

ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫЕ ПАНЕЛИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ИТЭР: ТЕКУЩИЙ СТАТУС ПРОЕКТА И ПЛАНЫ ^{*)}

¹Пискарев П.Ю., ¹Герваш А.А., ¹Глазунов Д.А., ¹Бобров С.В., ¹Рулев Р.В.,
²Путрик А.Б.

¹АО «НИИЭФА», Санкт-Петербург, Россия, piskarev@sintez.niiefa.spb.su

²Частное учреждение «Проектный центр ИТЭР», Москва, Россия.

Успешно завершен многолетний цикл изготовления и испытаний полномасштабного прототипа высоконагруженной панели первой стенки (ППС) ИТЭР. Для достижения данного результата пройден длинный путь от поисковых экспериментов на малых макетах, разработки и квалификации критических технологий изготовления, расчетного обоснования конструкции и, наконец, изготовления и испытаний полномасштабного прототипа.

Соглашение о поставке, подписанное между международной организацией (МО) ИТЭР и домашним агентством РФ ИТЭР, подразумевает изготовление и поставку 179 высоконагруженных ППС, являющихся одними из наиболее энергонапряженных систем реактора. Завершение испытаний полномасштабного прототипа является одним из финальных шагов для получения разрешения для изготовления ППС ИТЭР.

Конструкция ППС, поставляемых РФ, имеет около 30 исполнений (в зависимости от положения панели в реакторе) и состоит из набора обращенных к плазме элементов (пальцев), смонтированных на несущей конструкции. Пальцы являются самыми энергонапряженными элементами, имеют многослойную композицию из разнородных металлов, систему интенсивного охлаждения и обеспечивают интерфейс плазма-стенка. Конструкция ППС при разработке прошла верификацию расчетными методами и подтверждена экспериментами. В частности, макеты с бериллиевой облицовкой выдержали 30000 циклов тепловых испытаний поверхностной тепловой нагрузкой при $4,7 \text{ МВт/м}^2$ плотности поглощенной мощности, что является рекордным результатом.

Все 40 пальцев прототипа успешно прошли гидравлические испытания с давлением воды 7 МПа и вакуумные испытания с контролем герметичности при давлении гелия 4 МПа. 12 пальцев успешно выдержали 1000 циклов при $4,7 \text{ МВт/м}^2$, что полностью соответствует требованиям МО ИТЭР. Полномасштабный прототип успешно прошел сдаточные гидравлические и вакуумные испытания. Гидравлические испытания включали испытания давлением 7 МПа с выдержкой 30 минут, а также испытания в проточном режиме с контролем скорости потока во всех параллельных каналах методом ультразвукового измерения расхода. Финальный этап – горячие вакуумные испытания, заключался в циклическом нагружении изделия давлением гелия до 4 МПа при комнатной и повышенных (250 °С) температурах. Глубокое обезгаживание и применение нераспыляемых газовых поглотителей водорода позволило обеспечить фоновый уровень по гелию не хуже, чем $10^{-11} \text{ Па} \times \text{м}^3/\text{с}$ при 250 °С и очень высокую чувствительность при контроле герметичности. По итогам программы полномасштабного прототипа ППС в МО ИТЭР направлен отчет.

До завершения программы полномасштабного прототипа начаты процедуры поставки основных материалов для изготовления «серийных» элементов ППС, а также изготовление некоторых полуфабрикатов элементов. Проводится технологическое макетирование наиболее сложных узлов различных исполнений модулей ППС.

Намерение МО ИТЭР о смене материала облицовки ППС с бериллия на вольфрам заставило провести анализ пригодности разработанных для ППС технологий в случае принятия такого решения. Результаты анализа и проведенных инициативных экспериментальных работ оказались положительными и крайне обнадеживающими и демонстрируют гибкость и высокий уровень разработок АО «НИИЭФА».

^{*)} DOI – тезисы на английском