

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра Физики Плазмы

Квалификационная работа на соискание степени магистра

ИЗМЕРЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕНОСА НА
УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

Зубаиров Эдуард Рашидович

Научный руководитель
к. ф.-м. н., с. н. с. Поступаев В.В.

Новосибирск – 2003

1. Введение

Ранее, на установке ГОЛ-3-II, без гофрированного поля, время жизни плазмы было мало, что соответствовало ее быстрому разлету вдоль установки и на этих временах не возникало вопроса о поперечных потерях из плазмы. Но после перехода сначала на частичную, а затем на полную гофрировку магнитного поля (конфигурация ГОЛ-3 в последних сериях экспериментов), параметры плазмы были существенно улучшены, как по времени удержания плазмы, так и по ее параметрам. И в данных экспериментах уже нельзя было выбрасывать из рассмотрения этот канал потерь, так как он мог существенно повлиять на энергобаланс плазмы.

Поскольку установка имеет довольно большую длину, и распределение плазмы по длине не однородно, то и перенос энергии поперек магнитного поля может довольно сильно зависеть от продольной координаты. Данная работа состояла в измерении поперечного переноса энергии из плазмы по длине установки.

1.1. Поперечный перенос на установке ГОЛ-3

Установка ГОЛ-3 (гофрированная открытая ловушка) это аксиально-симметричная открытая ловушка с гофрированным магнитным полем, служит для нагрева и удержания плотной ($10^{-14} \div 10^{-17} \text{ см}^{-3}$) горячей (1-3кэВ) плазмы.

Нагрев плазмы происходит за счет сильно неравновесных процессов, взаимодействия электронов пучка с электронами плазмы. Турбулентность, возникающая в плазме, довольно сильно перемешивает верхние холодные слои с более горячими центральными, из-за чего из верхних слоев идет довольно сильное тормозное и рекомбинационное излучение. Причем эти потери сильно зависят от чистоты плазмы. Для тормозного излучения

$$P_{\text{торм}} = 1,6 \cdot 10^{-25} Z^2 e^6 n_e n_i \sqrt{T[\text{эВ}]} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3 \text{сек}}, \quad \text{а для рекомбинационного}$$

$$P_{\text{рек}} \sim 5 \cdot 10^{-24} Z^4 n_e n_i \sqrt{T_e[\text{эВ}]} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3 \text{сек}} [5]. \text{ Так же из плазмы на стенку падает поток}$$

нейтралов перезарядки, но из-за высокой плотности периферийной плазмы этот поток сильно ослаблен.

1.2. Цели работы

Вся работа по измерению поперечного переноса была разбита на 2 этапа.

В первой части работы основной целью работы было, с помощью группы болометров измерить профиль энергии теряющейся на стенке, в зависимости от координаты Z (расстояние от входной магнитной пробки). И оценить суммарные потери на стенку, учитывая данный профиль. Данные измерения позволяют вычислить среднюю энергию поперечных потерь попадающих на стенку интегрально за выстрел и указать режимы, в которых поперечные потери из плазмы наиболее низкие. Зная такую характеристику, можно выбирать параметры, которые позволяли бы улучшать удержание плазмы.

Вторая часть работы направлена на измерение локального энергосодержания в периферийной плазме не занятой электронным пучком в зависимости от расстояния до центра камеры. Эти измерения позволят вычислить диаметр горячей области плазмы. Так же с помощью этой диагностики можно оценить коэффициент диффузии электронов пучка поперек магнитного поля, возникающей из-за взаимодействия пучка с плазмой. Для этого достаточно измерить диаметр горячей области на двух координатах по длине установки. А, измеряя данную характеристику на одной координате, но с разных сторон вакуумной камеры, можно определить симметричность прохождения электронного пучка относительно центральной оси вакуумной камеры.

1.3. Общее устройство установки ГОЛ-3

Установка ГОЛ - 3 (гофрированная открытая ловушка) служит для нагрева и удержания плотной плазмы в аксиально-симметричной магнитной системе. Схема установки изображена на рисунке 1.

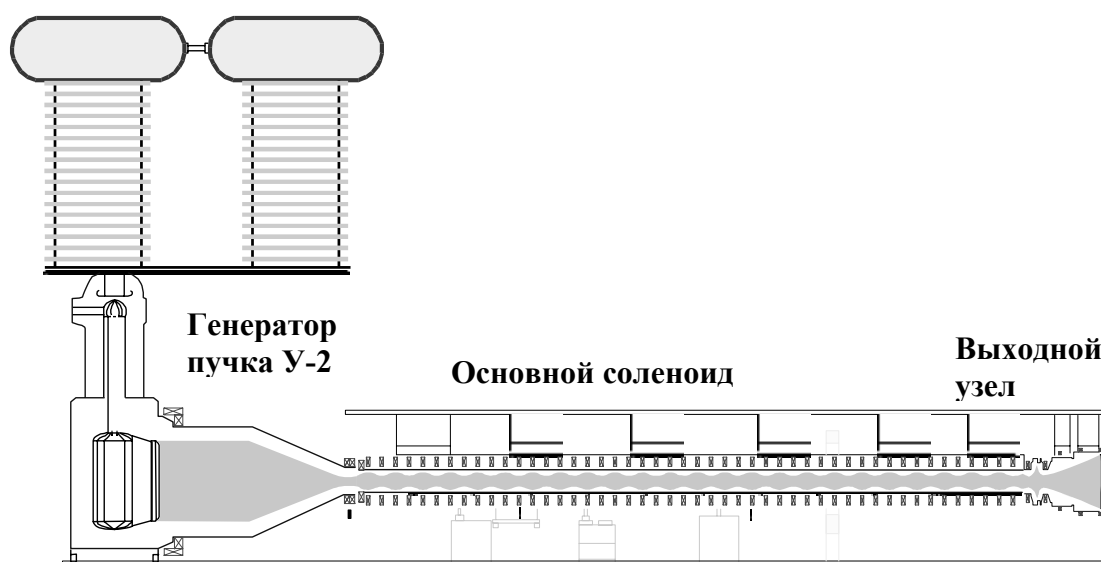


Рисунок 1: Общая схема установки ГОЛ – 3

Основными частями установки являются, генератор электронного пучка У-2, выходной узел с системой создания плазмы с низкой температурой (далее предварительная плазма) и основной соленоид с вакуумной камерой, в котором происходит удержание плазмы.

Основной соленоид состоит 120 катушек создающих магнитное поле 5.2 тесла в максимуме. Для создания гофрированного поля, катушки соленоида были включены через одну, что позволило создать отношение $V_{max}/V_{min} \sim 1.5$ с периодом 22 см. На концах соленоида установлены катушки, создающие магнитное поле 10 тесла. Соленоид питается от батареи конденсаторов общим энергозапасом 15МДж.

Предварительная плазма создается прямым разрядом. Создание предплазмы преследует сразу несколько целей. Во первых, создается плазма которая в потом будет греться, во вторых, она обеспечивает токопроводящий канал для последующей транспортировки электронного пучка, в третьих, по предварительной плазме пропускается компенсирующий ток для подавления токовой неустойчивости Шафранова-Крускала.

Плазмы греться высокоэнергитичным электронным пучком 5-8 микросекундной длительности с током ~ 30 кА. Эффективное взаимодействие релятивистского электронного пучка (до 30% его энергии теряется после прохождения установки) происходит благодаря коллективному взаимодействию электронов плазмы с электронами пучка. В результате нагрева электронов плазмы, энергия в плазме поднимется до 7-8 кДж.

2. Измерение поперечных потерь на стенке камеры

2.1. Устройство диагностики-болометра

Для определения потерь из плазмы попадающих на стенку камеры была собрана диагностика - болометр, которая позволяла измерять полную энергию, попадающую на стенку. Схема болометра изображена на рисунке 2

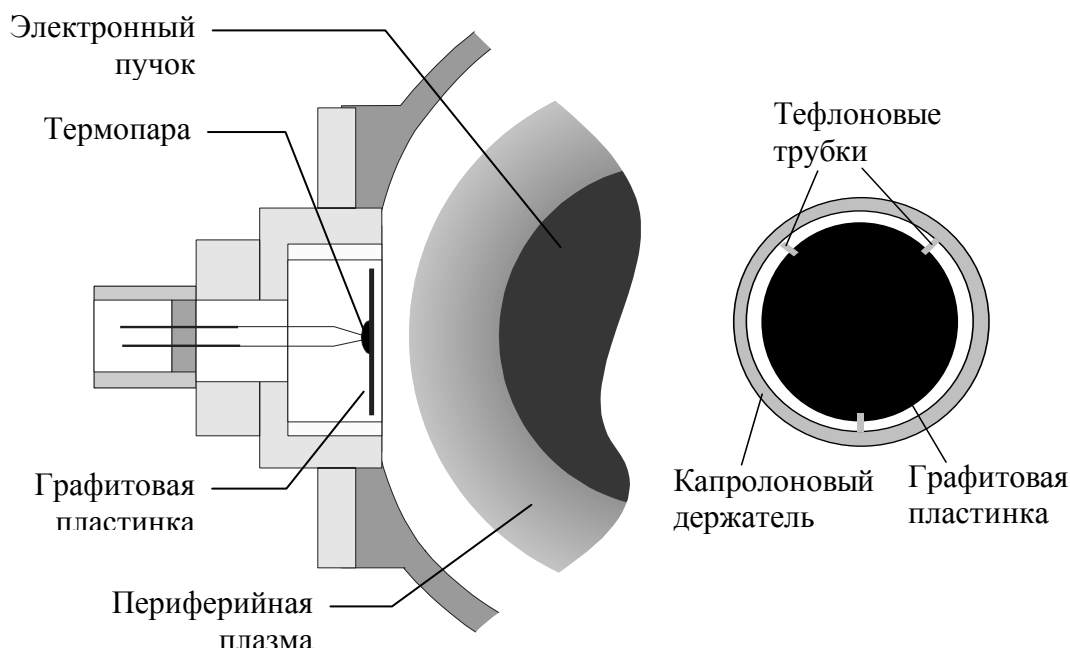


Рисунок 2: а) Схематическое изображение болометра и способ крепления на установке, б) способ крепления графитовой пластинки

Болометр состоит из графитовой пластинки толщиной 100мкм и диаметром 23 мм, к которой плотно приклеена медь-константановая термопара, изготовленная из проводников диаметром 50мкм, с чувствительностью 39мкВ/град. Масса термопары с эпоксидным клеем много меньше массы графита, что позволяет не брать их в расчет при вычислении энергии попавшей по пластинку. И, не смотря на то, что теплопроводность проводов термопары больше чем у графита, благодаря их малому диаметру, из дальнейшего рассмотрения их так же можно исключить. Графитовая пластинка крепилась в 3 точках с помощью тefлоновых трубок диаметром 0,5 мм, так же имеющих малую теплопроводность.

Материал приемника выбирался из соображения максимального соответствия условиям на стенке. Поскольку внутренняя поверхность вакуумной камеры покрыта мелкодисперсным углеродом, напыленным за

долгие годы работы установки, в качестве приемного материала был выбран графит. При этом сама графитовая пластинка располагалась в плоскости стенки камеры, чтобы болометр не вносил искажения в плазму. Для такой системы можно считать, что коэффициенты поглощения болометра и стенки камеры равны, а количество измеренной энергии соответствует средней энергии, ушедшей поперек магнитного поля в данной части установки.

Для измерения продольного распределения энергии поперечных потерь были установлены три датчика, как показано на рисунке 3, на расстояниях 1,5 м, 4,6 м и 9,1 м от входа пучка.

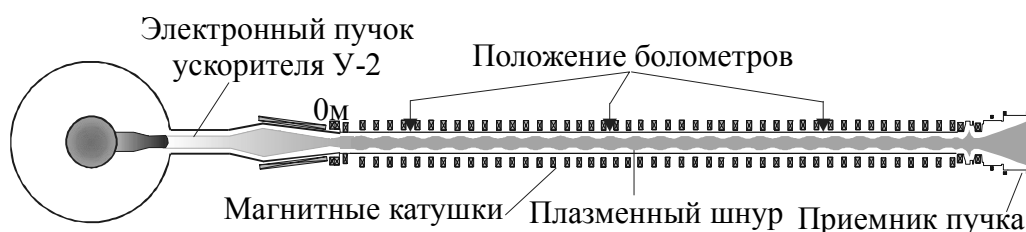


Рисунок 3: Расположение болометров вдоль установки

Полученный сигнал с термопары поступал на АЦП – 20, с чувствительностью 2 мкВ, при полной развертке в 60 сек, после чего оцифровывался и сохранялся в базе данных эксперимента.

Полная чувствительность болометра с измерительной системой составила $0,07^{\circ}\text{C}$, что позволяло определить поглощенную пластинкой энергию с точностью $0,8 \text{ мДж/см}^2$. Такая точность в данных экспериментах является достаточной.

2.2. Полученные результаты

В качестве результатов измерений были получены зависимости напряжения на термопаре от времени. На рисунке 4 изображены характерные сигналы, полученные в одном выстреле, на разных координатах по длине установки, где Volom1, Volom3, Volom4 расположены соответственно на координатах 1,5 м, 4,6 м и 9,1 м. Зная, чувствительность термопары, по этому графику можно восстановить зависимость температуры термопары от времени.

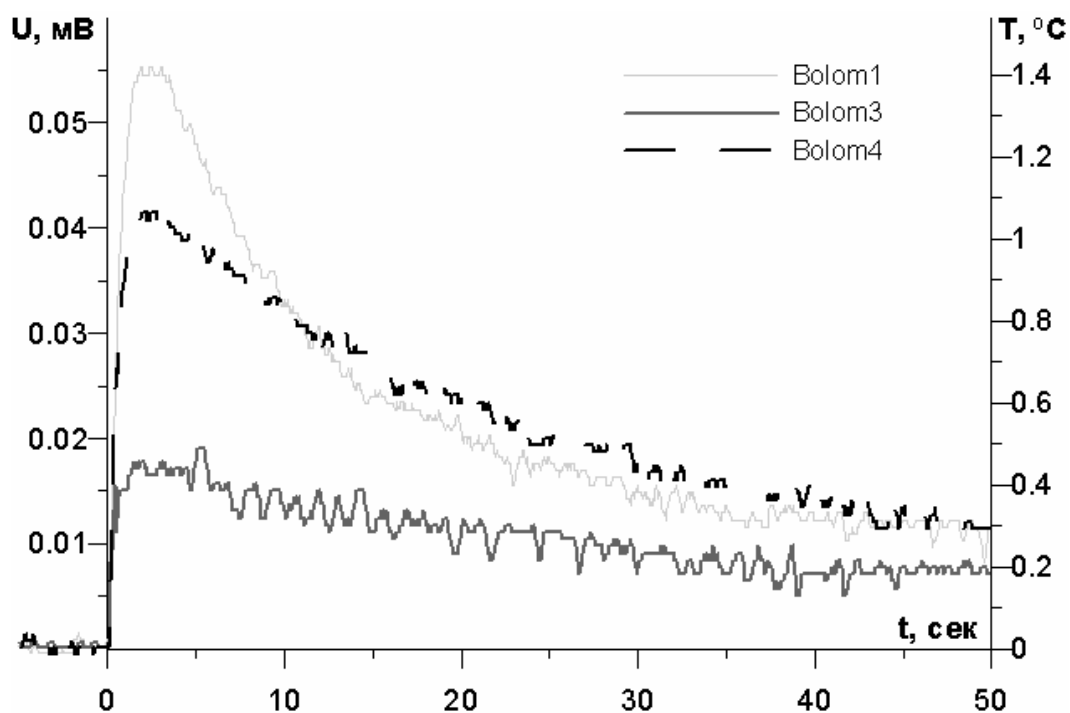


Рисунок 4: Характерный сигнал с болометра

Поскольку за время прогрева графитовой пластинки часть тепла теряется через элементы крепления и через провода от термопары, то для определения максимальной температуры прогрева графитовой пластинки проводилась интерполяция графика к моменту включения пучка. Для обработки сигналов мной была модифицирована стандартная программа по обработке выстрелов[4], которая проводила все необходимые вычисления и вносила полученные данные в таблицу.

В выстрелах только магнитным полем, был обнаружен небольшой нагрев диагностики связанный с нагревом конструкций установки, но время, когда нагрев становится заметным много больше, чем время максимума сигнала. Так, максимум сигнала ~3-5 сек, а нагрев диагностики полем заметен только на 10-15 сек, соответственно можно не учитывать данное явление в последующих расчетах.

Плотность энергии попавшей на пластинку рассчитывалась по формуле:

$$w[\text{Дж} / \text{см}^2] = C[\text{Дж} / (\text{г} \cdot \text{°K})] * m[\text{г}] * T[\text{°K}] / S[\text{см}^2],$$

где соответственно:

C - теплоёмкость графита,

m - масса калориметра,

T - температура прогрева,

S - площадь колориметра.

При вычислениях использовались следующие параметры болометра:

Теплоемкость графита	C, Дж/г·°C	0,71
Площадь пластинки:	S, см ²	4,15
Толщина пластинки:	d, мкм	100
масса пластинки:	m, г	0,07
Чувствительность термопары:	мкВ/град	39

Погрешность результатов определяется точностью теплоемкости графита, которая в разных справочниках отличается в пределах 20%.

На рисунке 5 представлены полученные результаты.

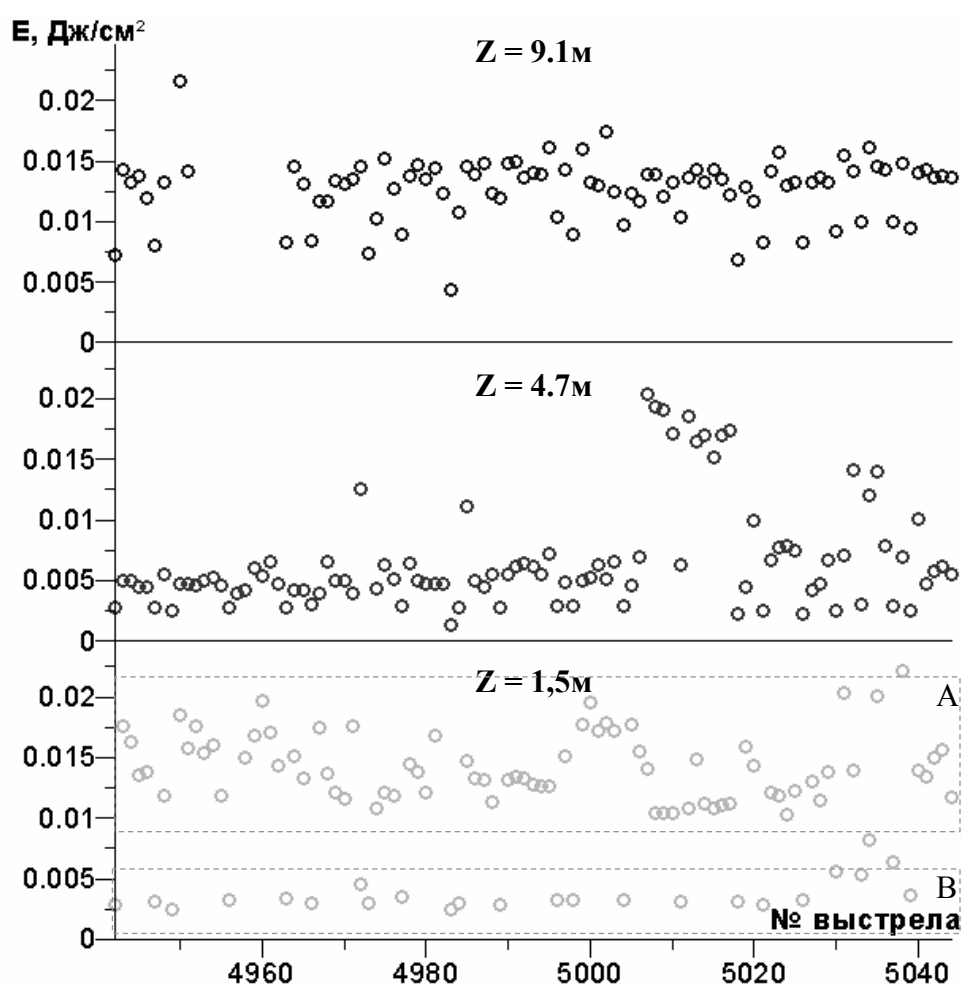


Рисунок 5: Зависимость показаний болометров от номера выстрела.

2.3. Анализ полученных результатов

На приведенных графиках видно, что в центральной части установки поперечные потери много меньше потерь на концах установки. Такое поведение поперечных потерь можно объясняется наличием на концах установки

многозарядной плазмы. На входе источником атомов с большим Z , является распыляемая входная диафрагма, обрезающая РЭП, а на выходе таким источником, скорее всего, является система создания предплазмы, в которой расположен так же приемник электронного пучка.

На графиках можно выделить выстрелы без нагрева РЭП. На болометре с координатой $Z=1,5\text{м}$ выстрелы с предварительной плазмой (А) хорошо отделяются от выстрелов с нагревом (В). Но для болометра на координате $Z=9,1\text{м}$, выстрелы с предварительной плазмой не сильно отличаются от выстрелов с пучком, скорее всего это связано с тем, что потери происходят на тяжелых примесях, которые поступают после срабатывания прямого разряда. Стоит отметить, что в центральной части поперечные потери довольно сильно зависят от начального распределения плотности в установке, так в серии выстрелов 5007-5017 был включен газовый клапан, расположенный недалеко от позиции болометра, на графике видно, что потери возросли в несколько раз.

По полученным графикам можно было определить средние потери из плазмы: в стабильных режимах в средней части установки они составили ~ 5 мДж/см² в режимах с небольшой плотностью, и ~ 15 мДж/см² в выстрелах с плотным облаком в районе диагностики. Для болометров расположенных с краев установки, определяющими, скорее всего, являются потери, зависящие от многозарядной плазмы поступающей с торцов, и не сильно зависят от профиля плотности создаваемого в установке. Среднее значение потерь для этих болометров составляет ~ 15 мДж/см².

Таким образом, суммарная энергия потерь на всю внутреннюю поверхность установки за весь выстрел равна $\sim 0,5$ кДж, что составляет около 10% от полного энергосодержания плазмы.

Из полученных результатов следует, что данным каналом потерь пренебрегать не в коем случае нельзя.

3. Измерение радиального распределения энергии в плазме

3.1. Устройство диагностики - зонд

Болометр позволил измерить потери энергии поперек магнитного поля, попадающие на стенку камеры, но не все потери энергии попадают на стенку. Поскольку движение в сильно замагниченной плазме осуществляется преимущественно вдоль магнитного поля, то большая часть частиц будет теряться на диафрагмах ограничивающих диаметр плазмы, не дойдя до стенки. Эти потери так же можно считать поперечными потерями. Для измерения локального энергосодержания в периферийной плазме от радиуса была сконструирована диагностика – зонд. Его схема изображена на рисунке 6.

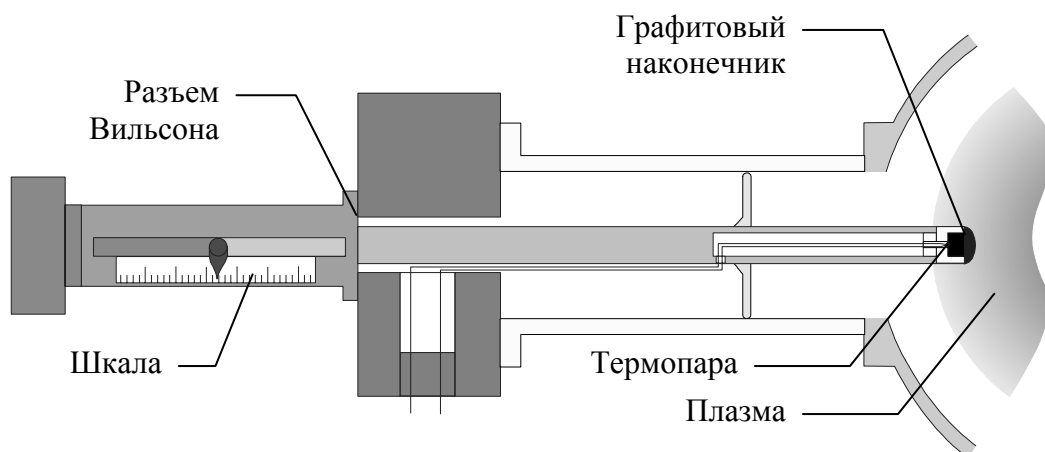


Рисунок 6: Зонд для измерения радиального распределения в плазме.

Зонд состоит из стального стержня, вводимого в вакуумную камеру через разъем Вильсона. Глубина погружения зонда в плазму регулировалась винтом, и контролировалась по миллиметровой шкале. Стержень заканчивается графитовым наконечником, к которому приклеена медь-константановая термопара. Графит изолирован от земли с помощью капролоновой вставки, которая так же препятствует быстрому его охлаждению, так как теплопроводность капролона много меньше теплопроводности графита. Термопара приклеена к графиту на непроводящий эпоксидный клей, масса клея много меньше массы наконечника и в дальнейших расчетах она не учитывается. Полученный с термопары сигнал через электрический вывод и коаксиальные провода передается на АЦП, и затем обрабатывался.

3.2. Полученные результаты

Так же как и в болометре, измеряя термопарой температуру графита и, зная его параметры, можно вычислить полную, поглощенную за импульс, энергию из плазмы. Характерный сигнал с диагностики изображен на рисунке 7. Результаты обрабатывались по тому же сценарию, как и при обработке сигналов с болометров.

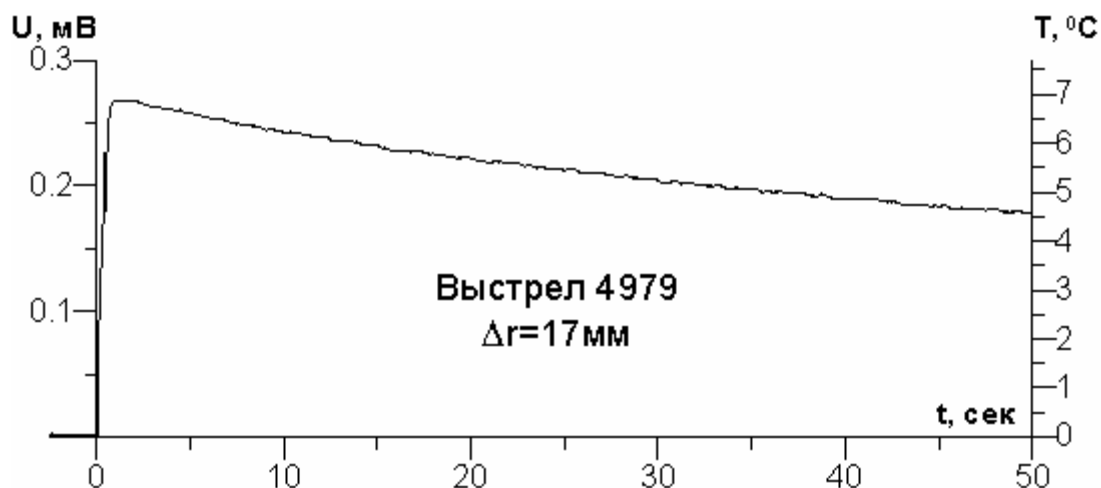


Рисунок 7: Сигнал, получаемый с зонда

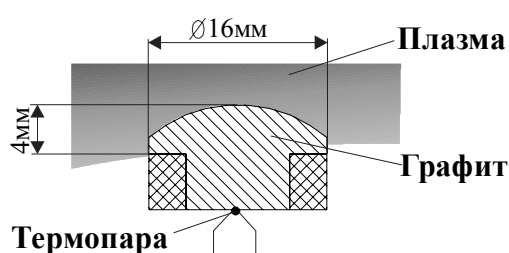


Рисунок 8: К вычислению энергии попавшей на зонд

При вычислении плотности энергии содержащейся в слое плазмы считалось, что плазма попадает на зонд вдоль магнитных линий, и площадь, взаимодействующая с плазмой это, взаимодействующее с плазмой, сечение графита, показанное на рисунке 8.

Поскольку это минимальное сечение в задаче, то полученный результат можно интерпретировать как оценку сверху на плотность энергии попадающей на зонд. На самом деле процесс взаимодействия зонда с плазмой гораздо сложнее, поток на зонд будет не только вдоль поля, но и поперек, а взаимодействие пучка с зондом является касательным, и полного торможения электронов в графите не будет.

Для проведения измерений зондом требовались стабильные (без срывов) режимы, в которых нет опасности разрушить зонд, так как прямое попадание

пучка по графиту вызовет его сильное испарение и большие механические нагрузки.

Для расчета поперечной диффузии электронов пучка поперек магнитного поля были проведены две серии экспериментов, в которых зонд располагался на двух координатах 2,3 м и на 9,1 м от входа пучка. А на $Z = 9,1$ м дополнительно были проведены измерения с противоположных сторон вакуумной камеры, чтобы определить существует ли смещение плазменного шнура как целого относительно оси установки.

На рисунках 9, 10 отражены полученные результаты. Для их анализа на рисунке так же отмечены характерные размеры в эксперименте: стенка камеры, расчетная плотность энергии в пучке и наименьшая по диаметру проекция диафрагмы по магнитному полю.

Все измерения зондом проводились в гофрированном поле. Так как диагностические окна расположены между катушек, то зонд, в силу конструктивных особенностей камеры, автоматически располагался в среднем поле. И тогда максимальный и минимальный диаметры плазмы находятся по формуле: $d_{\max(\min)} = \sqrt{(B_{\max} + B_{\min}) / (2 \cdot B_{\min(\max)})} \cdot d = 1.15(0.9) \cdot d$

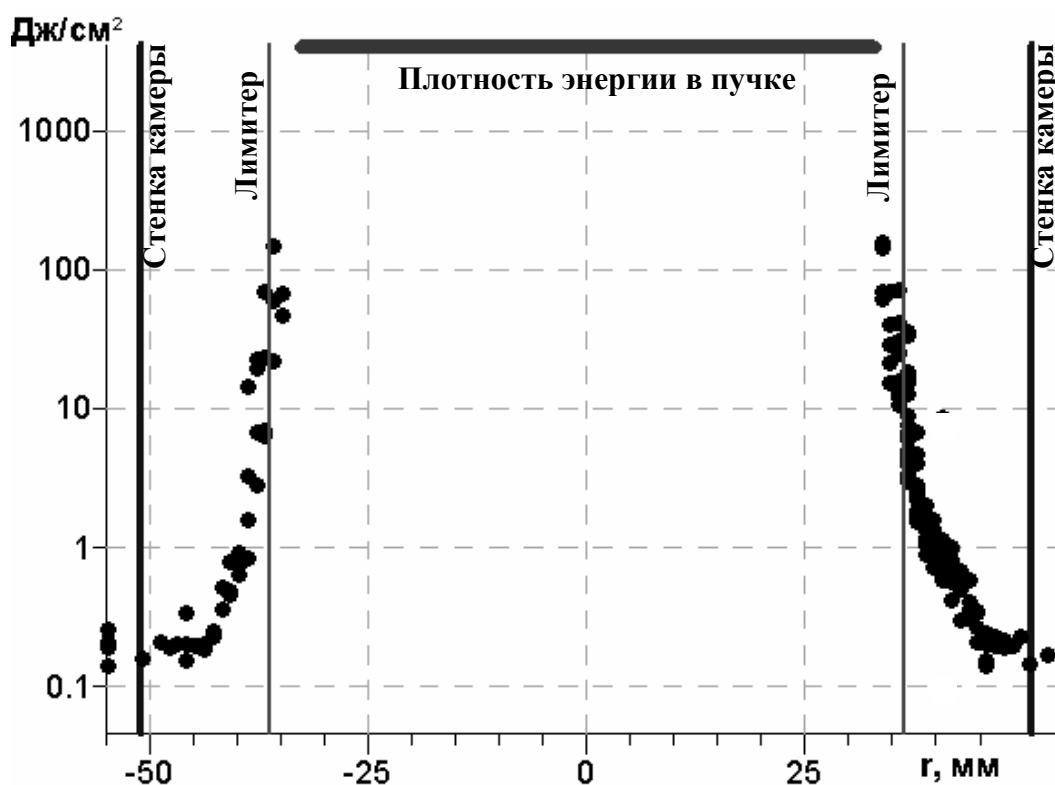


Рисунок 9: Измерения поперечных потерь (зонд на 9,1 м)

На рисунках видно, что плотность энергии потерь на стенке для зонда несколько выше ($\sim 0,2-0,3$ мДж/см²), чем рассчитанные по болометру. Это некоторое несоответствие результатов возникает из-за того, что для расчета плотности энергии попадающей на зонд считалось, что основной вклад дают частицы, попадающие на него вдоль магнитного поля, но это не верно при расчете потерь на стенку. В этой области более правильно брать полную площадь, направленную в плазму. С учетом этого дополнения полученные результаты с двух диагностик совпадают с хорошей точностью. Следует заметить, что в тени диафрагм поток энергии не большой, и лишь в узком слое перед лимитером надирается большая энергия. При дальнейшем выдвигании зонда вглубь плазмы за диафрагму, наблюдается быстрый рост его температуры. Уменьшение расстояния от зонда до центра камеры на 3 мм приводит к росту температуры на порядок. Если углубить зонд еще на 1 мм, то температура поверхности графита еще возрастает, и доходит до порога разрушения, наблюдается сильная эрозия материала зонда. Таким образом, это положение зонда соответствует, скорее всего, попаданию зонда в область занятую электронным пучком.

Такое поведение радиального распределения свидетельствует о том, что диаметр горячей плазмы близок к диаметру лимитеров, расположенных в области слабого поля. Это приводит к большому потоку энергии из плазмы на лимитеры, что является нежелательным, поскольку, помимо роста потерь энергии из плазмы, приводит к дополнительному поступлению примесей с лимитеров. После обнаружения этого факта было принято решение об изменении диаметра пучка. Модернизация узла генерации пучка была осуществлена в январе – марте 2003г.

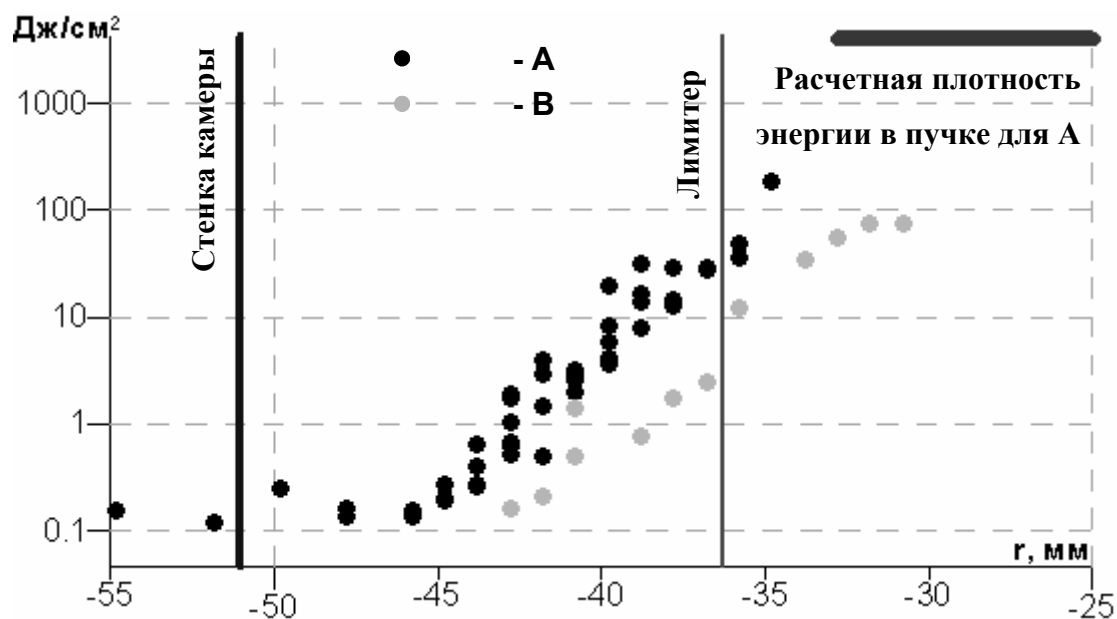


Рисунок 10: Измерения поперечных потерь (зонд на 2,3м)

Хотелось бы обратить внимание на рисунок 10, на нем изображены две серии экспериментов. Первая серия экспериментов (А) проводилась в условиях аналогичных экспериментам на координате 9,1 м. А во второй серии экспериментов (В) были существенно изменены параметры пучка. После модернизации пучка он был уменьшен в диаметре и в первых экспериментах уменьшена плотность тока. В этой серии удалось продвинуться ближе к центру камеры, что говорит о том, что диаметр пучка в плазме действительно уменьшился. В этих экспериментах магнитное поле в области генерации пучка не было оптимизировано. После проведения оптимизации и подъема напряжения на ГИНе до стандартного планируется провести детальное измерение при помощи зонда.

По полученным измерениям был вычислен диаметр горячей области, он составил 68мм в среднем поле, и максимальный и минимальный диаметры составляют 78,2мм и 61,5мм соответственно.

Сравнение результатов измерений на двух координатах, показывает, что диаметр пучка при прохождении плазмы длиной 7 метров, увеличился не значительно, и данной диагностикой получить точный результат не возможно, но можно гарантировать, что радиус пучка изменился не больше миллиметра. Тогда можно сделать оценку диффузии быстрых электронов пучка как: $D_{ef} \leq \Delta r^2 \cdot c / \Delta Z = 1,7 \cdot 10^2 [\text{м}^2/\text{сек}]$.

4. Диагностики для модифицированной установки ГОЛ-3

На установке ГОЛ-3 планируется увеличение диаметра части вакуумной камеры в полтора раза. Расширенная камера позволит увеличить гофрировку H_{\max}/H_{\min} и, обеспечит большее расстояние от плазмы до лимитеров. Но модернизация вакуумной камеры влечет за собой ряд технологических трудностей, так как в новой системе уменьшено количество диагностических окон, поэтому каждое окно должно использоваться несколькими диагностиками. И было решено заранее подготовить ряд диагностик для изучения поперечных потерь в новой установке. Их схема крепления и устройство представлены на рисунке 11.

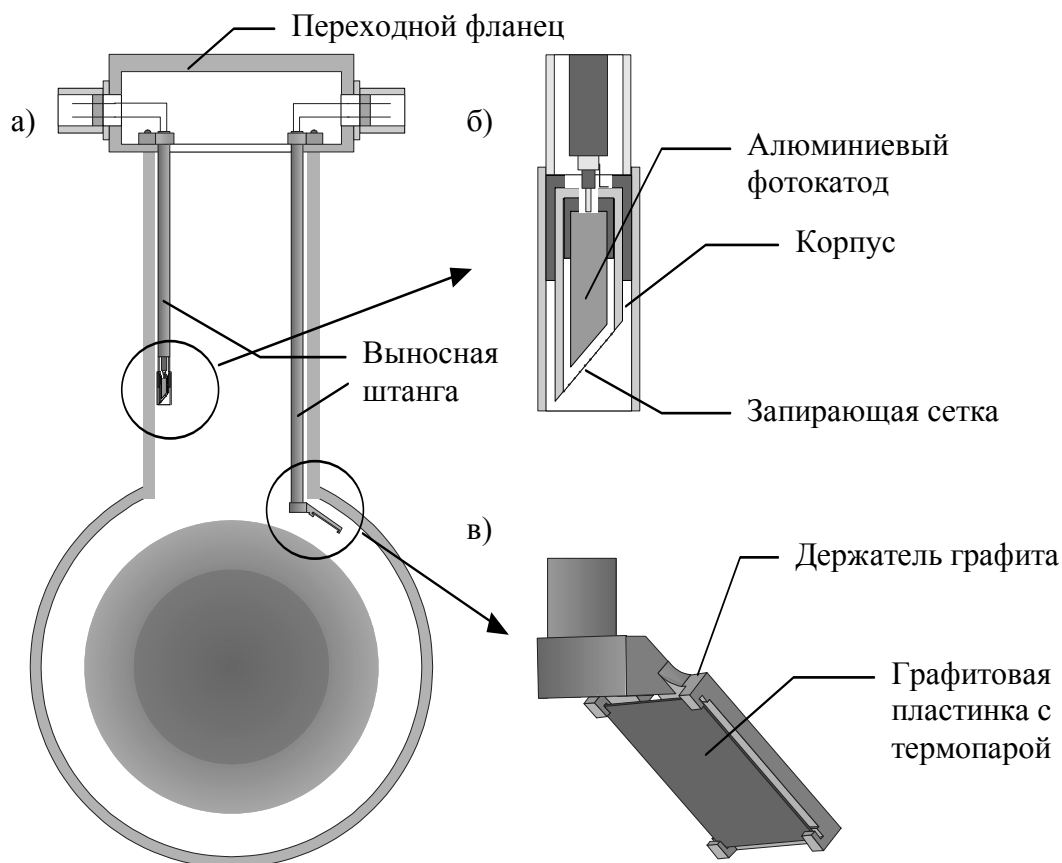


Рисунок 11: Диагностики для измерения поперечных потерь в модифицированной установке. а) Схема крепления, б) Диагностика для измерения вакуумного ультрафиолетового излучения, в) Пристеночный болометр.

Данные диагностики являются аналогами уже имеющихся на установке диагностик. Пристеночный болометр создан для измерения поперечных потерь

на стенку установки, измеряется полная энергия независимо от типа потерь. Диагностика по измерению вакуумного ультрафиолетового излучения служит для оценки поперечных потерь содержащихся в излучении с энергией 8-50эВ.

Диагностика болометр состоит из стального держателя, выносной штанги, и графитовой пластинки прямоугольной формы с приклеенной к нему термопарой. Пластинка зажимается в держатель и изолируется от него пленкой.

Диагностика по измерению энергии поперечных потерь содержащихся в ультрафиолетовом излучении состоит из алюминиевого фотокатода, анодной сетки крепящейся на стакан, экранирующего стакана и выносной штанги.

Обе диагностики крепятся с помощью зажимов на переходном фланце.

На данный момент изготовлены все детали для сборки шести полных комплектов обеих диагностик. И почти все элементы собраны, оставшиеся монтаж необходимо проводить непосредственно на установке.

5. Заключение

1. На установке ГОЛ-3 была установлена диагностика измерения поперечных потерь на стенку состоящая из трех болометров, что позволило определить распределения поперечных потерь интегрально за импульс вдоль установки в каждом выстреле.

2. В последних сериях экспериментов получены средние потери поперек магнитного поля, которые составили:

- в средней части установки, $z = 4,6$ м, в режиме с хорошим удержанием ~ 5 мДж/см², причем потери существенно зависят от распределения профиля плотности плазмы по длине установки.
- на концах установки потери были примерно равные ~ 15 мДж/см², благодаря плотной многозарядной плазме.
- полученные результаты позволяют оценить полные потери поперек магнитного поля, они составляют $\sim 0,5$ кДж за импульс, что много меньше энергосодержания в плазме. Остывание плазмы обеспечивается, таким образом, потерей энергии и гаситиз вдоль магнитного поля.

3. Была измерена энергия плазмы в зависимости от расстояния до стенки, и установлено, что диаметр горячей плазмы близок к диаметру диафрагм, что приводит к повышению уровня примесей и потерь энергии из плазмы. В заимитерной области энергосодержание плазмы мало.

4. Был измерен диаметр области занятой электронным пучком, и он составил 78,2мм в минимуме поля и 61,5 в максимуме поля. Не обнаружено отличие диаметра пучка при положении зонда на координатах 2,4 и 9,1и, что позволяет сделать оценки коэффициента поперечной диффузии электронов пучка как $D_{\perp} \leq 1,7 \cdot 10^2 [\text{м}^2/\text{сек}] \text{м}^2/\text{с}$.

5. По результатам зондовых измерений было предложено уменьшить диаметр пучка, чтобы увеличить расстояние от плазмы до диафрагм. Такая работа была проведена на установке в январе – марте 2003г.

6. Спроектированы и изготовлены диагностики для измерения вакуумного ультрафиолетового излучения и поперечных потерь на стенку для новой камеры.

6. Литература

1. *R.Yu. Akentjev, A.V. Arzhannikov, V.T. Astrelin, A.V. Burdakov, I.A. Ivanov, M.V. Ivantsivsky, V.S. Koidan, V.V. Konyukhov, A.G. Makarov, K.I. Mekler, S.S. Perin, S.V. Polosatkin, V.V. Postupaev, A.F. Rovenskikh, S.L. Sinitsky, V.D. Stepanov, Yu.S. Sulyaev, A.A. Shoshin, Eh.R. Zubairov.* Multimirror Open Trap GOL-3: recent results // Joint International Plasma Symposium of 6th APCPST, 15th SPSM, OS2002&11th KAPRA, Meeting Abstracts, Jeju Island, Korea, 2002, p.76.
2. *Персов Б.З.* Основы проектирования экспериментальных установок. Новосибирск, 1993.
3. *Аш Ж.* Датчики измерительных систем, Т. 1. М: Мир, 1992, 240.
4. *Койдан В.С., Конюхов В.В., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф., Шувалов Б.Н.* Система сбора данных установки ГОЛ-3-II на базе ЭВМ архитектуры x86. Новосибирск: ИЯФ, 2000.
5. *Котельников И.А., Ступаков Г.В.* Лекции по физике плазмы. Новосибирск, 1996.

Содержание

1.	Введение	2
1.1.	Поперечный перенос на установке ГОЛ-3	2
1.2.	Цели работы.....	3
1.3.	Общее устройство установки ГОЛ-3	3
2.	Измерение поперечных потерь на стенке камеры	5
2.1.	Устройство диагностики-болометра	5
2.2.	Полученные результаты	6
2.3.	Анализ полученных результатов.....	8
3.	Измерение радиального распределения энергии в плазме	10
3.1.	Устройство диагностики - зонд	10
3.2.	Полученные результаты	11
4.	Диагностики для модифицированной установки ГОЛ-3	15
5.	Заключение	17
6.	Литература.....	18

Аннотация

В данной работе обсуждаются эксперименты по измерению поперечного переноса на установке ГОЛ-3 болометрическим методом, их результаты.

Эксперимент был разбит на две части. Первая, состояла в измерении поперечных потерь из плазмы на стенку, которые измерялись пристеночным болометром, не вносящим искажения в плазму. По полученным результатам были оценены поперечные потери из плазмы, попадающие на стенку. Вторая часть эксперимента состояла в измерении локального энергосодержания периферийной плазмы подвижным зондом вне области занятой электронным пучком. Полученные результаты позволили установить, что в данной конфигурации эксперимента горячий плазменный шнур опирается на диафрагмы, и только малая часть плазмы диффундирует в тень лимитеров. Удалось установить, что диаметр электронного пучка, проходя вдоль установки, несмотря на сильно турбулентную плазму, увеличивается незначительно. Сделаны оценки коэффициента поперечной диффузии для электронов пучка.

В завершение квалификационной работы обсуждается модификация диагностик для измерения поперечных потерь на установке после предполагаемой замены части вакуумной камеры на камеру с большим диаметром.