Оценка температурного поля в сборке опоры внутреннего бланкета реактора итЭр при разрушении Электроизоляционного покрытия [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Никулин Б.И., 1Поддубный И.И., 1Свириденко М.Н., 1Данилов И.В., 3Путрик А.Б.

1АО «НИКИЭТ», Москва, Россия  
2НИУ «МЭИ», Москва, Россия  
3ЧУ ГК Росатом «Проектный центр ИТЭР», г. Москва, Россия

Защитный бланкет реактора ИТЭР состоит из 440 модулей бланкета (МБ), каждый из которых механически закреплен на вакуумной камере (ВК) с помощью четырех сборок гибких опор, главным элементом которых является гибкий картридж. Для обеспечения электрической изоляции опоры от ВК используется оксид алюминия, наносимый на коническую поверхность гайки и плоскую поверхность втулки.

Конструкционные материалы компонентов опоры имеют различные коэффициенты термического расширения, что приводит к возникновению термоупругих напряжений и уменьшению усилия затяга болта. При срывах плазмы в МБ индуцируются знакопеременные электромагнитные силы, что может привести к раскрытию стыка на интерфейсе «коническая втулка-картридж» и при циклическом режиме работы реактора ИТЭР к разрушению изоляции с последующим протеканием тока.

Данная работа посвящена анализу полей температур в сборке гибкой опоры в нормальном и аварийном режимах. Расчеты выполнены в среде ANSYS Mechanical APDL.

Целью теплового расчета является нахождение температурных полей в режиме Inductive I, представляющего собой последовательность режимов горения плазмы и режимов паузы. Для решения задачи используются нестационарное уравнение теплопроводности с учетом внутреннего энерговыделения, граничные (интерфейс на границе с ВК – 100 oC, на границе с модулем бланкета – 130 оС) и начальные условия (для всех компонентов опоры – 100 оС), условия сопряжения на поверхностях деталей сборки опоры. Максимальная температура в картридже достигает 156 оС, поле температуры в опоре линейно спадает от МБ к ВК.

Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) проводился при следующих шагах нагружения: затяг болта 600 кН при 20 oC, равномерный разогрев до 100 oC, приложение температурных полей, соответствующих режимам паузы и импульса, поперечное смещение МБ на 1.6 мм и разворот на 0.085o, осевая растягивающая сила 600 кН. Последние 3 шага обусловлены действиями электромагнитных сил при срывах плазмы при токе величиной 137 кА. Расчет НДС основывается на совместном решении уравнений Дюгамеля-Неймана, сплошности, соотношений Коши вместе с граничными условиями [2].

В режиме Inductive I усилие затяга центрального болта опоры падает до 496 кН, что приводит к раскрытию стыка при совместном действии электромагнитной силы 600 кН и комбинации смещения МБ и разворота. Раскрытие стыка может привести к разрушению электроизоляции и аварийному режиму работы бланкета, когда ток пойдет через опору.

Целью электрического расчета опоры является определение поля джоулева тепловыделения. Рассчитанное энерговыделение накладывается на опору в нестационарном тепловом расчете в течение 300 мс, где за начальное температурное поле принимается поле в конце режима горения. Максимальная температура в картридже возрастает более чем в 6 раз и достигает 966 оС. Остывание до рабочей температуры опоры происходит за 4100 с.

Такие высокие температуры сопровождаются значительными термическими напряжениями, которые могут привести к потере несущей способности картриджа, что говорит о необходимости предотвращения раскрытия стыка. Тем не менее в режиме Inductive Ⅰ сборка опоры и отдельные ее компоненты удовлетворяют критериям статической и усталостной прочности SDC-IC.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/E/en/IV-Nikulin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)