

16.2022.15
НИИЭФА-Р-В-- 0830.

НИИЭФА П-Б-0830

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ им. Д.В.ЕФРЕМОВА**

**А.М.Астапкович, Л.А.Громов, В.М.Комаров,
В.Г.Красноперов, В.Н.Одинцов, Н.Г.Рослякова,
С.Н.Садаков, Г.Л.Саксаганский, В.М.Сафин,
Д.В.Серебренников, В.Г.Шимов**

**ПРОБОЧНЫЙ СОЛЕНОИД И ОБСЛУЖИВАНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ
ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ**

П р е п р и н т

**МОСКВА
ЦНИИАТОМИНФОРМ
1989**

Астапкович А.М., Громов Л.А., Комаров В.М., Красноперов В.Г.,
Олинцов В.Н., Рослякова Н.Г., Садаков С.Н., Саксаганский Г.Л.,
Сафин В.И., Серебrenников Д.В., Шимов В.Г. Пробочный соленоид
и обслуживание экспериментальной зоны плазменного источника
нейтронов: Препринт Б-0830. -М.: ЦНИИАтоминформ, 1989, 20 с.,
с ил., цена 15 коп.

В работе рассматриваются проблемы, связанные с созданием
плазменного источника 14-МЭВных нейтронов. В качестве узло-
вой выделена проблема существенного увеличения ресурса ряда
основных узлов установки. Подробно рассматриваются вопросы,
связанные с увеличением ресурса пробочного соленоида и конст-
руктивного исполнения экспериментальной зоны такого источника.

Оглавление

Введение.....	1
1. Узловые проблемы.....	2
2. Соленоид-пробка.....	4
3. Экспериментальная зона.....	15
Заключение.....	18
Список литературы.....	19

Введение

В настоящее время появился интерес к ^{14}N -ионным нейтронным источникам на основе открытых ловушек. Эти источники предполагается использовать для технологических и материаловедческих исследований в области УТС [1-3].

Настоящая работа была выполнена в рамках предварительной инженерной оценки возможности создания такого источника на основе газодинамической ловушки [4] и была направлена на выявление критических с инженерной точки зрения проблем.

Газодинамическая ловушка представляет собой пробкотрон длиной, превышающей длину свободного пробега заряженных частиц и большой плотностью запробочной плазмы [3]. Общий вид источника показан на рис. 1.

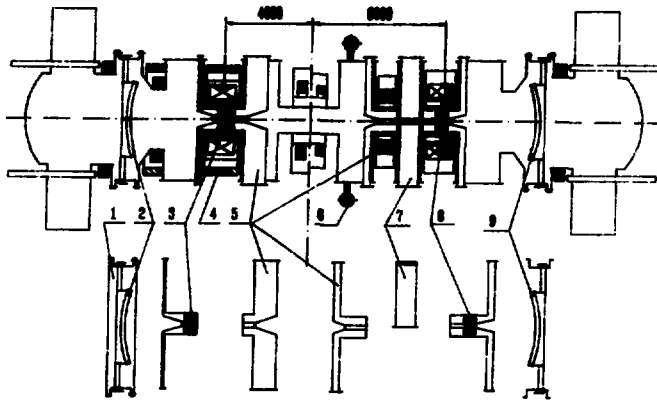


Рис. 1 Установка ИН-1:

- | | |
|---|--|
| 1 - монтажно-транспортный робот; | 2-9 - поглотитель нейтральных атомов; |
| 3-8 - резистивный соленоид; | 4 - ферромагнитный экран; |
| 5 - экспериментальный блок постоянной выдержки; | 6 - инжектор макрочастиц; |
| | 7 - экспериментальный блок маневренного доступа. |

Для анализа принимались следующие параметры установки:

полный нейтронный поток, с ⁻¹	10 ¹⁶
максимальная плотность нейтронного потока, 1/(см с) ²	1.3 · 10 ¹⁴
размер экспериментальной зоны	
вдоль оси, м	1.0
внутренний радиус, м	0.055
наружный радиус, м	0.4
поле в пробках, Тл	25-27
количество инжекторов нейтральных атомов на энергию 70-80 кэВ.	4.

Основной подход заключался в оценке реальности создания такой установки с точки зрения сегодняшнего уровня развития технологии.

1. Узловые проблемы

В результате проделанного анализа в качестве основной была выделена проблема обеспечения ресурса ряда основных узлов установки.

Уровень развития технологии на сегодняшний день обеспечивает ресурс непрерывной работы для:

ионно-оптической системы инжекторов, ч	150-200
катодного узла инжекторов, ч	50-100
внутренних катушек пробочной системы, ч	150-200

Отсутствуют данные по системе пелет-инъекции, материалам первой стенки, приемникам незажваченных нейтралей и неперезарядившихся атомов в инжекторах.

Это связано в первую очередь с тем обстоятельством, что в рамках исследований по УТС до настоящего времени проблема обеспечения ресурса не стояла, и основные усилия были направлены на достижение

высоких удельных параметров. В связи с интенсивной работой по конструированию реактора-токамаков проблема обеспечения ресурса системы инжекции нейтралей, системы пеллет-инжекции будет решаться в рамках этих проектов. Можно выделить два направления по которым пойдет развитие:

- увеличение ресурса отдельных узлов за счет применения новых конструкторских и технологических решений,
- применение робототехнических комплексов для замены узлов.

Появление практического опыта обслуживания термоядерных установок с помощью роботов следует ожидать в 1992-1995 гг. при переходе в режим тритиевого эксперимента установок TFTR, JET, ТСП.

Решение проблемы обеспечения непрерывной работы инжекторных систем нейтронного источника облегчается их модульностью, что позволяет организовать их обслуживание без полной остановки источника.

Таким образом, для плазменных источников нейтронов на базе открытых ловушек с инженерной точки зрения главной является решение задач обеспечения ресурса соленоида-пробки и обслуживания первой стенки.

Дальнейшее рассмотрение существенно опирается на ряд особенностей источника нейтронов на основе газодинамической ловушки, которые определяют выбор конструктивных решений узла пробочного соленоида и первой стенки экспериментальной зоны:

- малый внутренний диаметр пробочного соленоида, $\phi = 0.06 \pm 0.08$ м,
- низкий уровень радиального нейтронного потока с оси соленоида, плотность потока нейтронов 10^{13} нейтронов/см²·с, $r = 0.05$ м и возможность организации защиты торца внутренних катушек соленоида-пробки от потока нейтронов,
- наличие зон локального усиления нейтронного потока.

2. Соленоид-пробка

2.1 Обзор действующих систем

Рекордной действующей стационарной магнитной системой в СССР в настоящее время является комбинированная магнитная система КС-250 [5].

Система КС-250 состоит из внешней сверхпроводящей катушки, внутри которой помещен двухсекционный водоохлаждаемый соленоид. Каждая секция выполнена по схеме моногеликс. Схематический разрез этой системы показан на рис. 2.

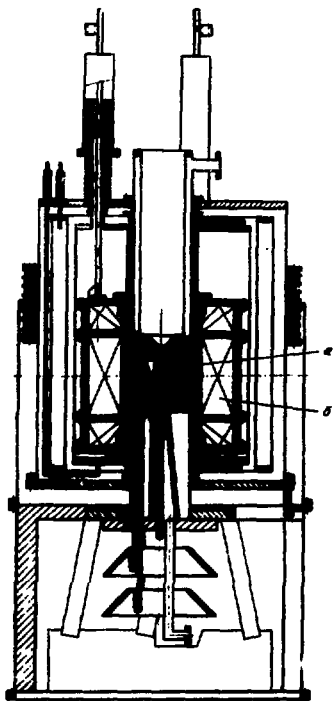


Рис. 2. Соленоид КС-250

Конструкция внутренней водоохлаждаемой части системы показана на рис. 3.

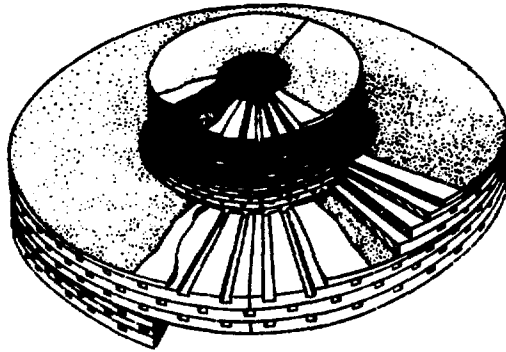


Рис. 3. Внутренний соленоид магнитной системы КС-250

Схема охлаждения - радиальная, глубина канала охлаждения 0.2 мм.
Ресурс работы внутреннего соленоида в условиях проведения магнитных экспериментов составляет 150-200 часов.

Параметры системы приведены ниже:

поле в центре, Тл	25
диаметр экспериментальной зоны, м	0.03
вклад "теплой" части, Тл	18.6
потребляемая мощность, Мвт	6.4

Параметры водоохлаждаемой части:

	1 секция	2 секция
вклад в поле, Тл	12.5	5.5.
рабочий ток, кА	25	25
диаметры дисков		
внутренний, см	4.8	16.4
наружный, см	15.6	27.5
удельные тепловыделения, ³ Вт/см	5400	460
плотность теплового потока стенка-вода, ² МВт/м	4	0.75
расход воды, м ³ /ч	110	165
максимальные механические напряжения, Мпа	350	160

Известна также магнитная система с внутренней частью, выполненной по схеме моногеликса на уровень 27 Тл с $\phi=0.053$ м, [6].

Средние круговые напряжения в катушке 370 Мпа, тепловые потоки до 7.2 ² МВт/м, глубина каналов охлаждения - 0.25мм. Отличительной особенностью этого моногеликса является профилирование плотности тока по оси за счет изменения толщины витков. Сообщается, что достигнут ресурс 200 часов работы в магнитных экспериментах.

Развитие техники получения сильных стационарных полей в области $\phi=0.03\pm 0.05$ м развивается в соответствии со следующими принципами:

- применение многокатушечных систем (полигеликс) во внутренней части магнитной системы;
- оптимизация распределения тока по радиусу и по высоте;
- оптимизация распределения мощности между внутренней и внешней частью.

Эти принципы реализованы в "теплой" магнитной системе на 25 Тл с $d=0.05$ м при уровне потребляемой мощности 10 МВт, действующей в Гренобльской лаборатории [7]. Максимальные круговые напряжения составляют 270 Мпа, скорость прокачки теплоносителя до 20 м/сек, максимальные тепловые потоки 5.5 МВт. Интересной особенностью системы является применение переменной шероховатости каналов охлаждения для обеспечения требуемых теплогидравлических характеристик и очень малая толщина стины внутренних катушек - 2 мм.

Анализ этих и других известных магнитных систем показывает, что основным критерием при выборе конструктивных решений являлся минимальный уровень потребляемой мощности. Простота обслуживания таких систем и относительно низкая стоимость внутренних катушек позволяет производить их достаточно частую замену и проблема ресурса таких систем до сих пор не вставала.

3.2 Анализ причин выхода из строя

В силу причин, изложенных выше, в настоящее время ни в одной магнитной лаборатории не проводилось систематического анализа причин выхода из строя водоохлаждаемых катушек. Поэтому имеющиеся данные имеют отрывочный характер.

В работе [8] указаны две возможные причины выхода из строя водоохлаждаемых катушек.

Во-первых, ухудшение условий охлаждения катушки из-за постепенного накопления оксида меди на витках. Было отмечено, что в магните HUDSON во внутренней катушке через 175 часов работы расход воды упал на 18%. После разборки системы, она была очищена химическим образом (растворами H_2SO_4 , H_2CrO_4) и установлена в другую секцию, где было возможно включение с другой по-

лярностью. Это позволило эксплуатировать эту катушку еще **316** часов;

- Во-вторых, появление межвитковых замыканий из-за проникновения воды в скатую изоляцию. Сопротивление катушки после некоторого времени работы упало на 40%. После просушки в вакууме при температуре 100°С сопротивление катушки достигло 92% своего первоначального значения. Отмечается, что аналогичные эффекты обнаруживались и в других лабораториях, которые используют эпоксидную смолу для изоляции катушек.

Из других известных эффектов, приводящих к выходу соленоидов из строя, следует отметить рост "бород" из CuO .

Однако следует также указать, что условия работы лабораторных соленоидов характеризуются наличием циклических нагрузок, что в сочетании с большим уровнем механических напряжений, вибрации, связанной с большими скоростями движения теплоносителя, электролитической коррозии может являться причиной быстрого выхода соленоидов из строя из-за малоциклового усталости материала.

2.3 Описание конструкции соленоида-пробки

Следует отметить, что условия работы соленоидов в магнитных экспериментах существенно отличаются от режима работы в нейтронном источнике прежде всего за счет отсутствия циклических нагрузок.

Поэтому есть основания полагать, что ресурс при проведении дополнительных исследований может быть доведен до приемлемого уровня.

Снижение уровня максимальных круговых напряжений, по-видимому, является одним из путей увеличения ресурса соленоида. Был рассмотрен вариант уменьшения уровня механических напряжений за счет снижения максимальной плотности тока. Целью являлось опре-

деление влияния этого фактора на уровень потребляемой мощности. Расчеты проводились с помощью методов нелинейного программирования. Рассматривался "теплый" соленоид. Расчетная модель соленоида была одинаковой для всех исследованных вариантов. Фиксировались следующие параметры :

поле в центре, Тл	25
внутренний диаметр, м	0.05
количество секций	9
коэффициент заполнения	0.6
удельное сопротивление материала, Ом·м	2·10 ⁻⁸

Варьируемыми параметрами для каждой секции являлись плотность тока, высота секции. Оптимизируемым параметром являлся уровень потребляемой мощности.

В табл. 1 приведен уровень потребляемой мощности как функция уровня максимальных круговых напряжений.

Таблица 1.

b_0 , Мпа	Потребляемая мощность						
	250	275	300	325	350	375	400
P, МВт	16.4	14.4	13.6	12.7	11.9	11.2	10.8

Из этих данных видно, что на этом уровне полей не происходит критического увеличения уровня потребляемой мощности при снижении допустимых максимальных нагрузок.

При рассмотрении возможности создания нейтронного источника на основе газодинамической ловушки была проведена предварительная оценка параметров соленоида-пробки, которые приведены ниже:

Параметры соленоида-пробки

поле на оси, Тл	27
поле внешней магнитной системы, Тл	10
внутренний диаметр по стенке вакуумной камеры, м	0.044
потребляемая мощность, кВт	12

Параметр	Значение					
	1	2	3	4	5	6
Номер секции						
Внутренний						
радиус, м	0.04	0.1	0.16	0.22	0.28	0.34
Внешний						
радиус, м	0.1	0.16	0.22	0.28	0.34	0.4
Осевой						
размер, м	0.3	0.3	0.34	0.5	0.5	0.5
Коэффициент						
заполнения	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Плотность						
тока, (А/м) ² / 10 ⁸	1.69	1.18	0.812	0.49	0.2	0.27
Рассеиваемая						
мощность, кВт	3.4	2.92	2.7	1.7	0.35	0.7
Тангенциальные						
напряжения, Мпа	250	250	189	123	55.6	83.9

Предполагается, что конструкция установки должна обеспечивать плановую замену "теплой" части соленоида. Кроме этого, в силу особенностей магнитной системы и геометрии установки в области экспериментальной зоны целесообразно организовать вывод токоподводящих шин и подвод теплоносителя с одного торца соленоида.

II

В силу этого целесообразно деление каждой секции на две включенных последовательно катушки и применение более точного профилирования тока за счет изменения толщины витков. Такая схема также позволит уменьшить влияние токопроводящих шин на топологию магнитного поля в расширителе установки. Схема соленоида приведена на рис. 4.

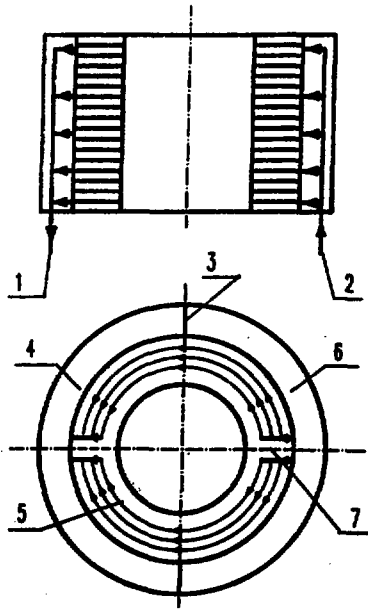


Рис. 4 Схема охлаждения одной из секций "теплого" соленоида:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1-выход теплоносителя; | 5-каналы охлаждения; |
| 2-вход теплоносителя; | 6-коллектор входной; |
| 3-перегородка; | 7-шов соединительный. |
| 4-коллектор выходной; | |

Существующие схемы охлаждения соленоидов условно можно классифицировать по направлению движения теплоносителя:

а) осевая, б) радиальная, в) круговая.

Известные конструкции соленоидов на большие поля используют либо осевую, либо радиальную схему движения теплоносителя.

В соленоиде нейтронного источника целесообразно использовать аксиально-круговую схему охлаждения, рис. 5.

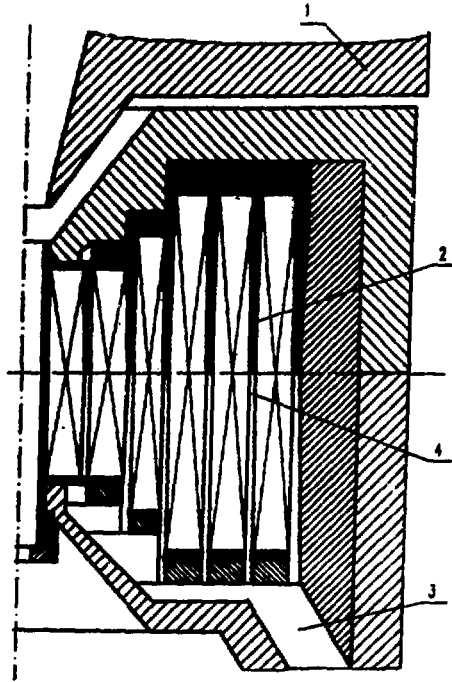


Рис. 5. Конструктивная схема теплого соленоида (разрез):

1-железобетонная защита; 3-вход теплоносителя;
2-перегородка; 4-коллектор входной.

Подача и отвод теплоносителя в этой схеме осуществляется по кольцевым коллекторам, расположенным на внешнем радиусе катушки.

Каналы охлаждения представляют собой дуги окружностей. При использовании сварного варианта соединения витков соленоида каналы могут быть выполнены с помощью штамповки.

Такая схема позволяет иметь короткий канал охлаждения, что позволит иметь высокое значение теплового потока и организовать одностороннюю схему подвода теплоносителя.

Схема замены соленоида изображена на рис. 1. Все коммуникации соленоида выводятся в горизонтальном направлении через вакуумное пространство расширителя в специальный патрубок, размеры которого позволяют перемещать через него весь соленоид в сборе с его коммуникациями.

2.4 Диэлектрическое покрытие

Одним из способов увеличения ресурса работы водоохлаждаемого соленоида для плазменного источника нейтронов является нанесение на проводник защитного покрытия из диэлектрика, выполняющего также функции электрической изоляции.

Предпочтительно применение покрытия на основе полиимидной пленки, обладающей хорошими радиационными и механическими свойствами.

Применение покрытия из полиимидной пленки, имеющей коэффициент теплопроводности $0.15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ при 25°C , приведет к ухудшению теплоотдачи от проводника к воде, так как пленка окислов на бронзе имеет коэффициент теплопроводности $2.0 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ при 20°C [9].

Для увеличения коэффициента теплопроводности диэлектрического покрытия целесообразно применение наполнителя из окиси бериллия в виде керамики из спектрально-чистого оксида, имеющего коэффициент теплопроводности $220 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ при 100°C , среднюю удельную теплоемкость $1250 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ при 100°C и электрическую прочность не менее 13 МВ/м [10].

Параметры диэлектрического покрытия (с тонкого)

Межвитковое напряжение, В	4
Толщина покрытия, мм	0.3
Количество слоев	3
Количество слоев из окси бериллия в оболочке	2
Средний размер частиц окси бериллия, мкм	0.06
Толщина оболочки из полиимидной пленки, мкм	0.03
Толщина слоя окиси бериллия, мкм	0.12

• Слой окиси бериллия без оболочки из полиимидной пленки наносится снаружи покрытия и служит для защиты полиимидной пленки от воздействия воды и улучшения теплоотдачи. Для получения окиси бериллия со средним размером частиц 0.06 мкм можно использовать метод испарения материала в струе низкотемпературной плазмы [11].

Из полиимидных материалов лучшую адгезию к другим веществам имеет полиимид на основе диангирида дифениллоксидтетракарбоновой кислоты - полиимид ДФО [12].

Предполагаемая технология нанесения такого покрытия: в вакуумную камеру с установленными в ней в растянутом состоянии соленоидом напускаются частицы окиси бериллия в оболочке из полиимида ДФО в виде аэрозоля [13], после откачки невыведшихся остатков аэрозоля соленоид обдувается порошком окиси бериллия со средним размером частиц 0.06 мкм с последующим удалением их излишков, затем производится нагревание и выдержка покрытия при 570°K [12].

Радиационная стойкость полученного покрытия предположительно обеспечивает работу до флюенса $3 \cdot 10^{16}$ нейтр./м, гидролитические свойства полиимида обеспечивают сохранение механической прочности при кипячении в дистиллированной воде в течении года [12].

Кроме этого для такого покрытия возможны технологические процессы восстановления свойств покрытия без отключения установки за счет отжига.

Несмотря на перспективность такого подхода необходимо провести изучение электрических свойств таких покрытий при больших флансках, длительных механических и тепловых нагрузках большой интенсивности и отработать технологию нанесения покрытий.

3. Экспериментальная зона

3.1 Обслуживание экспериментальной зоны

Устройство экспериментальной зоны изображено на рис. 6.

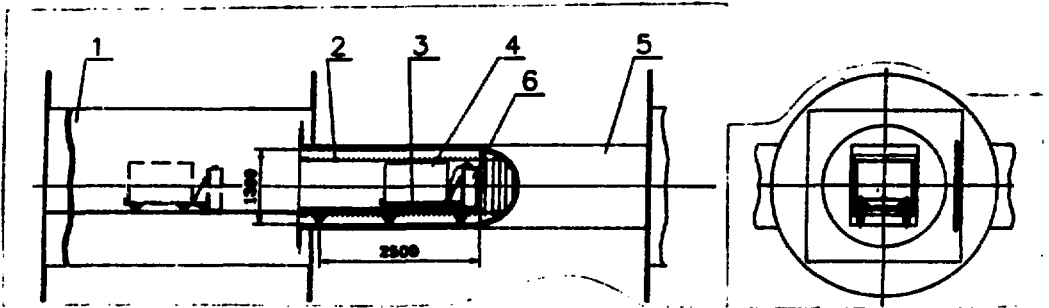


Рис. 6 Устройство экспериментальной зоны:

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1-транспортный отсек; | 2-лайнер; |
| 3-тележка; | 4-блок защиты; |
| 5-бокс; | 6-контейнер. |

Зона включает в себя сменные элементы вакуумной камеры, выполненные в виде двух горизонтально расположенных лайнеров, прямоугольного сечения с фланцами на торце.

Исследуемые образцы помещаются в два контейнера, которые изолированы от вакуумного объема первой стенкой лайнера. Такое устрой-

во экспериментальной зоне обеспечивает возможность извлечения части образцов без разгерметизации разрядной камеры и даже без остановки источника, что позволяет существенно улучшить условия проведения материаловедческих испытаний.

Принципиально важно для такого источника обеспечить возможность замены элементов первой стенки экспериментальной зоны.

Эта возможность реализуется за счет герметизации вакуумного объема монтажным швом, соединяющим фланцы лайнера и основной камеры установки.

Замена лайнера в принятой схеме включает в себя следующие операции :

- остановку источника,
- извлечение контейнера;
- срезку пал,
- извлечение старого лайнера;
- установку нового лайнера.

Схема иллюстрируется рис. 7.

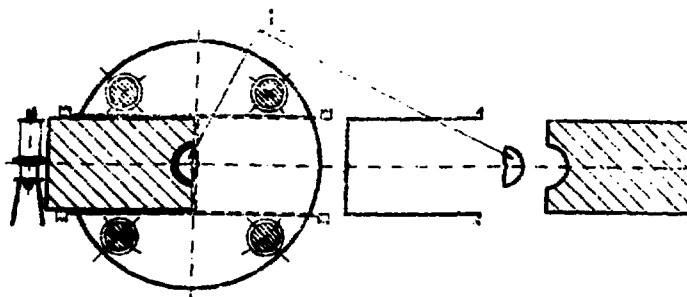


Рис. 7 Схема разборки:

1-экспериментальная зона 1.

3.1. Конструкция экспериментальной зоны

В условиях стационарной работы источника при наличии теплового излучения плазмы и нейтронного облучения важное значение имеет прочность торцевой стенки лайнера, которая должна удовлетворять ряду противоречивых требований. Например, конструкция стенки должна быть достаточно прочной, чтобы выдержать атмосферное давление, но должна также обладать достаточной нейтронной прозрачностью. Для отвода тепла в процессе работы установки следует предусмотреть систему охлаждения, в которой каналы охлаждения расположены в самой стенке. Кроме этого следует предусмотреть возможность контроля за утечкой трития из камеры.

Указанные проблемы конструктивно могут быть решены за счет двойных стенок лайнера, при этом общая жесткость стенок позволяет обеспечить достаточную прочность конструкции, а просвет между слоями использовать в качестве объема для прокачки теплоносителя и одновременно для отвода и улавливания трития.

Наиболее удобным теплоносителем, обеспечивающим охлаждение и последующее выделение трития является газообразный гелий. Параметры системы охлаждения приведены ниже:

плотность нейтронного тепловыделения, $\text{Вт}/\text{см} \cdot \text{с}^3$	25
тепловой поток со стороны плазмы, $\text{Вт}/\text{см} \cdot \text{с}^2$	30
радиус внутренней стенки лайнера, м	0.055
давление гелия в каналах, Мпа	1.0-1.2
скорость прокачки, м/с	100
температура стенки, °С	200/50

Жесткость стенок лайнера обеспечивается оребрением.

Предполагается, что основная вакуумная камера простит весь срок службы установки. Одной из главных проблем является расширение материала стенки.

Заключение

Проблема ресурса является одной из главных инженерных проблем при обеспечении стационарного режима работы нейтронного источника на основе плазменных систем. Узлы пробочного соленоида и экспериментальной зоны являются элементами, специфичными для таких источников на базе открытых ловушек и их ресурсные характеристики во многом определяют характеристики источника. Актуальной задачей являются работы по увеличению ресурса этих узлов.

Для дальнейшего развития работ в этом направлении желательно :

- разработать программу материаловедческих испытаний, что позволит более осмысленно подойти к планированию НИОКР по увеличению ресурса узлов оборудования нейтронного источника;
- наладить сбор информации с действующих магнитных систем по условиям работы и причинам выхода из строя внутренних катушек;
- разработать и реализовать программу НИОКР по увеличению ресурса соленоидов для получения сильных полей.

Список литературы

- A Tandem mirror technology demonstration facility.
 UCID-19928, October 1983, Lawrence Livermore Laboratory
- TASKA-M. A low cost near term mirror device for
 fusion technology testing .
 Kfk 3680 FPA83-7 UWFDM-600, Apr. 1984
1. Мирнов В.В., Рютов Д.Д. Газодинамическая ловушка//Вопросы
 атомной науки и техники. Сер. "Термоядерный синтез",
 1980. Вып. 1 (15), С. 57-66.
 2. Мирнов В.В., Нагорный В.П., Рютов Д.Д. Газодинамическая ловушка
 с двухкомпонентной плазмой. -Новосибирск 1984. -31с.
 (Препринт/ИЯФ СО АН СССР 84-40)
 5. Черемных П.А., Чураков Г.Ф., Рождественский Б.В.,
 Самойлов Б.Н., Черноплеков Н.А. Комбинированная магнитная сис-
 тема КС-250 с индукцией 25 Тл//ПТЭ. 1976, №5, с.18-22
 6. Weggel R.J. Monohelix research at the MIT magnet lab,
 IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, March 1989, Vol.24, No. 2.
 7. Levpold M.J. Recent progress in high fields systems/
 Journal de physicien. 1984, T.45, PP.536-540.
 (8th International Conference on Magnet Technology,
 September, 5-9, 1983. Grenoble.)
 8. Jones H, Whitworth H.M., Sheratti G.
 The magnet of Oxford hybrid magnet to 20 tesla,
 IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, March, 1988. Vol.24.No.2,
 PP.1074-1077.

9. Физико-Химические свойства окислов. Справочник. -М.:
Металлургия. 1969.
10. Справочник по электротехническим материалам. /Под редакцией
Ю. В. Коричного и др. -М.: Энергоатомиздат, 1987, 464 с.
11. Норохов И. Д., Трусов Л. И., Лаповок В. Н. Физические явления в
ультрадисперсных средах. -М.: Энергоатомиздат, 1984, 224 с.
12. Полиимиды - класс термостойких полимеров/ Бессонов Н. И.,
Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лаус Л. А. -Л.: Наука. 1983, 328 с.
13. Недвигов Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей.
-М.: Наука, 1981.

Александр Михайлович Астапкович
 Леонид Александрович Громов
 Виктор Михайлович Комаров
 Владимир Геннадьевич Красноперов
 Вячеслав Николаевич Одищев
 Нина Григорьевна Рослякова
 Сергей Николаевич Садаков
 Георгий Леонидович Саксаганский
 Валерий Мансурович Сафин
 Донат Владимирович Серебрянников
 Вадим Геннадиевич Шимов

Редактор К. А. Ружьева

 Подписано в печать 28.09.89 г. Т-15881. Формат 60х90/16.
 Офсетная печать. Уч-изд. л. 1. Тираж 170 экз.
 Заказ №9/265. Индекс 3624. Цена 15к.

Отпечатано в НИИЭФА