ФНИ НА СУ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

НАУЧЕН ОТЧЕТ НА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРОЕКТ

Договор **№ 80-10-15/10.05.2022**

**Тема:** Изследване на капилярните и повърхностни свойства на топлоносители използвани в ядрената енергетика, посредством капилярни мостове.

**Ръководител**: Христо Любомиров Илиев

**РЕЗЮМЕ**

Капилярните и повърхностни свойства на флуидите, са от съществено значение за това как даден флуид взаимодейства с дадена повърхност или друг флуид с който не се смесва. Това до каква степен дадена повърхност се “омокря” от флуида определя контактните ъгли и съответно площ на контактната повърхност през която двата материала си взаимодействат. Това е от съществено значение за случаите когато флуидите се използват като топлоносители например в ядрената и конвенционалната енергетика. Изследването на флуиди използвани за топлоносители в ядрената енергетика се усложнява допълнително от фактът, че тези флуиди се използват в условията на интензивен топлообмен, високо налягане и изобщо условия много различни от типичните.

Целта на проекта беше създаването на методика, включително инструмент, за изследването на капилярни и повърхностни свойства на разнообразни флуиди. По конкретно, проектът беше фокусиран върху флуиди използвани като топлоносители в ядрената енергетика, но разработената методика и апаратура са приложими за изключително широк диапазон от вещества, включително течни метали и сплави със сравнително ниска температура на топене. Част от изследваните в рамките на проекта флуиди бяха на основата на водни разтвори, използвани за охлаждане на горивото на спрян реактор от тип ВВЕР. Бяха изследвани и бинарни структури с цел оптимизиране на повърхностните свойства и повишаване на ефективността на изследваните като топлоносители флуиди.

По-амбициозната част от проекта включваше изследването на флуиди от втечнени метали на основата на Калай и неговите сплави с Олово, Бисмут и др., подходящи за топлоносител на малки модулни реактори на бързи неутрони, които имат някои съществени предимства пред конвенционалните. Те могат да работят без презареждане на горивото дълъг период от време, като по този начин се намалява вероятността за неконтролируемо разпространение на ядрени материали. Също така те притежават отрицателни коефициенти на реактивност във всички състояния, което ги прави безопасни от ново, IV поколение. Едно допълнително предимство е, че тези реактори могат да трансмутират дългоживущите изотопи, получени при експлоатацията на конвенционалните ядрени реактори. Това може съществено да допринесе за разрешаването на проблемите свързани с експлоатацията на радиоактивните отпадъчни продукти, като ги превърне от дългосрочен проблем, в дългосрочен източник на полезна енергия.

*Обобщение на постигнатите резултати.*

Анализирането на водните топлоносители използван в ядрената и конвенционалната енергетика е относително проста задача, която обаче позволява да се разработи и верифицира методика за оценка на капилярите структури. В рамките на тези предварителни изследвания, експерименталната постановка беше модифицирана, така че да позволява измерване на силата и възстановяване на повърхностното напрежение като основен параметър на изследваният флуид. Системата показа добра възпроизводимост на резултатите и съответствие на получените данни за дестилирана вода с тези от литературата. Следващата стъпка беше да се изследват водни разтвори използвани в ядрената енергетика. Като резултат беше показано, че свойствата на флуидната комбинация от борна киселина и основа, използвани в ядрените реактори, формират стабилни капилярни структури и могат да бъдат анализирани посредством разработената методика. Разтвори съдържащи само KOH или LiOH, обаче не формираха стабилни капилярни структури и бяха неподатливи на анализ. Причините за това подлежат на допълнителен анализ.

Създадени бяха и нови структури, които нарекохме „бинарни капилярни мостове“. В тях анализирахме два несмесващи се флуида, например масло/вода. Експерименталните резултати показват че при определени комбинации, единият флуид може да се разпространи по повърхността на другият, без да се смесва с него и по този начин да модифицира повърхностните му свойства. Това е един много обещаващ резултата, който ни кара да мислим, че в бъдеще ще можем да „проектираме“ флуиди с точно определени повърхностни и капилярни свойства.

За целта обаче е необходим надежден теоретичен модел, който да позволява предвиждане и „проектиране“ на повърхностни свойства на флуиди. Към момента теоретичният модел дава добри резултатите съответстващи с експеримента, но моделът е сложен и изисква времеемки, числени решения за всяка конкретна система. Напредъкът в тази насока беше намирането на аналитично решение на най-сложната част от модела. Към момента работата в това направление продължава и резултатите от модела са в процес на верифициране и сравнение с експерименталните.

Направен беше обзор на течните метали, като топлоносител за малки модулни реактори. Разгледани бяха модерните технологии за използването им. Предложено беше, технологията на мехурчета помпа, патентована от Айнщайн да бъде използвана в проекта на малък модулен реактор на СУ. Експерименталната установка беше модифицирахме така че да позволява създаване и изследване на капилярни мостове от течни метали и сплави с ниска температура на топене. В това направление имаме само някои предварителни резултати и работата предстои.

Допълнително като, странична задача, резултатите за повърхностните свойства на течни метали и сплави позволиха разработването на термодинамичен модел, който да позволява предвиждането температурният профил на нагряване при облъчване със светлина. Този модел беше приложен към съществуваща система за дистанционно лазерно запояване на електронни компоненти. Системата позволява генериране на предварително зададен температурен профил на нагряване в точката на запояване. На базата на желаният профил на нагряване, моделът изчислява необходимата форма и продължителност на светлинният импулс, така че да реализира желаният температурен профил.

*Разпространение на резултатите:*

1. *Списък на публикациите в нереферирани списания и сборници*
2. Plamen V. Petkov, Dimitar Lyutov,, Nikol Rangelova,Boyan Todorov and Hristo Iliev, Experimental Investigation of Liquid Tin Surface Property Safety Features for Potential Application as a Coolant in Direct Contact Liquid Metal Fast Reactors (DCLMFR) Heat Removal, International Conference on Topical Issues in Nuclear Installation Safety: Strengthening Safety of Evolutionary and Innovative Reactor Designs, (2022), IAEA Conference Technical Note (виж Приложение 1a)
3. Nikol Borisova, Plamen V. Petkov, Hristo Iliev, Study of binary liquid capillary bridges stretched between two solid flat surfaces, International Scientific Journal of Mathematical modelling. Vol. 4 (2022), Issue 1, pg(s) 13-16, (2022) (виж Приложение 1b)
4. *Участие в международна конференция с доклад или постерно научно съобщение*
5. H. Iliev and N. Gorunski, Laser Soldering Based on CW 450 nm Diode Lasers, Laser Application Conference, 2022, paper JW3B.13
6. Nikol Borisova, Plamen V. Petkov, Boyan Todorov and Hristo Iliev, “Modeling of VVER-1000 primary coolant chemistry during normal reactor operation and investigation of coolant/wall interactions”, BgNS Annual Conference 2022, September 28 – October 01.
7. Sonya Hammashi and Plamen Petkov “New concepts in development of nuclear energy (Small modular reactors with lead containing coolant)” постер и доклад, 2022, BgNS Annual Conference 2022, September 28 – October 01, 2022.
8. *Други форми на разпространение:* ***Дипломни работи по темите на проекта:***
   * ДИПЛОМНА РАБОТА ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНО- КВАЛИФИКАЦИОННА СТЕПЕН „МАГИСТЪР“ Магистърска програма: Ядрена енергетика и технологии, Специалност: Ядрена техника и ядрена енергетика ТЕМА: Хидродинамичен проект на циркулационен кръг на течен калай за Малък модулен реактор на бързи неутрони. Научни ръководители доц. Христо Илиев и доц. Пламен Петков. Защитена публично с отличен
   * ДИПЛОМНА РАБОТА ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ОБРАЗОВАТЕЛНО- КВАЛИФИКАЦИОННА СТЕПЕН „БАКАЛАВЪР“ на тема Изследване на течни капилярни мостове и тяхното влияние върху повърхностните свойства на топлоносителя на ядрени реактори с ВВЕР“ с научни ръководители доц. Хр. Илиев и доц. Боян Тодоров Дипломант: Никол Радостинова Брисова, Фак. № 26063, специалност Ядрена химия, СУ „Св. Климент Охридски“, защитена с отличен