

Заключение

Диссертационного совета Д 520.009.06 по диссертации Хвостенко П.П.
на соискание ученой степени доктора технических наук

- 1) Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:
 - разработана концепция термоядерного источника нейтронов на базе компактного токамака Т-15МД с диверторной конфигурацией плазменного шнура;
 - доказана возможность применения ниобий - оловянного проводника с циркуляционным охлаждением в сверхпроводящих магнитных системах установок токамак;
 - доказано, что причиной резистивных тепловыделений в сверхпроводящей обмотке тороидального поля (СОТП) являются многочисленные изломы сверхпроводника, полученные на разных стадиях изготовления блоков по технологии «отжиг-намотка»;
 - предложена технология «намотка-отжиг» для изготовления современных сверхпроводящих обмоток, в частности, для международного проекта ИТЭР.
- 2) Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что изложены:
 - результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов охлаждения, криостатирования и отогрева электромагнитной системы установки Т-15;
 - методики расчетов и результаты экспериментальных исследований режимов кондиционирования вакуумной камеры;
 - результаты экспериментальных и теоретических исследований СОТП, рекомендации по использованию результатов в будущих разработках, включая международный проект ИТЭР;
 - физическое обоснование параметров и проекты модернизации токамака Т-15 с целью создания современной экспериментальной установки с диверторной конфигурацией плазменного шнура, способной дать информацию в поддержку проекта ИТЭР.
- 3) Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:
 - результаты экспериментальных инженерно - физических исследований, проведенных в период предмонтажных испытаний элементов установки и в период работы установки токамак Т-15, были использованы для доработки проектных решений для отдельных элементов и токамака в целом, и обеспечили достижение проектных параметров токамака Т-15;
 - созданы и верифицированы расчётные модели для определения стационарных тепловых нагрузок на криогенную систему, максимальной температуры нагрева сверхпроводящей обмотки при защитном выводе энергии, для определения уровня уставок, по амплитуде и длительности активного напряжения, которые были применены при создании новой системы защиты СОТП при потере сверхпроводимости;
 - получены экспериментальные данные по токнесущей способности СОТП в широком диапазоне температур; экспериментальные и расчетные данные по уровню резистивных тепловыделений, динамике роста активных напряжений при нарушении сверхпроводимости были использованы для обоснования применения ниобий-оловянных сверхпроводников в ИТЭР и будущих термоядерных реакторах;
 - предложена и реализуется технология «намотка-отжиг» для изготовления катушек СОТП и центрального соленоида, на основе ниобий – оловянного проводника, в международном проекте ИТЭР;
 - полученный опыт сооружения и эксплуатации установки Т-15 дал толчок к развитию промышленности для создания низкотемпературных сверхпроводников, технологий изготовления электромагнитных систем экспериментальных плазменных установок и сверхпроводящих магнитных систем будущих термоядерного и гибридного реакторов;

- знания, полученные при проведении инженерно-физических исследований на токамаке Т-15, были востребованы при проектировании токамаков со сверхпроводящими обмотками, таких как ИТЭР, EAST (КНР), ТРХ (США), KSTAR (Южная Корея), SST-1 (Индия), ТИН (Россия);
 - на основе разработанной проектной документации в настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» в рамках ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года» сооружается крупнейший в России токамак с дивертором – Т-15МД.
 - результаты диссертационной работы можно рекомендовать к внедрению в организациях, ведущих исследования в области управляемого термоядерного синтеза и технической сверхпроводимости – АО «ГНЦ РФ «ТРИНИТИ», ФГБУН ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, НИЯУ «МИФИ», АО НИИЭФА, АО ВНИИКП.
- 4) Оценка достоверности результатов исследования подтверждается:
- сопоставлением расчетных и экспериментальных данных, полученных автором, с аналитическими решениями и данными аналогичных исследований на токамаках TORE-Supra, ITER, EAST, KSTAR, SST-1;
 - одновременным снижением расхода жидкого азота, тепловой нагрузки и электропотребления в режиме прогрева камеры на «захоленной» установке, после ввода в эксплуатацию модернизированной системы омического прогрева вакуумной камеры;
 - документами о проектировании и сооружении крупнейшего в России нового токамака Т-15МД с диверторной конфигурацией плазменного шнура, с большим радиусом плазменного шнура 1.48 м, аспектным отношением 2.2, тороидальным магнитным полем 2.0 Тл и током плазмы 2.0 МА;
- 5) Использовались общенаучные и специальные методы, традиционные для области создания электрофизических и ядерных энергетических установок. Методология проведенных исследований базировалась на теоретических, численных и эмпирических подходах.
- б) Личный вклад соискателя адекватно отражен в содержании диссертации и основных положениях, вынесенных на защиту, и состоит в:
- осуществлении обработки и анализе экспериментальных данных, полученных в период проведения предмонтажных испытаний отдельных элементов ЭМС Т-15, принятии технических решений, направленных на обеспечение работоспособности установки;
 - создании расчётных моделей и проведении расчетов стационарных тепловых нагрузок на криогенную систему, определении диаграммы уставок по амплитуде и длительности активного напряжения для системы защиты СОТП при нарушении сверхпроводимости, максимальной температуры нагрева сверхпроводящей обмотки при защитном выводе энергии из СОТП, скорости распространения нормальной фазы и энергии, выделившаяся в обмотке при защитном выводе тока;
 - создании расчётных моделей и проведении расчетов при выборе базовых параметров токамаков Т-15М, Т-15Д и Т-15МД;
 - создании системы прогрева вакуумной камеры токамака Т-15 на основе омических нагревателей, размещенных на внутренней поверхности камеры;
 - проведении экспериментальных исследований СОТП: температуры нагрева обмотки при нарушении сверхпроводимости и защитном выводе энергии, скорости распространения нормальной фазы, токонесущей способности, влияния плазменных режимов на работоспособность СОТП;
 - осуществлении научно-технического руководства разработками проектов по модернизации электромагнитной системы и вакуумной камеры токамака Т-15 с целью создания диверторной конфигурации плазменного шнура: проекты токамаков с теплыми обмотками Т-15М, Т-15Д и Т-15МД.