

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора - Генерального  
конструктора по гражданским объектам  
Главный конструктор по ядерно-физическим  
системам ИТЭР



Ю.С.Стребков



2012 г.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

**«ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ  
НАГРУЗОК НА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПЕРВОЙ СТЕНКИ  
БЛАНКЕТА ИТЭР.**

**КОМБИНИРОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ, ТЕПЛОВЫХ  
НАГРУЗОК И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРВОЙ СТЕНКИ»**

Москва

2012

## **Общие положения**

1.1. Настоящее техническое задание разработано в рамках работ, проводимых РФ по реализации проекта ИТЭР в части обоснования работоспособности несущих конструкций первой стенки (НКПС) защитных модулей (ЗМ) blankets ИТЭР в 2012-2013 г.г.

1.2 Основание для проведения работ - договор от 27 февраля 2012 года №74-12 на выполнение НИОКР "Разработка, опытное изготовление и испытание опытных образцов несущих конструкций первой стенки и соединителей модулей blankets ИТЭР в 2012 - 2013 г.г." между Частным учреждением "ИТЭР-Центр" и ОАО "НИКИЭТ".

1.3. Сроки выполнения работы:

- начало – 3-й квартал 2012 г.
- окончание – 30 ноября 2012 г.

## **2. Цель работы**

2.1. Цель работы:

- оценка влияния дополнительных электрических замыканий между первой стенкой (ПС) и защитным блоком (ЗБ), возникающих в результате разрушения электрической изоляции на полоидальных накладках системы крепления панели ПС, на величину электромагнитных (ЭМ) нагрузок, действующих на НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР;

- расчет напряженно-деформированного состояния НКПС ЗМ blankets ИТЭР при действии ЭМ нагрузок, вызванных разрушением электрической изоляции на полоидальных накладках системы крепления панели ПС.

2.2. Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) должна быть выполнена также для комбинаций ЭМ нагрузок с другими нагрузками, специфицированными для панелей ПС реактора ИТЭР.

## **3. Исходные данные**

3.1. Наиболее опасные, с точки зрения величины ЭМ нагрузок, сценарии срывов тока плазмы предоставляются организацией ИТЭР в соответствии с рекомендациями, изложенными в "Blanket System Analyses FDR Protocol", IDM Number ITER\_D\_33945Y, v.1.0, 2012

3.2. Оценка влияния аварийного образования дополнительных электрических контактов между полоидальными контактными накладками системы крепления ПС и ЗБ на величину ЭМ нагрузок должна быть произведена для типового модуля внешнего blankets и наиболее опасного, с точки зрения величины этих нагрузок, сценария срыва тока плазмы.

3.3. Оценка прочности НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР должна быть выполнена в соответствии с "Нормами прочности ИТЭР для внутрикамерных элементов" (ITER SDC-IC).

#### **4. Содержание работы**

4.1. Оценить влияние образования дополнительных электрических контактов между полоидальными накладками системы крепления панели ПС и ЗБ на величину ЭМ нагрузок, действующих на НКПС типового модуля внешнего blankets.

4.2. Провести расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР под действием полученных ЭМ нагрузок.

4.3. Выполнить оценку прочности НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР, включая элементы системы крепления на ЗБ.

#### **5. Основные технические требования к выполнению работы**

##### **5.1. Требования к расчету электромагнитных нагрузок**

5.1.1. Привлекаемые к работе специалисты должны иметь опыт проведения ЭМ анализа внутрикамерных элементов токамака ИТЭР.

5.1.2. Расчетная модель, предназначенная для проведения ЭМ анализа НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР, должна адекватно описывать следующие компоненты установки ИТЭР:

- центральный соленоид и катушки полоидального магнитного поля;
- катушки тороидального магнитного поля;
- двухслойную вакуумную камеру с полоидальными ребрами;
- собственно типовой модуль внешнего blankets ИТЭР и окружающие его проводящие структуры.

5.1.3. Расчетная модель типового модуля внешнего blankets ИТЭР должна адекватно описывать следующие элементы:

- защитный блок (ЗБ);
- НКПС;
- обращенные к плазме компоненты (пальцы) ПС;
- электрические контакты между полоидальными накладками системы крепления ПС и ЗБ, возникающие в результате разрушения электроизоляционного покрытия.

5.1.4. ЗБ должен быть электрически соединен с внутренней стенкой вакуумной камеры через две бронзовые контактные пластины (electrical straps). Необходимо также промоделировать два штатных электрических контакта между НКПС и ЗБ,

обеспечиваемые при помощи бронзовых контактных пластин, идентичных по конструкции электрическим замыкателям (electrical straps) ЗБ.

5.1.5. Расчетная модель пальцев ПС должна адекватно описывать следующие особенности их конструкции:

- бериллиевое покрытие толщиной 8 мм, выполненное в виде отдельных плиток,
- бронзовую часть канала охлаждения типа Hypervaportron (с учетом её зубчатой структуры),
- каналы охлаждения в стальной (несущей) части конструкции;
- электрические контакты пальца с НКПС в области двух силовых сварных швов системы крепления каждого пальца на НКПС,
- парное электрическое соединение соседних пальцев посредством трубок охлаждения.

5.1.6. Необходимо рассмотреть нормальный режим работы ПС, а так же три следующих возможных варианта возникновения дополнительного электрического замыкания между полоидальными накладками системы крепления ПС и ЗБ:

1. замыкание в результате разрушения электрической изоляции верхней (в полоидальном направлении) пары полоидальных накладок;
2. замыкание в результате разрушения электрической изоляции нижней (в полоидальном направлении) пары полоидальных накладок;
3. замыкание в результате разрушения электрической изоляции на всех четырех полоидальных накладках.

При моделировании аварийного электрического контакта принять, что замыкание происходит через 10% от общей площади тыльной части накладки (диаметр тыльной части составляет 65 мм).

5.1.7. Необходимо учесть различные электрические сопротивления проводящих материалов, которые используются в расчетной модели.

5.1.8. Расчет ЭМ нагрузок, действующих на ПС как в нормальном режиме эксплуатации, так и с учетом замыкания через полоидальные накладки, следует проводить для наиболее опасного, с точки зрения ЭМ нагрузок, сценария срыва тока плазмы. При этом необходимо учесть два независимых переходных ЭМ процесса:

- процесс, вызванный изменением тороидального тока плазмы;
- процесс, вызванный изменением тороидального магнитного потока, связанного с током плазмы.

5.1.9. Для всех режимов работы, перечисленных в п. 5.1.6, должны быть получены распределенные в пространстве и времени суммарные нагрузки, являющиеся суперпозицией нагрузок, вызванных каждым из двух переходных ЭМ процессов, приведенных в п. 5.1.8.

5.1.10. На основе полученных суммарных распределенных ЭМ нагрузок должны быть найдены законы изменения во времени интегральных сил и моментов, действующих как на всю ПС целиком, так и на её отдельные компоненты. На

основе этих временных зависимостей должны быть определены максимальные значения интегральных нагрузок на элементы ПС.

5.1.11. Полученные для трех вариантов электрического замыкания (см. п. 5.1.6) интегральные нагрузки на элементы ПС должны быть сопоставлены с аналогичными нагрузками, полученными для нормального режима работы. В результате сопоставления должны быть получены численные оценки степени влияния того или иного варианта аварийного электрического замыкания на значения компонент интегральных сил и моментов, действующие на основные элементы ПС.

5.1.12. Результаты ЭМ анализа должны быть представлены в виде отчета в формате MS Word и/или PDF и переданы Заказчику.

## **5.2. Требования к расчету напряженно–деформированного состояния и анализу прочности**

5.2.1. Привлекаемые к работе специалисты должны иметь опыт расчета внутрикамерных элементов токамака ИТЭР и оценки их прочности в соответствии с Нормами ИТЭР.

5.2.2. Расчеты НДС должны быть выполнены в программном комплексе ANSYS (версия 12.1) с использованием 3-х мерных конечно-элементных (КЭ) моделей.

5.2.3. При разработке моделей необходим учет контактных интерфейсов в системе крепления НКПС к ЗБ.

5.2.4. Файлы с результатами расчетов НДС (в формате \*.rst, \*.db) передаются Заказчику.

5.2.5. Оценка прочности должна быть выполнена в соответствии с "Нормами прочности ИТЭР для внутрикамерных элементов" (ITER SDC-IC).

## **6. Ожидаемые результаты работ**

6.1. Электромагнитные нагрузки, действующие на НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР (файлы узловых нагрузок для последующего анализа НДС) для трех возможных случаев разрушения электрической изоляции полоидальных накладок.

6.2. Результаты анализа НДС НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР, обусловленного ЭМ нагрузками при разрушении электрической изоляции полоидальных накладок (файлы в формате \*.rst, \*.db).

6.3. Результаты расчета прочности НКПС типового модуля внешнего blankets ИТЭР, а также элементов системы крепления НКПС к ЗБ в соответствии с "Нормами прочности ИТЭР для внутрикамерных элементов" (ITER SDC-IC).

## **7. Перечень документации, передаваемой по окончании работ**

Заказчику передается:

- акт сдачи-приемки работ;

- научно-технические промежуточные отчеты по этапам и заключительный отчет по завершению работ;
- файлы с результатами расчетов в установленных форматах согласно пункту 5.2.4.

#### **8. Порядок сдачи и приемки результатов работ:**

- Приемка работ осуществляется после выполнения всех обязательств, предусмотренных Договором, в соответствии с установленным порядком, действовавшим на дату подписания Договора.
- Работы считаются принятыми после подписания Сторонами двухстороннего Акта сдачи-приёмки выполненных работ и комплекта отчетной документации.

#### **9. Цена контракта**

Цена контракта – 4 000 000 рублей;

Начальник отдела

И.В. Данилов



Заместитель начальника отдела

А.Ю.Лешуков

