РАСЧЁТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ, ГИДРАВЛИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ЗАЩИТНЫЕ МОДУЛИ (ДЗМ) ПОРТАХ №2 и №8 ИТЭР

E.В. Александров2, И.В. Буслаков1, А.А. Листопад3, В.С. Модестов1, А.В. Пивков1, С.А. Шиманский1, И.Д. Кириенко1, М.В. Иванцивский3,4, Е.К. Зайцев3

1Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,   
 г. Санкт-Петурбург, Россия, [vmodestov@spbstu.ru](mailto:vmodestov@spbstu.ru)  
2Проектный центр ИТЭР, г. Москва, Россия, [e.alexandrov@iterrf.ru](mailto:e.alexandrov@iterrf.ru)  
3Институт Ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия,   
 [a.a.listopad@inp.nsk.su](mailto:a.a.listopad@inp.nsk.su)  
4Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

Объектом исследования в данной работе является конструкция диагностического защитного модуля (далее — ДЗМ) в составе верхнего порт-плага портов №2 и №8 термоядерного реактора ИТЭР. На данный момент ИТЭР находится на стадии строительства в исследовательском центре Кадараш на юге Франции.

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние (далее – НДС) верхнего порт-плага ИТЭР. Основной задачей оборудования порта является диагностирование характеристик плазмы. ДЗМ, один из компонентов верхнего порта, имеет две основные функции: защита от нейтронного излучения и обеспечение жесткой фиксации размещаемых в порту диагностик.

Порт-плаг 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 исследуется прочность ДЗМ под действием сейсмических нагрузок линейно-спектральным методом. На основе значений эквивалентных напряжений, полученных в результате сейсмического анализа, делаются выводы о возможности эксплуатации конструкции под действием сейсмических нагрузок.

Также в работе проводится вычисление динамических электромагнитных нагрузок в отдельных узлах конструкции. Представленные расчеты выполнены методом численного моделирования с использованием программной системы ANSYS Maxwell и Mechanical. Представлено решение электромагнитной динамической задачи, в которой рассмотрен сценарий срыва плазмы с ее неуправляемым движением вертикально вверх (сценарий VDE — Vertical Displacement Event). Исходными данными для этой задачи стали результаты, полученные с помощью симулятора на основе кода DINA.

При исследовании НДС ДЗМ происходит передача в задачу расчета НДС векторного распределения сил, полученного при электромагнитном анализе. По результатам расчета с указанными граничными условиями оценивается распределение эквивалентных напряжений, возникающих в конструкции, с последующими выводами о ее работоспособности по итогам проведенных расчетов.

Также в работе проводится термогидравлический расчет с целью изучения теплового состояния ДЗМ с учетом циркуляции воды в каналах охлаждения порта. Для его выполнения использовалась система КЭ моделирования Ansys CFX. Были определены характеристики течения теплоносителя в каналах системы охлаждения. В ходе расчета получено температурное поле в ДЗМ в режиме нормальной работы.