

**Исследование закономерностей массопереноса радионуклидов под оболочкой негерметичных твэлов и выхода продуктов деления в теплоноситель промышленных легководных ядерных реакторов**

П.М. Калинин, И.А. Евдокимов, В.В. Лиханский

Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

Во время работы атомных станций с реакторами ВВЭР и PWR возможна разгерметизация твэлов. Это приводит к росту активности теплоносителя. Если уровень активности превысит установленные пределы радиационной безопасности, реактор необходимо останавливать – для поиска и замены ТВС с негерметичными твэлами. Это приводит к значительным экономическим потерям за счет сокращения выработки электроэнергии.

Для снижения финансовых затрат проводится контроль герметичности оболочек (КГО) твэлов на работающем реакторе. КГО заключается в заблаговременной оценке параметров ТВС с негерметичными твэлами по данным измерения активности теплоносителя. При этом оцениваются время разгерметизации, выгорание топлива, размер дефектов и количество негерметичных твэлов.

После образования дефекта в твэл затекает вода и превращается в пар. В результате реакций окисления топлива и циркониевой оболочки в паровой атмосфере в твэле накапливается водород. При этом становится возможным массивное локальное наводороживание циркониевой оболочки. В некоторых случаях это может приводить к образованию крупных вторичных дефектов в оболочке твэла и резкому росту активности в теплоносителе. Поэтому одна из задач КГО на работающем реакторе – идентификация факта образования вторичного дефекта.

Целью работы является:

- 1) получение зависимостей, определяющих, как меняются соотношения активностей разных радионуклидов в теплоносителе первого контура при образовании вторичного дефекта;
- 2) разработка критериев, позволяющих, исходя из измерений активности, установить факт образования вторичного дефекта во время работы реактора.

В ходе работы в одномерной постановке была решена задача о массопереносе радионуклидов под оболочкой негерметичного твэла. За основу была взята модель, описанная в работах [1],[2]. При этом рассматривался твэл с одним и с двумя крупными дефектами в оболочке на разной высоте. Существенное отличие от указанной модели заключалось в том, что, при наличии двух крупных дефектов на разной высоте, в твэле помимо диффузионного переноса устанавливается конвективное течение, вызванное перепадом давления в теплоносителе. Задача решалась для различных видов распределения источника выхода продуктов деления (ПД) из топлива под оболочку. Интенсивность и распределение источника зависят от таких параметров как мощность и выгорание топлива в твэле, высотное положение дефекта.

По результатам решения данной задачи определялись скорости выхода ПД из твэла. Для практических приложений вместо абсолютной скорости выхода часто используют коэффициент массообмена  $\mu$ .

Согласно полученным закономерностям, характерные значения  $\mu$  при первичном дефекте обычно лежат в диапазоне  $10^{-7}$ - $10^{-5}$  с<sup>-1</sup>, а при наличии двух дефектов на разной высоте -  $10^{-4}$ - $10^{-1}$  с<sup>-1</sup>. Такое резкое увеличение коэффициента массообмена связано с появлением конвективного течения в области между дефектами.

Анализ выявил, что удобным индикатором степени дефектности является отношение активности <sup>133</sup>Xe к активности <sup>133</sup>I. На основании полученных результатов показано, что отношение активности <sup>133</sup>Xe к активности <sup>133</sup>I при образовании дефекта резко возрастает, достигает своего максимума, а затем монотонно убывает с ростом коэффициента массообмена. Это связано с тем, что йод обладает высокой адсорбирующей способностью. При низкой скорости массообмена значительная часть йода адсорбируется на оболочке. При увеличении скорости массообмена концентрация продуктов деления под оболочкой падает и йода адсорбируется меньше. При коэффициентах массообмена, характерных для негерметичного твэла с первичным дефектом и для негерметичного твэла с двумя крупными дефектами на разной высоте, отношение активностей <sup>133</sup>Xe и <sup>133</sup>I может отличаться в разы. Это дает возможность на практике по измерениям активности на АЭС определять факт образования вторичного дефекта при КГО на работающем реакторе.

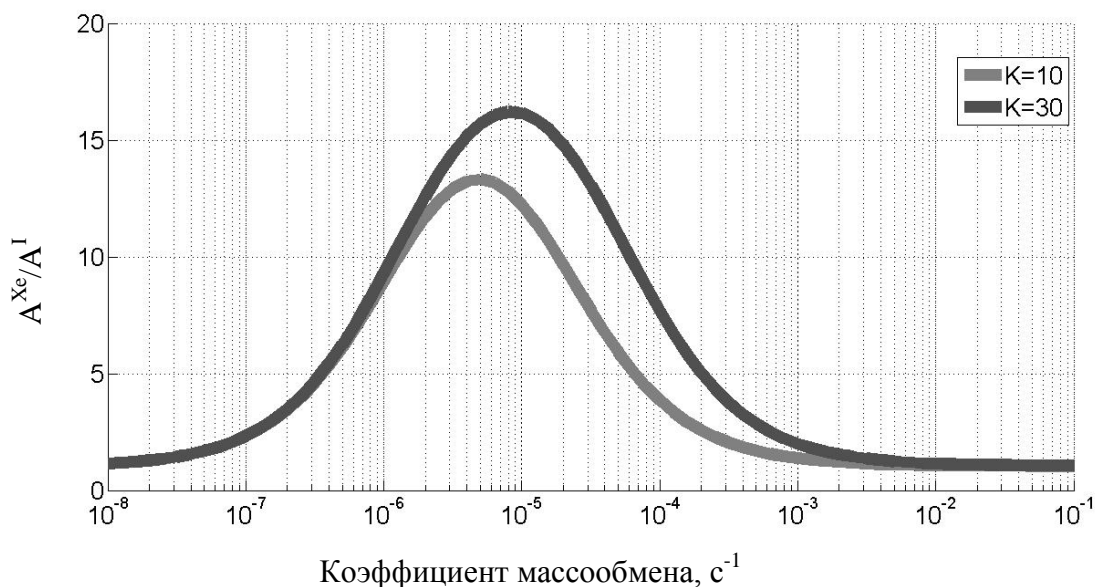


Рисунок 1. Зависимость относительной активности Xe<sub>133</sub>/I<sub>133</sub> от коэффициента массообмена Xe<sub>133</sub> при различных значениях константы прилипания

#### Литература

1. Н.А. Иванов, В.В. Лиханский, И.А. Евдокимов, А.А. Сорокин, В.Д. Канюкова, «Применение кода РТОП-СА для сравнения активности радионуклидов в теплоносителе при разгерметизации топлива АЭС-2006 и ВВЭР-1000», ВАНТ, Серия «Обеспечение безопасности АЭС», Вып.29, 2011, с.138-150.

2. В.Г. Зборовский, В.В. Лиханский, И.А. Евдокимов, Е.Ю. Афанасьева, Н.М. Ефремов, Д.А. Кириленко, «Моделирование выноса радионуклидов при контроле герметичности тепловыделяющих элементов на остановленном реакторе», Журн. Математическое моделирование, 2011, том 23, номер 7, стр.145-160.