спрямування парогазової порожнини у водному просторі.....	119

4.4	Результати досліджень дегазації рідин.....	131
4.5	Подрібнення та зміна структурних властивостей твердих метеріалів .....	133
	Висновки до розділу 4.....	144
	ВИСНОВКИ.....	147
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	150
	Додаток А.....	169
	Додаток Б.....	170
	Додаток В.....	171
	Додаток Г.....	178