разработка и испытания высоковольтной корпусной изоляции внешних элементов обмотки катушки ИТЭР

Бурсиков А.С., Марушин Е.Л., Медников А.А., Родин И.Ю., Сафонов А.В., Степанов Д.Б.

Научно-Исследовательский Институт Электрофизической Аппаратуры им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия, a.mednikov@list.ru

Магнитная система ИТЭР состоит из нескольких десятков крупномасштабных сверхпроводниковых магнитов с прокачным охлаждением жидким гелием при рабочей температуре около 4К. Применение сверхпроводников для изготовления магнитов ИТЭР позволяет резко снизить энергозатраты на создание сильных электромагнитных полей, многократно увеличить конструктивную плотность тока в обмотках, одновременно снизив массу и габариты магнитов. При этом каждый из магнитов отдельно и вся магнитная система в совокупности испытывают колоссальные механические и электромагнитные нагрузки, вызванные высокими рабочими токами, большими магнитными полями, перепадами температур, влиянием радиационных потоков.

Для создания данных магнитов, способных сохранить работоспособность в течение всего периода эксплуатации ИТЭР (не менее 25 лет), использование стандартных материалов и типовых технологических методик изготовления во многих элементах не применимо. В связи с этим требуется разработка, исследование и верификация на квалификационных образцах новых технологий и материалов, отвечающих высочайшим требованиям магнитной системы ИТЭР.

Катушка PF1 является одной из шести катушек полоидального поля магнитной системы ИТЭР. Катушка состоит из восьми двухслойных галет. Ввод тока в катушку и его вывод осуществляется через электрические контакты, которые расположенные на выводных концах верхней и нижней ДГ. Род тока заводимого в катушку - переменный, рабочая температура катушки- 4,2К.

Многокомпонентная электрическая изоляция обмотки катушки пропитывается методом вакуумно-нагнетательной пропитки эпоксидиановым компаундом горячего отверждения. Данный метод уже был исследован на предыдущих этапах работ и подтвердил соответствие механической и диэлектрической прочности требованиям ИТЭР. В то же время катушка имеет внешние отстающие от обмотки элементы сложной геометрической формы, такие как: гелиевые вводы и выводы, электрические контактные соединения, гелиевые коллектора и систему диагностики. Все перечисленные элементы во время работы токамака могут оказаться под высоким потенциалом, при этом располагаясь в непосредственной близости с заземлёнными металлическими частями внешней защитной структуры или металлического экрана. В то же время в связи с отсутствием технологической возможности произвести вакумно-нагнетательную пропитку корпусной изоляции данных элементов, приходится применять метод препрега (prepreg) или «мокрой» намотки (wet winding) при наложении корпусной изоляции, «сращивая» её с корпусной изоляцией обмотки. В связи с этими обстоятельствами появляется повышенный риск возникновения пробоя корпусной изоляции данных элементов и её стыке с изоляцией обмотки катушки.

Данная статья описывает этапы разработки, изготовления и результаты промежуточных испытаний образца корпусной изоляции катушки PF1, состоящего из внешних элементов сложной формы.