



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

д.ф.-м.н. С.В.Лебедев

« 16 » августа 2017

Стандартные операционные процедуры (СОП), проводимые на УНУ ТУМАН-3М

Стандартные операционные процедуры при работе на УНУ ТУМАН-3М ФТИ им. А.Ф.Иоффе отличаются от подобных процедур для других токамаков в силу конструктивных особенностей, обеспечивающих уникальные характеристики УНУ ТУМАН-3М, состоящие в возможности получения чистой водородной или дейтериевой плазмы с параметрами: ток плазмы до 180кА, магнитное поле до 1Тл, плотность плазмы до $5 \times 10^{19} \text{ м}^{-3}$, электронная температура до 600эВ. Для реализации указанных возможностей предусмотрены несколько вариантов формирования плазмы с применением разных методов нагрева (омического или с помощью инжекции нейтрального пучка высокой энергии), и в разных режимах удержания (L- или H-мода). Кроме того, различные сценарии эксперимента могут потребовать конфигурирования диагностического комплекса УНУ ТУМАН-3М с учетом особенностей конкретного эксперимента.

Стандартные операционные процедуры на УНУ ТУМАН-3М можно разделить на 5 типов:

1. СОП при вскрытии вакуумной камеры УНУ ТУМАН-3М для установки/снятия/ремонта элементов оборудования УНУ, имеющих сообщаемый с УНУ вакуумный объем.
2. СОП при подготовке УНУ к работе после вскрытия или длительного простоя
3. СОП по подготовку к работе инжектора нейтральных атомом системы инжекционного нагрева
4. СОП по конфигурированию диагностического комплекса УНУ

5. СОП по получению плазмы с необходимыми параметрами,

Ниже приведены краткие описания вышеперечисленных СОП

1. СОП при вскрытии вакуумной камеры УНУ ТУМАН-3М для установки/снятия/ремонта элементов оборудования УНУ, имеющих сообщающийся с УНУ вакуумный объем.
 - 1.1. Остановка высоковакуумной откачки и закрытие шиберов на вакуумных насосах.
 - 1.2. Отключение электропитания от всех электромагнитных систем УНУ.
 - 1.3. Напуск в камеру УНУ азота (предпочтительно) или атмосферного воздуха до атмосферного давления
 - 1.4. Отсоединение от камеры УНУ элементов, требующих ремонта или замены
 - 1.5. Установка нового или отремонтированного оборудования или закрытие вакуумной камеры соответствующими заглушками
 - 1.6. Вакуумная откачка объема камеры низковакуумным насосом (форвакуумная откачка). По достижении вакуума порядка 10^{-3} тор подключение высоковакуумных насосов и откачка до высокого вакуума порядка 10^{-6} тор.
 - 1.7. Проверка герметичности вакуумной камеры с помощью гелиевого течеискателя.
 - 1.8. Оценка состава остаточных газов с помощью масс-спектрометрического анализа.
2. СОП при подготовке УНУ к работе после вскрытия или длительного простоя
 - 2.1. Вакуумная откачка объема камеры низковакуумным насосом (форвакуумная откачка). По достижении вакуума порядка 10^{-3} тор подключение высоковакуумных насосов и откачка до высокого вакуума порядка 10^{-6} тор
 - 2.2. Прогрев вакуумной камеры с помощью электрических нагревателей и посредством вихревых токов по вакуумной камере.
 - 2.3. Чистка вакуумной камеры тейлоровским разрядом в магнитном поле в среде рабочего газа (дейтерий/водород)

- 2.4. Охлаждение вакуумной камеры до комнатной температуры
 - 2.5. Оценка глубины полученного вакуума и состава остаточных газов с помощью масс-спектрометрического анализа.
3. СОП по подготовку к работе инжектора нейтральных атомов системы инжекционного нагрева
 - 3.1. Откачка ионной пушки и перезарядной камеры до рабочего давления ($< 1 \times 10^{-6}$ тор)
 - 3.2. Очистка ионной пушки от остаточных газов тренировочными разрядами с постепенным повышением ускоряющего напряжения до номинального значения (20 кВ)
 - 3.3. Заказ и получение жидкого азота, заполнение жидки азотом криопанелей, запуск криогенного насоса
 - 3.4. Открытие шибера на вакуумную камеру токамака и очистка переходного патрубка тренировочными разрядами
4. СОП по конфигурированию диагностического комплекса УНУ
 - 4.1. Обсуждение плана эксперимента, определение перечня требуемых диагностических средств
 - 4.2. Контроль функционирования подключенных диагностических систем, их настройка, коммутация и подготовка к эксперименту
 - 4.3. Проверка функционирования всего комплекса необходимых для эксперимента диагностик при совместной работе с токамаком. Корректировка настроек элементов диагностического комплекса (количество каналов, диапазоны чувствительности, частота дискретизации АЦП, момент запуска АЦП и т.п.) в соответствии с потребностями пользователей и планом эксперимента.
5. СОП по получению плазмы с необходимыми параметрами,
 - 5.1. Предварительно проводятся СОП 1 или 2, по необходимости, и СОП 3 и 4

- 5.2. Включение и контроль функционирования силовой энергетики и систем управления и измерения основных параметров разряда
- 5.3. В зависимости от цели эксперимента, подбир величины тороидального магнитного поля и тока по плазме, с учетом получения нецелочисленного значения запаса устойчивости на границе шнура для улучшение его МГД-устойчивости; последняя контролируется по уровню МГД-активности, измеряемой с помощью магнитных зондов.
- 5.4. Подбор сценария напуска рабочего газа в соответствии с требуемой в эксперименте эволюцией концентрации плазмы.

Длительность перечисленных процедур при работе в одну смену (8 часов) составляет:

СОП 1 3-4 смены (24-32 часа) в зависимости от количества и сложности демонтируемой или устанавливаемой аппаратуры.

СОП 2 3-4 смены (24-32 часа) в зависимости от температуры и влажности окружающей среды.

СОП 3 4-7 смен (32-56 часа) в зависимости от степени загрязнения электродов пушки и стенок патрубка

ОСП 4 1-3 смены (8-24 часа) в зависимости от степени готовности аппаратуры

СОП 5 1-3 смены (8-24 часа) в зависимости от состояния требуемых параметров разряда

Зам. руководителя
УНУ ТУМАН-3М
д.ф.-м.н., с.н.с.



/Аскинази Л.Г./