



Финансирано от
Европейския съюз

NextGenerationEU



BiOrgaMST

Биоактивни органични и неорганични
авангардни материали и чисти технологии



МИНИСТЕРСТВО
НА ОБРАЗОВАНИЕТО
И НАУКАТА

Чисти технологии за удължаване жизнения цикъл на енергийни системи

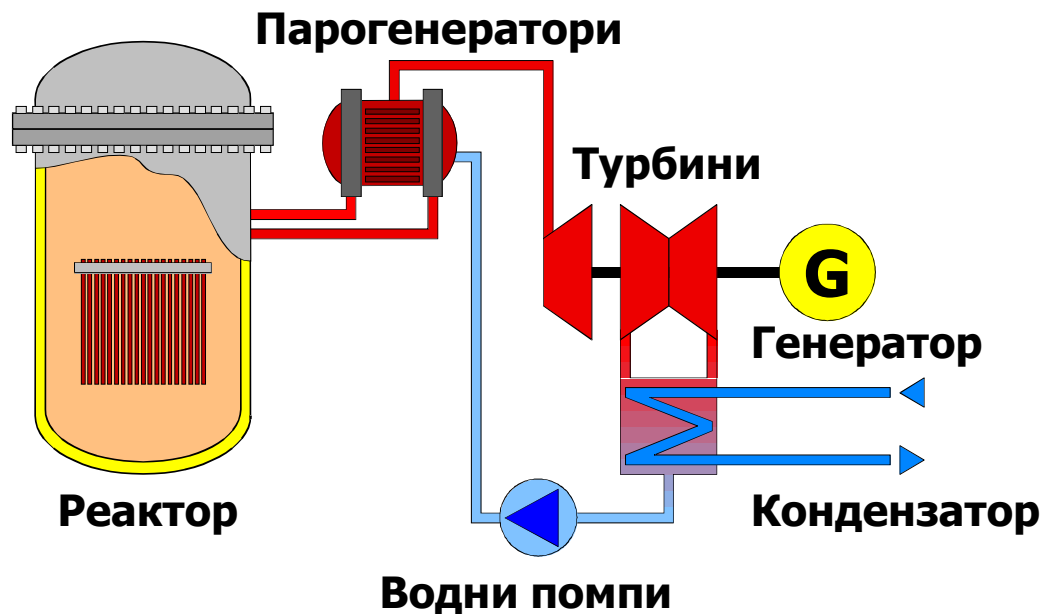
Мартин Божинов

Център по водородни технологии

Химико-технологичен и металургичен университет



Деградация на конструктивни материали в енергийни системи



- ▶ Структурната цялост на конструктивните материали в контакт с охлаждащата вода в първичния контур на ядрените централи се дължи на пасивните оксидни слоеве формирани върху тяхната повърхност
- ▶ Добре контролираният растеж на тези филми минимизира отрицателните ефекти на охлаждащата вода върху конструктивните материали
- ▶ Тези ефекти могат да се проявят като локална корозия под напрежение (риск от разрушаване на материала) и натрупване на дългоживеещи радиоактивни изотопи в първичния контур (риск от увеличени дози за обслужващия персонал)

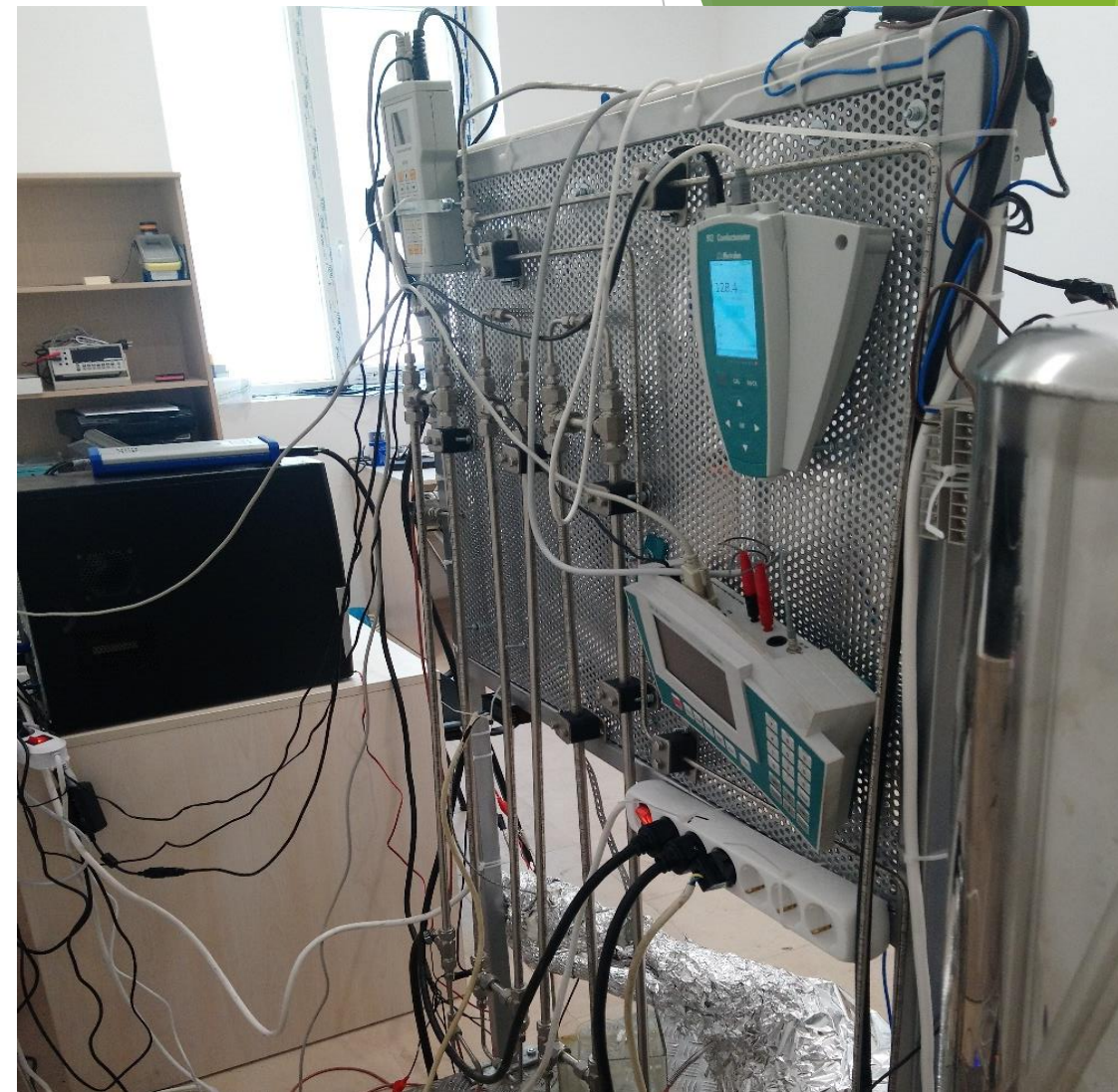
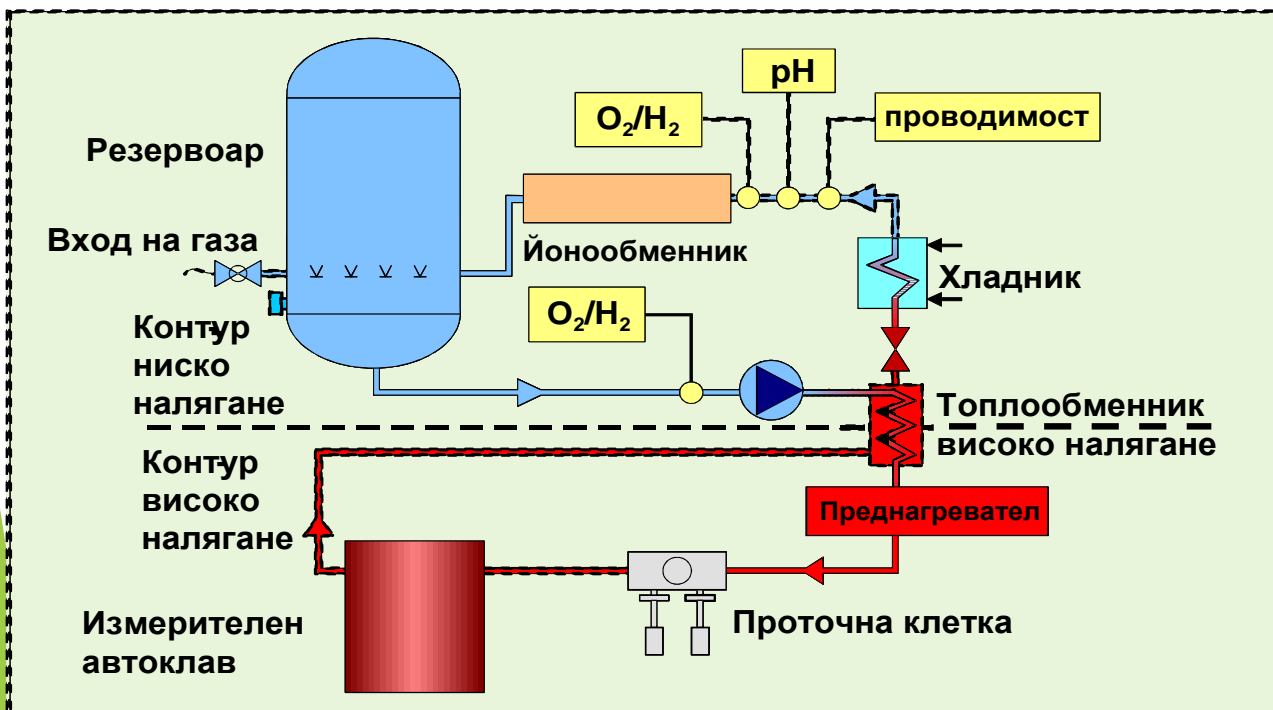


Научно-изследователска програма

- ▶ В световен мащаб е от изключително значение да се допълнят и разширят фундаменталните изследвания относно удължаването на срока на експлоатация, безопасността и надеждността на ядрените реактори II и III поколение, като се обърне особено внимание на новите изисквания на изменената директива на Европейската комисия за ядрена безопасност
- ▶ Основната цел на изследванията, залегнали в основата на стратегическата програма, е да се разработят детерминистични прогнозни модели на обща и локална корозия и корозионно-механично разрушаване на вътрешно-корпусните материали в ядрени реактори.
- ▶ В областта на паро-генераторите за енергийни системи ще бъдат разработени подобрен детерминистичен модел на моно-фазна корозионна ерозия чрез количествена оценка на входния поток на частици и разтворимо желязо в зависимост от водно-химическия режим, както и детерминистичен модел на шламо-образуване и консолидация
- ▶ За параметризиране, валидиране и верифициране на моделите ще бъдат използвани както данни от лабораторни експерименти, така и експлоатационни данни, налични в отворената литература.

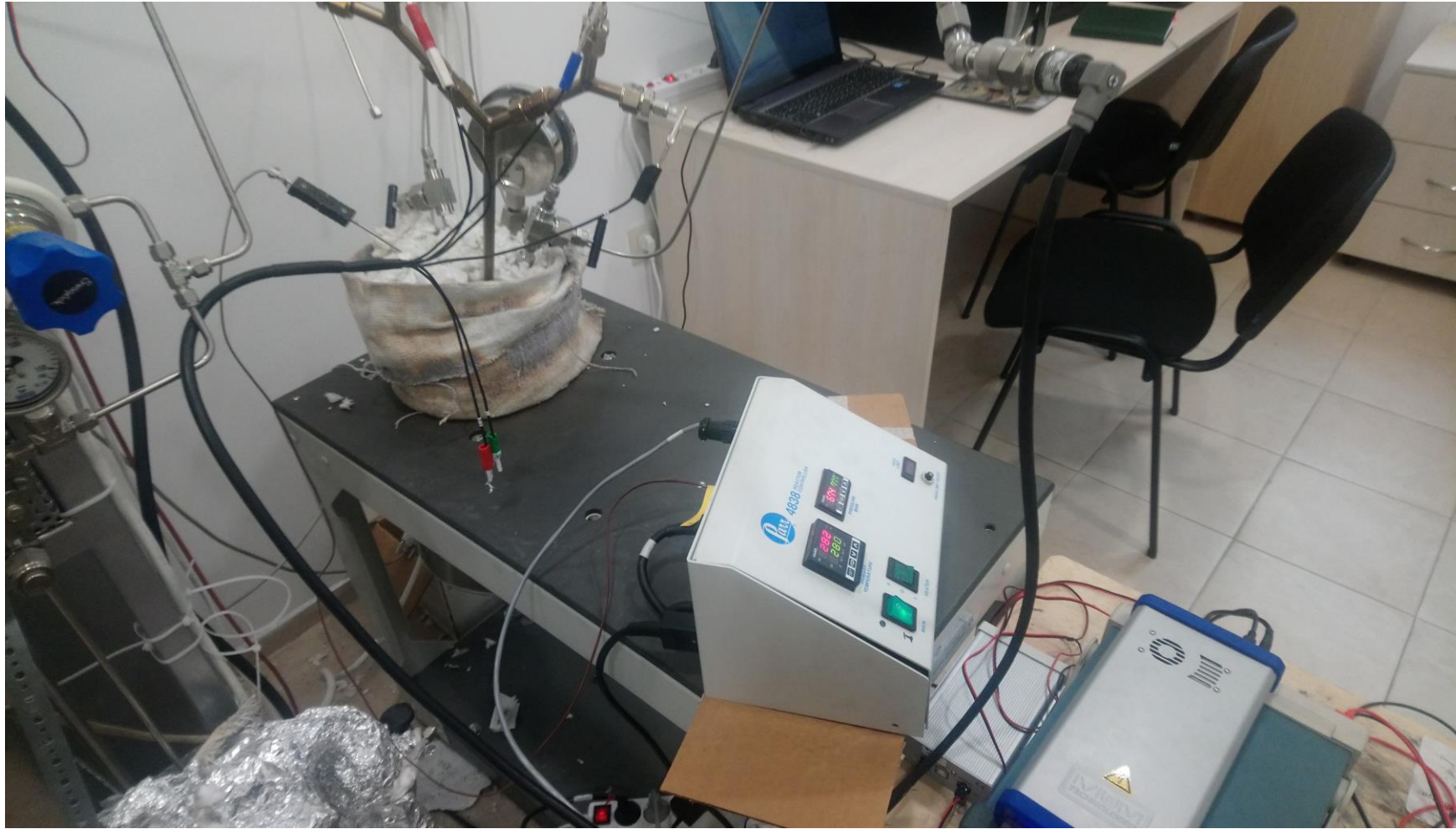


Лабораторен ре-циркуляционен контур





Измерителен автоклав и електрохимична апаратура

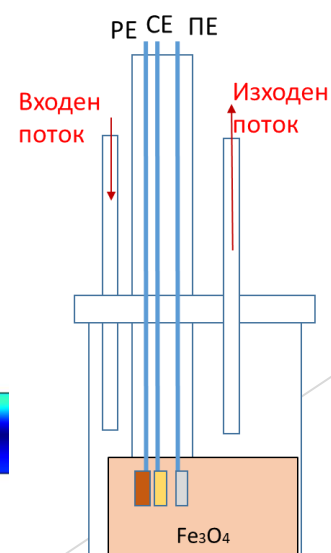
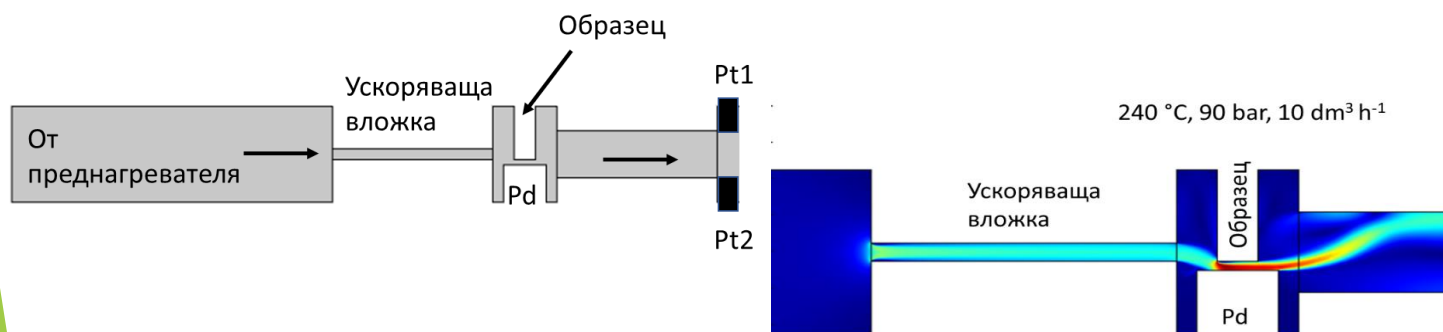
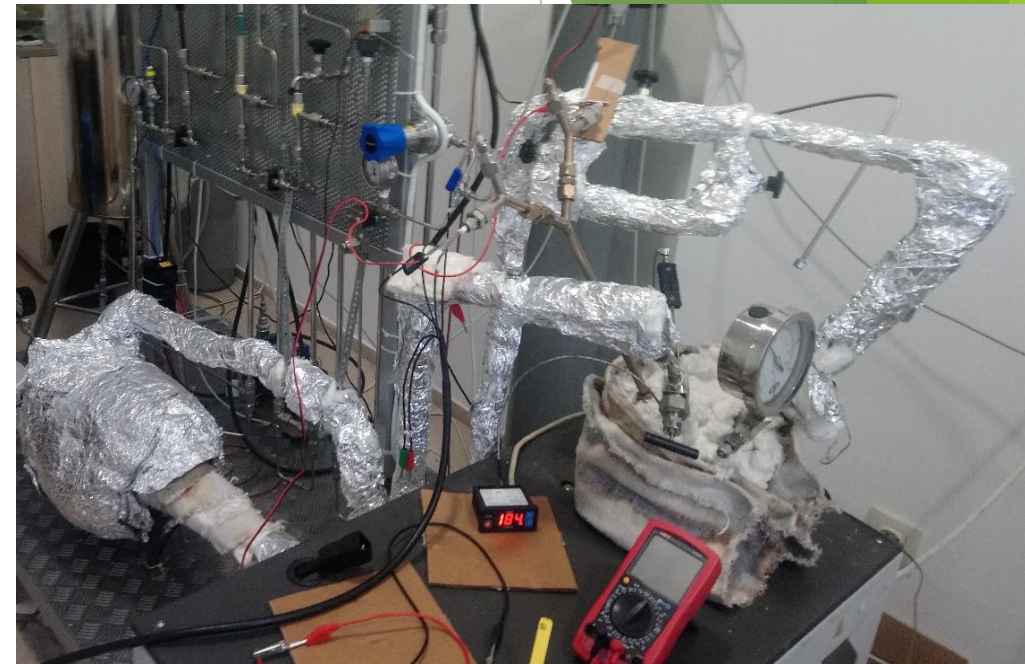
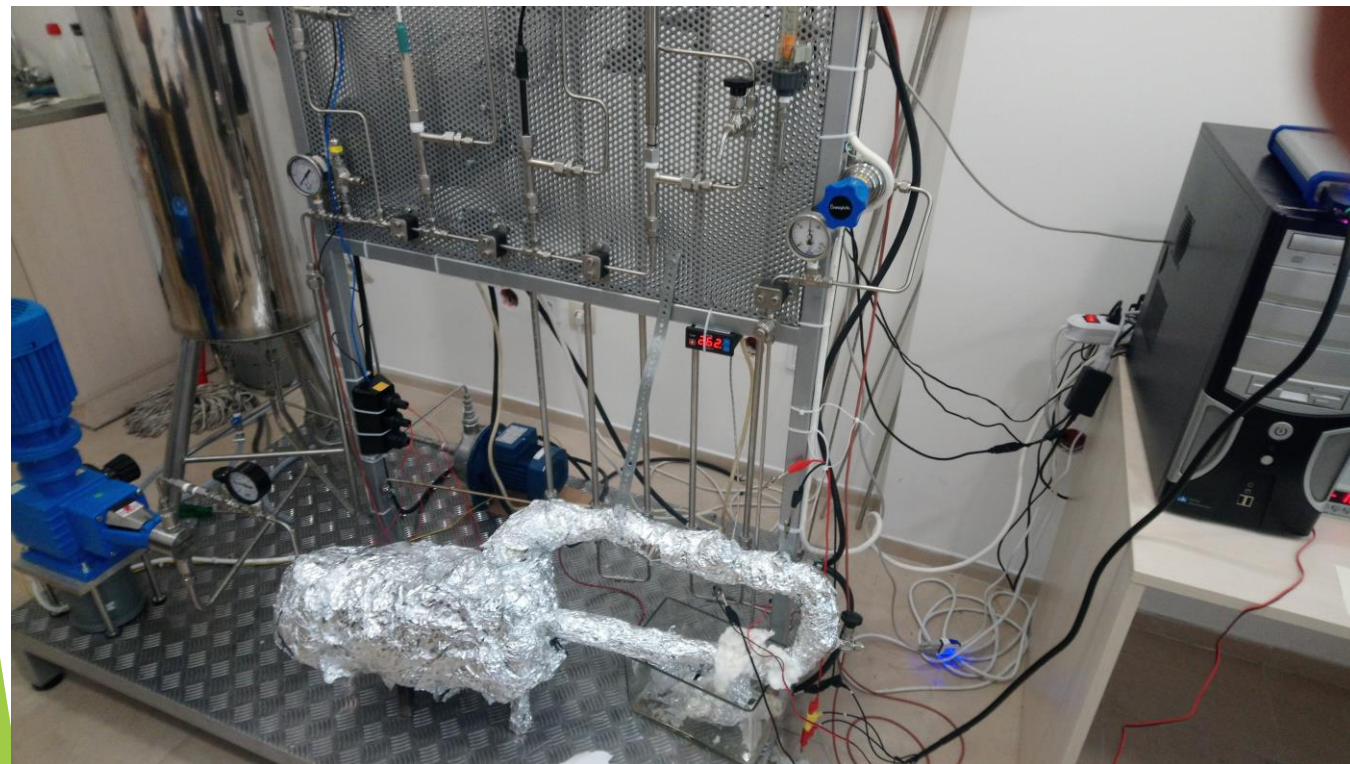


Материал - неръждаема
стомана 316 L, обем 3.75 l.
Самостоятелен нагревател и
контролер на температурата и
налягането до 350 °C - 150 bar

Ivium CompactStat.h10030
(Ivium Technologies,
Холандия)



Приставка за измерване скоростта на корозионна ерозия



Установка за измерване кинетиката на шламо-образуване



РП 1 Експериментално характеризиране и моделиране на вътрешно-корпусни материали в ядрени реактори

1.1: Провеждане на дългосрочни експерименти за окисление на аустенитни неръждаеми стомани и никелови сплави в симулиран ВВЕР топлоносител на първи контур

- ▶ получаване in-situ експериментални данни за корозионното поведение в лабораторен рециркуляционен контур чрез електрохимична импедансна спектроскопия.
- ▶ характеризиране на образците след окисление чрез физични методи и оценка изменението на дебелината и състава на оксидните слоеве с времето

1.2: Влияние на водно-химичния режим върху деградацията на вътрекорпусните материали

- ▶ изследване влиянието на концентрацията на Li и K върху корозионното поведение в лабораторен рециркуляционен контур
- ▶ сравняване скоростите на корозия и оценка влиянието на Li, съответно K концентрация върху скоростта на окисление
- ▶ електрохимични измервания на предварително наводородени сплави

1.3: Разработване, валидиране и верифициране на детерминистични модели на корозия

- ▶ оценка на основните електрохимични и транспортни характеристики на оксидите
- ▶ валидиране на модела чрез количествено сравняване с лабораторни и експлоатационни данни



РП 2 Експериментално характеризиране и моделиране на корозионната ерозия и отлагане на шлам в паро-генераторите

2.1: Експериментални изследвания на корозионната ерозия

- ▶ мониторинг на корозионната ерозия чрез електрохимични методи
- ▶ количествена оценка на скоростта на процеса и продуктите му

2.2: Разработване, валидиране и верифициране на следващо поколение детерминистичен предиктивен модел за корозионна ерозия

- ▶ хидродинамични пресмятания и термодинамични изчисления
- ▶ Молекулно-динамични симулации на адсорбцията на компоненти на топлоносителя върху окислена повърхност на конструктивни материали
- ▶ параметризиране на модела чрез количествено сравняване с експериментални данни
- ▶ верифициране на модела чрез сравняване с лабораторни и експлоатационни данни

2.3: Количествен модел на отлагане и консолидация на шлам

- ▶ разработване на модел на шламо-образуване и консолидацията на шлама във втори контур на ядрени централи тип ВВЕР / PWR.
- ▶ електрични свойства и стабилизиране на колоидния магнетит като функция на водохимичния режим
- ▶ изследване кинетиката на шламо-образуване



Резултати януари-април 2023 г.

▶ Експериментални изследвания

- ▶ Провеждане на електрохимични импедансни измервания на корозията на неръждаема стомана 316 в симулиран топлоносител на първи контур на ядрени централи тип ВВЕР (0.4-0.8 g/kg В, 3.5-7 mg/kg К) при 300 °С с добавка на 0.1-0.5 mg/kg Li в зависимост от времето на окисление (до 168 ч) и приложения потенциал (0-0.5 V vs. RHE).
- ▶ Елементният състав в дълбочина и дебелината на получените оксиди характеризирани чрез GDOES

▶ Моделни изследвания

- ▶ Литературен преглед върху типовете адсорбционни изотерми, приложими за йонни повърхностно-активни вещества и теоретичните методи за извод на електростатичната компонента на разклинящото налягане в течни филми
- ▶ Предварителни атомистични молекулно-динамични симулации на Fe₃O₄ субстрати за адсорбция на компоненти от топлоносителя на втори контур на АЕЦ



НАУЧЕН ЕКИП

Център по водородни технологии, ХТМУ

- ▶ Проф. дхн Мартин Божинов - КИНЕТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ
- ▶ Проф. д-р Ива Бетова - ИЕЕС-БАН - ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ, МОДЕЛИРАНЕ
- ▶ Гл. ас. д-р Иглика Димитрова - СТАБИЛНОСТ НА КОЛОИДНИ СИСТЕМИ
- ▶ Гл. ас. д-р Васил Карастоянов - ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ
- ▶ Гл. ас. д-р Николета Иванова - МОЛЕКУЛНО МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ
- ▶ Гл. ас. д-р Мина Станчева (от 2024) - ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ И АТОМИСТИЧНИ СИМУЛАЦИИ
- ▶ Маг. инж. Йоана Пенкова - ИЕЕС-БАН, докторант - ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ