Электромагнитный, тепловой и прочностной анализ элементов диагностических модулей ИТЭР «Активная спектроскопия»

Кириенко И.Д., Федоренко Р.В., Буслаков И.В., Модестов В.С., 1Тугаринов С.Н., 2Науменко Н.Н.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
 Санкт-Петербург, Россия, [vmodestov@spbstu.ru](mailto:vmodestov@spbstu.ru)  
1Частное учреждение «Проектный центр ИТЭР», Москва, Россия,  
 [S.Tugarinov@iterrf.ru](mailto:S.Tugarinov@iterrf.ru)  
2Институт Физики имени Б.И.Степанова, НАН РБ, Минск, РБ,  
 [naumenko@imaph.bas-net.by](mailto:naumenko@imaph.bas-net.by)

Объектом исследования в данной работе являются зеркала диагностических систем «активной спектроскопии», а также защитные шторки первых зеркал, расположенных в вакуумном пространстве экваториального порта №3 термоядерного реактора ИТЭР, который строится в исследовательском центре Кадараш на юге Франции.

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние зеркал и защитных шторок. Зеркала и защитные шторки размещаются являются частью системы сбора света и размещаются в экваториальном порту установки ИТЭР. Основной функцией портов установки ИТЭР является снижение энергии и потока ионизирующего излучения, возникающего при работе реактора.

Оборудование экваториальных портов будет эксплуатироваться в условиях значительных электромагнитных нагрузок и интенсивного потока высокоэнергетических нейтронов. При проведении прочностного расчета требуется учитывать все указанные нагружающие факторы, а также выполнить расчет прочности зеркал и защитных шторок под действием сейсмических нагрузок.

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 DINA, разработанного для моделирования эволюции равновесия плазмы токамака ИТЭР. Выполнена интерполяция исходных данных из комплекса DINA 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 рам.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) зеркал и защитных шторок происходит передача в задачу расчета НДС векторного распределения объёмных 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. Расчет сейсмической прочности зеркал и защитных шторок осуществляется линейно спектральным методом с применением спектров ответа, полученных для областей крепления зеркал и защитных шторок к корпусу реактора для всех рассматриваемых типов землетрясений с использованием Generic Model исследуемого экваториального порта. Средствами программного комплекса ANSYS был произведён расчет спектральной плотности мощности интерфейсных воздействий.