

УДК 621.039.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Иванова А.Н. (Университет ИТМО)

Крицкий В.Г. (Акционерное общество «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»)

Гаврилов А.В. (Акционерное общество «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»)

Научный руководитель – доктор химических наук, доцент Слободов А.А.

(Университет ИТМО)

Получены результаты расчетного моделирования по растворимости продуктов коррозии в теплоносителе для АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1000 с помощью термодинамического подхода, реализованного в программном коде ASTIB. Выполнено сравнение полученных результатов с литературными данными.

Введение. Одной из важных задач ведения ВХР является снижение накопления радиоактивных отложений на поверхностях оборудования. Продукты коррозии (ПК), которые поступают в активную зону, активируются, переносятся по контуру и, осаждаясь на различных участках вне активной зоны, усиливают уровень излучения от оборудования. Это является основной причиной получения дозы обслуживающим персоналом. Явления коррозии, массопереноса ПК, их отложения, которые протекают по механизму кристаллизации, количественно взаимосвязаны и могут быть описаны посредством анализа данных по растворимости оксидного слоя, образующегося на поверхностях оборудования. Цель работы – получить данные по растворимости оксидной пленки в теплоносителе, что позволит анализировать и оценивать поведение в нем продуктов коррозии.

Основная часть. Отличительной особенностью водных теплоносителей является то, что различные участки тракта характеризуются существенными отличиями как по составу вод, так и по температуре, что ведет к усилению процессов коррозии оборудования, диффузионному переносу растворенных частиц и др., что заметно осложняет их исследование. При этом ввиду незначительности концентраций корректирующих добавок в водной фазе практически всегда реализуется состояние истинного локального химического равновесия. В условиях функционирования энергетических установок нередко устанавливается и межфазное равновесие - между водным раствором (теплоносителем) и поверхностным слоем трубных систем (изготовленных из сплавов на основе железа, никеля и др.) тракта теплоносителя. Таким образом, в этих сложных системах использование термодинамического метода исследования, основанного на минимизации энергии Гиббса, является корректным и достаточно эффективным. Для учета неидеальности водно-электролитных систем учитываются принципы теории Дебая-Хюккеля.

В работе осуществлено моделирование для систем {Fe, Ni, Zr} - H₂O-H₃BO₃ – КОН - NH₃ - H₂ при 298-623 К. По результатам моделирования выявлено, что для водной системы в восстановительной среде основными ПК в регламентируемых условиях являются магнетит Fe₃O₄, оксид никеля NiO, оксид циркония ZrO₂. Основные химические формы - это Fe²⁺, Fe(OH)₃, Ni²⁺, NiOH⁺, Zr(OH)₄. Содержание данных форм меняется с учетом роста температуры, концентрации борной кислоты, также зависит от pH раствора. Получены данные о влиянии каждого из параметров состояния водной системы на растворимость магнетита, оксида никеля и оксида циркония. Эти результаты подтверждаются независимыми экспериментальными и эксплуатационными данными по поведению ПК в водных средах. При исследовании поведения Fe₃O₄, NiO и ZrO₂ получено, что максимальное осаждение продуктов коррозии имеет место в начальный период работы реактора, поскольку регламентируемое содержание щелочи КОН занижено. Следовательно, целесообразно добавление щелочи по сравнению с регламентируемым ее количеством.

Получено также, что величина концентрации борной кислоты, определяющая падение

восстановительного потенциала системы, способствует смене щелочной реакции раствора на кислую.

Очень существенно (особенно при низких температурах) на растворимость влияют окислительно-восстановительные характеристики. Получено, что кривые растворимости проходят через минимум, который с ростом температуры смещается из слабоокислительной в слабовосстановительную зону и поднимается.

Выводы. Растворимость - ключевая величина в определении диффузионных процессов перехода продуктов коррозии в поток теплоносителя, которая зависит как от состава продуктов коррозии, так и от химического состава теплоносителя. Ее показатели мы и получаем в результате расчетов моделирования. Построенные на этой основе зависимости растворимости от температуры и концентраций добавок позволяют определить температурные и концентрационные зоны возрастания и убывания растворимости, оценить поведение ПК в теплоносителе первого контура реактора типа ВВЭР. Данный подход позволяет решать вопросы оптимизации существующих водно-химических режимов. Этот и другие выводы по результатам моделирования дают основу для выработки и внедрения мероприятий (корректировка и комбинирование водно-химических режимов, замена конструкционных материалов и др.), обеспечивающих снижение отложений продуктов коррозии и повышение мощности турбин энергоблоков.

Иванова А.Н. (автор)

Слободов А.А. (соавтор)