

2. Syrtanov M. S., Kashkarov E. B., Abdulmenova A. V., Sidelev D. V. High-temperature oxidation of Zr1Nb zirconium alloy with protective Cr/Mo coating //Surface and Coatings Technology. – 2022. – Vol. 439, No. 128459. – P. 1–10.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО АНАЛИЗУ УЯЗВИМОСТИ НА ОБЪЕКТАХ

А.А. Коваленко, Е.А. Суханов, Б.П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина,30, 634050

E-mail: [aak274@tpu.ru](mailto:aak274@tpu.ru)

При обращении с ядерными материалами и/или эксплуатации ядерной установки необходимо обеспечивать физическую защиту ядерного материала. Важным составляющим процесса создания и совершенствования СФЗ на объекте является анализ уязвимости (АУ). Под АУ объекта понимается процесс обследования объекта и анализ технологического процесса на наличие в нем уязвимых мест, для дальнейшего определения предметов физической защиты, выделение угроз и вероятных способов их осуществления [1]. При проведении анализа рассматриваются потенциальные угрозы и последствия в случае их реализации, источниками которых являются преднамеренные действия нарушителей.

В настоящее время нет универсального метода проведения анализа уязвимости технологического процесса, позволяющего выделить его слабые места. В работе создаётся некоторый набор инструментария, который позволит унифицировать процесс проведения анализа с выделением уязвимых мест. Также планируется применять данный инструментарий не только к ядерным, но и к любым другим особо опасным объектам.

На данный момент разработана концептуальная модель, которая позволит рассмотреть процесс проведения анализа уязвимости любого объекта, с точки зрения функционирования технологических процессов, осуществляющихся на объекте и процессов, влияющих на них. В данной модели последовательно отражены все этапы проведения анализа, а каждый этап разворачивается на составляющие его подэтапы, которые в свою очередь имеют несколько различных способов их осуществления. Такое разнообразие поможет выбрать наиболее подходящий метод проведения АУ для каждого объекта.

Предлагаемый метод позволит проводить анализ уязвимости объектов с учетом особенностей функционирования, влияющих на эффективное функционирование системы физической защиты. Такой подход, позволит обеспечить дифференцированную защиту при минимальных затратах на нее. В дальнейшем планируется математическое описание разработанной концептуальной модели с помощью метода графов. Разработанный универсальный набор инструментов по проведению анализа уязвимости планируется внедрить на ядерных и других особо-опасных объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по проведению анализа уязвимости ядерного объекта» [Текст]: приказ Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 30 июля 2004 г. // Собрание законодательства Российской Федерации - 2019. – № 26. – ст. 7;

## ТЕПЛО-ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-1000 С ДИСПЕРСИОННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

К.А. Саламатов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [kas51@tpu.ru](mailto:kas51@tpu.ru)

Вид ядерного топлива, в котором делящийся материал в виде мелких частиц из сплавов, интерметаллидов или соединений урана и плутония распределен по объему неделяющейся матрицы из конструкционного материала, получил название дисперсного ядерного топлива [1]. Использование дисперсного ядерного топлива в ядерных реакторах позволяет увеличивать теплосъём в активной зоне без изменения поверхности тепловыделяющих элементов, снизить термические нагрузки на топливо.

В качестве среды расчёта использовалась система автоматического проектирования «Solidworks». Основной метод расчёта в САПР «Solidworks» - метод конечных элементов, который заключается в разбиении области, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, на конечное количество подобластей. В каждой подобласти составляются системы алгебраических уравнений, которые в последствии решаются и соотносятся с аппроксимирующей функцией [2].

Для верификации построенной модели была создана геометрическая модель тепловыделяющей сборки, заданы характеристики конструкционных материалов и произведён расчёт с заданием граничных условий, характерных для ТВС реактора ВВЭР-1000. Результаты расчёта при использовании в качестве топлива диоксида урана и дисперсионного топлива с матрицей из силумина приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта

| Характеристика                                  | UO <sub>2</sub> | AlSi+UO <sub>2</sub> |
|---|-----------------|----------------------|
| Температура теплоносителя на входе в ТВС, °C    | 290             | 290                  |
| Температура теплоносителя на выходе из ТВС, °C  | 312             | 328,85               |
| Максимальная температура топлива, °C            | 1342,85         | 1133,85              |
| Градиент температур в топливной таблетке, °C/мм | 164,6           | 69,89                |

Исходя из полученных значений, можно сделать вывод о том, что модель адекватна, так как расчёт с диоксидом урана близок к значениям, наблюдаемым при эксплуатации реактора ВВЭР-1000. Результат расчёта с дисперсным топливом указывает на то, что использование дисперсного топлива позволяет снизить термические нагрузки на топливо, а также увеличить теплосъём с тепловыделяющих элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическое материаловедение. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники. / Б.А. Калинин, П.А. Платонов, И.И. Чернов, Я.И. Штромбах. – М.: МИФИ, 2008. – 672
2. Балахов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. «Численные методы» - М.:СПб.: Лаборатория базовых знаний. 2002.- 342 с.
3. Физическое материаловедение. Том 6, часть 2. Ядерные топливные материалы /Ю.Г. Годин, А.В. Тенишев, В.В. Новиков. – М.: МИФИ, 2008. – 604 с;
4. Д.Н. Пузанов, А.А. Сатин. Анализ и обобщение данных по свойства циркониевых сплавов, применяющихся в качестве конструкционных материалов. Научно-техническая конференция молодых специалистов ОКБ «Гидропресс», Подольск, 16-17 марта, 2011

### СТОЙКОСТЬ ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СПЛАВА Э110 К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОКИСЛЕНИЮ

Д.А. Ашихмин, М.Э. Фишер, Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [daa39@tpu.ru](mailto:daa39@tpu.ru)

Циркониевые сплавы используются в качестве основного конструкционного материала тепловыделяющих сборок ядерных реакторов благодаря их высокой радиационной стойкости, стойкости к окислению при нормальных