ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЗАЩИТНОГО МОДУЛЯ DSM (DIAGNOSTIC SHIELD MODULE) ВЕРХНИХ ПОРТОВ ИТЭР

\*E.В. Александров, И.В. Буслаков, *\*\**А.А. Листопад, Д.С. Михалюк, В.С. Модестов, А.В. Пивков, С.А. Шиманский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,  
 Санкт-Петербург, Россия, [vmodestov@spbstu.ru](mailto:vmodestov@spbstu.ru)  
\*Проектный центр ИТЭР, Москва, Россия, [e.alexandrov@iterrf.ru](mailto:e.alexandrov@iterrf.ru)  
\*\*Институт Ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия,  
 [a.a.listopad@inp.nsk.su](mailto:a.a.listopad@inp.nsk.su)

Объектом исследования в данной работе является диагностический защитный модуль (ДЗМ), входящий в состав верхнего порта термоядерного реактора ИТЭР, который строится в исследовательском центре Кадараш на юге Франции.

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние ДЗМ верхнего порта ИТЭР. Основной задачей оборудования порта является диагностирование характеристик плазмы, которая, по сути, является топливом для термоядерного синтеза. ДЗМ, один из компонентов верхнего порта, имеет две основные функции: защита от нейтронного излучения и обеспечение жесткой фиксации размещаемых в порту диагностик.

ДЗМ будет эксплуатироваться в условиях высоких температур, значительных электромагнитных нагрузок и интенсивного потока высокоэнергетических нейтронов. При проведении прочностного расчета требуется учитывать все указанные нагружающие факторы.

В работе проводится вычисление динамических электромагнитных нагрузок в отдельных узлах конструкции. Представленные расчеты выполнены численным моделированием с использованием программной системы ANSYS Maxwell и Mechanical. Представлено решение электромагнитной динамической задачи, в которой рассмотрен сценарий срыва плазмы с ее неуправляемым движением по вертикали (сценарий VDE – Vertical Displacement Event) «вверх». Исходными данными для этой задачи стали результаты, полученные с помощью симулятора на основе кода ДИНА, разработанного для предиктивного моделирования эволюции равновесия плазмы токамака ИТЭР. Выполнена интерполяция исходных данных из комплекса ДИНА в среду расчета электромагнитных полей ANSYS Maxwell. Решена динамическая задача, где определена временная точка, в которой значения сил и моментов, возникающих при взаимодействии наведенных токов с магнитным полем ИТЭР, оказывают максимальное воздействие на конструкцию волновода.

С помощью средств интеграции, реализованных в рамках платформы ANSYS Workbench, осуществляется передача значений тепловыделения, возникающего в результате теплового действия тока, в задачу расчета теплового состояния конструкции. Еще одна группа граничных условий тепловой задачи – нагрев ДЗМ, вызванный нейтронным излучением, возникающим в результате термоядерной реакции. Итог теплового анализа конструкции – распределение температуры в расчетные моменты времени режимов прогрева и нормальной работы ИТЭРа.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) ДЗМ происходит передача в задачу расчета НДС векторного распределения сил, полученного при электромагнитном анализе. Кроме того, в расчет НДС из теплового анализа передается распределение температуры в конструкции. По результатам расчета с указанными граничными условиями оценивается распределение эквивалентных напряжений, возникающих в конструкции, с последующими выводами о ее работоспособности по итогам проведенных расчетов.