

DOI: 10.34854/ISPAF.52.2025.1.1.260

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИХ НАКЛАДОК РЕАКТОРА ИТЭР

²Никулин Б.И., ²Сулейманов Т.М., ²Поддубный И.И., ²Свириденко М.Н.,
¹Путрик А.Б.

¹Частное учреждение «ИТЭР-Центр», Москва, Россия

²АО «НИКИЭТ», Москва, Россия

Защитный бланкет реактора ИТЭР состоит из 440 модулей бланкета (МБ), каждый из которых включает панель первой стенки (ППС), обращенную к плазме, и защитный блок (ЗБ). В состав системы механического крепления как ППС к ЗБ, так и ЗБ к вакуумной камере (ВК) входят контактные электроизолирующие накладки (КЭИН), ограничивающие перемещения МБ относительно ключей ВК, воспринимающие циклические электромагнитные нагрузки, и обеспечивающие электроизоляцию.

Конструкция КЭИН, изготавливаемых из Ni-Al бронзы, представляет собой тело вращения либо прямоугольное тело с контактными сферическими поверхностями радиусом 300 мм. Для обеспечения электроизоляции на тыльную и боковую поверхности накладок наносится электроизоляционное покрытие (ЭИП) на базе Al_2O_3 .

При срывах плазмы в МБ наводятся электромагнитные силы и моменты, что приводит к возникновению комбинации нормальной и касательной сил, действующих на интерфейсе «накладка-ключ». Разработанная программа квалификации предполагает 2 типа механических испытаний КЭИН: статические и ударные. Первые проводятся на оснастке, позволяющей испытывать накладки под углом, что реализует обе составляющие силы на интерфейсе «накладка-пластина». А ударные испытания моделируют кратковременное нагружение при действии только осевой нагрузки. Для обеспечения возможности реализации в том числе касательных нагрузок в конструкцию оснастки для ударных испытаний введена клиновидная пластина с 2 наклонными поверхностями. Нажимные пластины, изготовленные из стали 1.4406 (марки 316L(N)-IG), моделируют фрагмент ЗБ/ВК. Оснастка позволяет добиться необходимой вертикальной силы на накладках, варьируя высоту сброса бойка.

Для анализа динамических сил реакций конечно-элементная модель оснастки была доработана – дополнена клиновидной пластиной и модернизированными (Т-образными) нажимными пластинами, и выполнен упругопластический расчет в коде ANSYS/LS-Dyna, использующим явную схему дискретизации по времени. Начальная скорость бойка определяется из закона сохранения энергии. Расчеты выполнены с использованием модели Johnson-Cook, позволяющей учесть кинематическое упрочнение конструкционных материалов при ударном нагружении.

По результатам численного моделирования определено, что возникающие в оснастке напряжения не превышают допустимые пределы. Полученные результаты позволяют сформулировать критерии и предложить методику ударных испытаний для каждого типа КЭИН и каждого уровня нагрузок.

Работа выполнена в рамках договора №76-21до от 16 июня 2021 г. между «ИТЭР-Центр» (Заказчик) и АО «НИКИЭТ» (Исполнитель), государственные контракты с ГК «Росатом» от 18.01.2023 г. № Н.4а.241.19.23.1014.