

ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ИСПЫТАНИЯ И ПОСТАВКА КАТУШКИ ПОЛОИДАЛЬНОГО ПОЛЯ ПФ1 ДЛЯ ПРОЕКТА ИТЭР^{*)}

¹Устинов А.Л., ²Бурских А.С., ³Вадатурский В.В., ²Медников А.А.,
¹Красильников А.В., ²Родин И.Ю.

¹ЧУ "ИТЭР-ЦЕНТР", г. Москва, Россия, a.ustinov@iterrf.ru

²АО "НИИЭФА", г. Санкт-Петербург, Россия

³АО "СНСЗ", г. Санкт-Петербург, Россия

Сверхпроводниковая электромагнитная система (ЭМС) установки ИТЭР состоит из центрального соленоида, 18 тороидальных, 6 полоидальных и 18 корректирующих катушек. Конструкция и подходы к изготовлению полоидальных катушек разработаны международной организацией (МО) ИТЭР. Обмотка изготовлена из Nb-Ti обмоточных проводов типа «кабель в оболочке» с циркуляционным охлаждением. Силовая оболочка проводов квадратного сечения изготовлена из аустенитной нержавеющей стали 316LN. Катушки ПФ2-ПФ5 изготовлены и поставлены европейским агентством ИТЭР (F4E). Для их изготовления на площадке строительства ИТЭР во Франции было построено здание В55 с набором технологического оборудования. Катушка ПФ6 изготовлена в Китае.

За изготовление и поставку катушки ПФ1 отвечала РФ. Соглашение о поставке с МО ИТЭР было подписано в марте 2011 года. Требования качества предусматривали квалификацию используемых материалов, технологий и персонала с изготовлением и испытанием большого числа образцов и макетов, а также испытания критических узлов и катушки ПФ1 в сборе. Наряду с методами неразрушающего контроля, таких как ультразвук, рентген, испытания на герметичность и др., применялись методы разрушающего контроля квалификационных образцов сварных соединений и изоляции после вакуумно-нагнетательной пропитки (ВНП).

Катушка ПФ1 состоит из 8 двухслойных галет, изготовленных методом двухзаходной намотки [1]. Каждая галета содержит 2 намоточные длины обмоточного сверхпроводника по 400 метров каждая. Всего использовано 16 длин. Для комплексной квалификации технологий была изготовлена макетная галета из проводов с кабелями из медной проволоки. Провода изготовлены кооперацией Российских и Европейских организаций.

Посередине каждой намоточной длины сварены вводы гелия, используемого для криогенного обеспечения катушки. Многослойная витковая электроизоляция галет из стекло- и полиимидной лент накладывалась в процессе намотки. Намотка и изолирование галет производились в помещении 8-го класса чистоты. Изоляция галет усилена посредством ВНП эпоксидной смолой горячего отверждения. Пропитанные галеты укладывались в стопку через прокладки из стеклоткани. На стопку галет накладывалась многослойная корпусная изоляция из стеклоленты. Для соединения в обмотку выводные концы галет оснащались концевыми конструкциями - короб с крышкой, изготовленными из биметаллической плиты медь-нержавеющая сталь. Разделанные концы сверхпроводящих кабелей каждой галеты запаены в короба и образуют полуконтакты, герметичность которых обеспечена приваркой крышек. В короба герметично сварены трубки контура гелиевого охлаждения. Полуконтакты соседних галет объединены в низкоомные электрические контакты. Всего в катушке ПФ1 8 внутригалетных и 7 межгалетных электрических контакта, а также 2 терминальных полуконтакта для соединения с фидерами питания. Входные и выходные гелиевые трубки контактов через высоковольтные развязки объединены во входной и выходной коллекторы. Корпусная изоляция обмотки ПФ1 усилена ВНП эпоксидной смолой горячего отверждения. Высоковольтная прочность обмотки квалифицирована испытаниями по кривой Пашена [2].

Литература

- [1]. Mednikov A.A. et al., Experience in PF1 dummy pancake manufacturing on the mobile facility for winding and VPI of large-scale superconductive magnets. — IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2016. Vol. 26. № 4. p. 7400977
- [2]. Yury Ilin et al., Completion and Factory Acceptance Test of ITER PF1 Coil – MT-28 conference

^{*)} DOI – тезисы на английском