Измерение потерь энергии на лимитере установки ГДЛ

Андрей Мейстер

Лаборатория 9-1

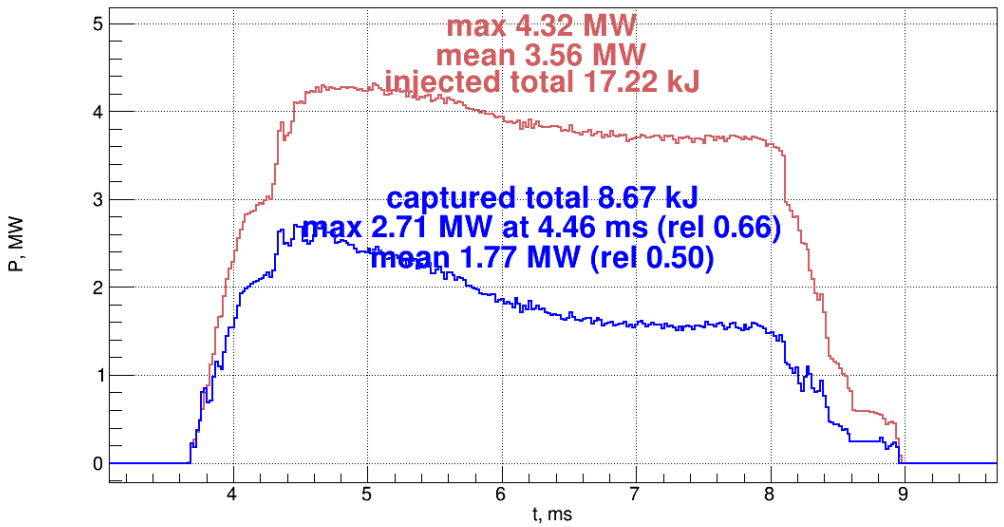
2 курс магистратуры

Научный руководитель – Солдаткина Е. И.

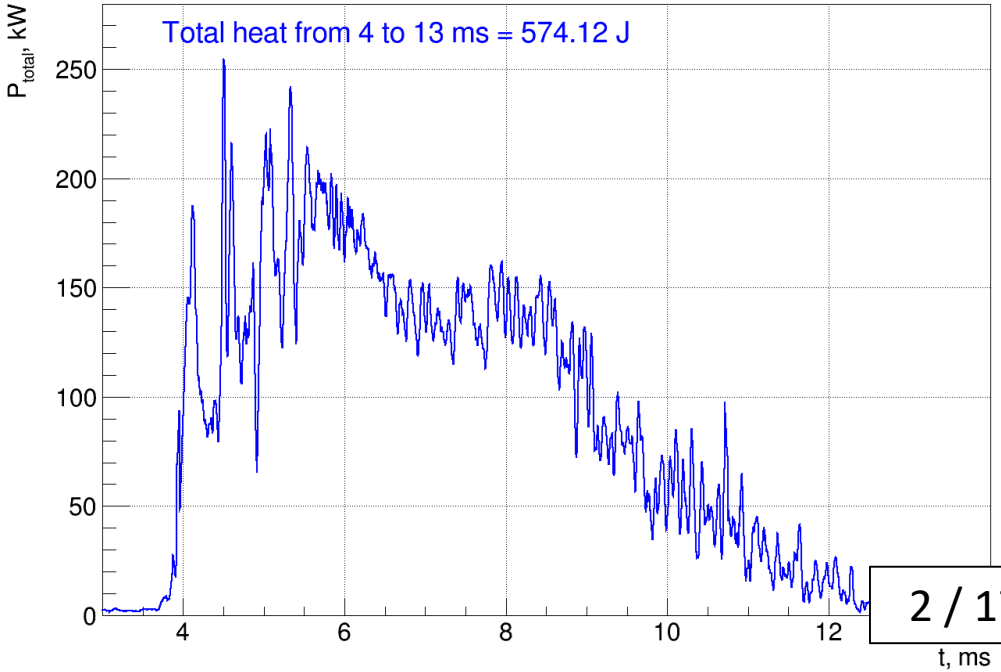
Введение

- В ГДЛ продолжается изучение потоков энергии из плазмы
- Нейтральными пучками инжектируется до 5 МВт
- Плазмой захватывается 2-3 МВт
- На плазмоприёмники поступает несколько сотен кВт

Инжектируемая мощность

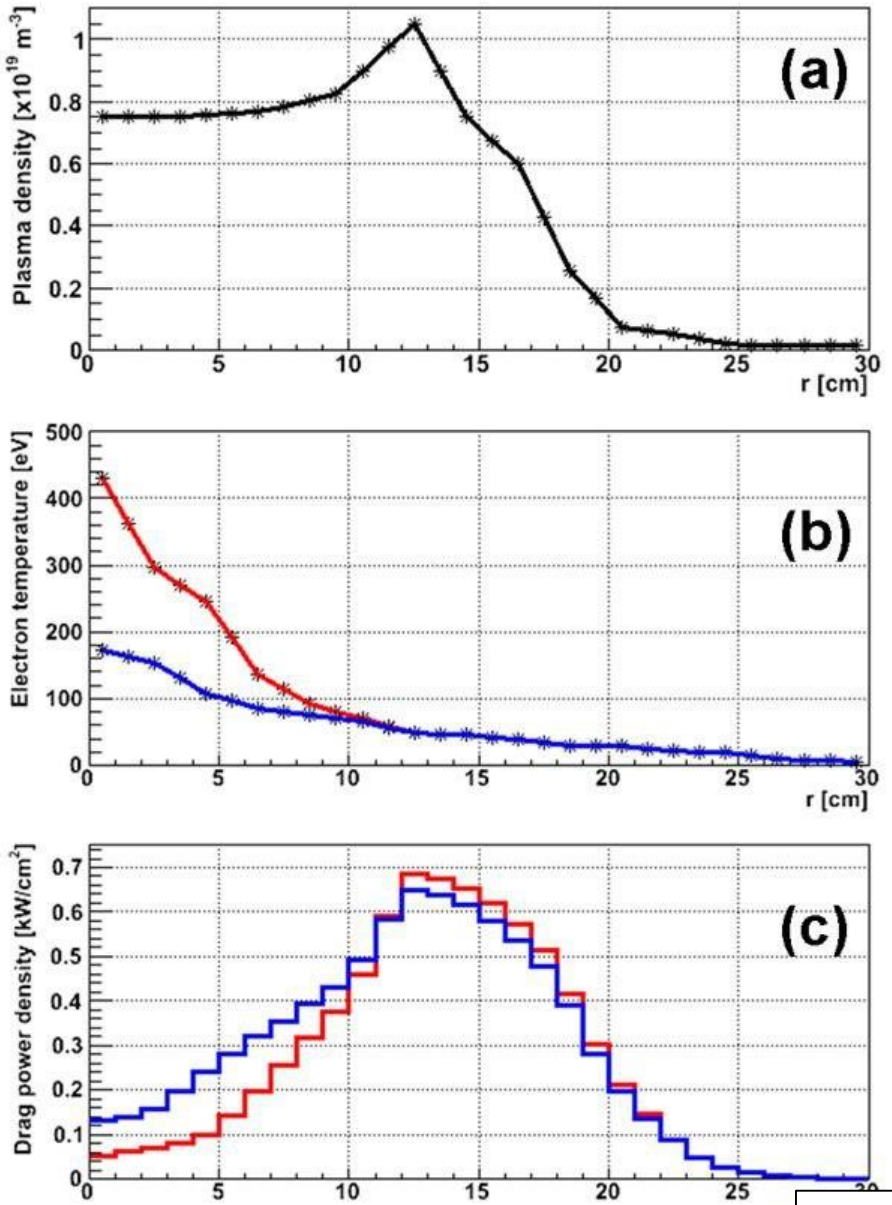


Мощность на плазмоприёмнике



Гипотеза

- Моделирование показывает, что быстрые ионы, вращающиеся по большим ларморовским радиусам, нагревают преимущественно периферийную плазму
- Возможно, что периферийная плазма оседает на лимитерах и нагревает их
- Измерив нагрев лимитеров датчиками тепла, можно оценить количество поступающей на них энергии

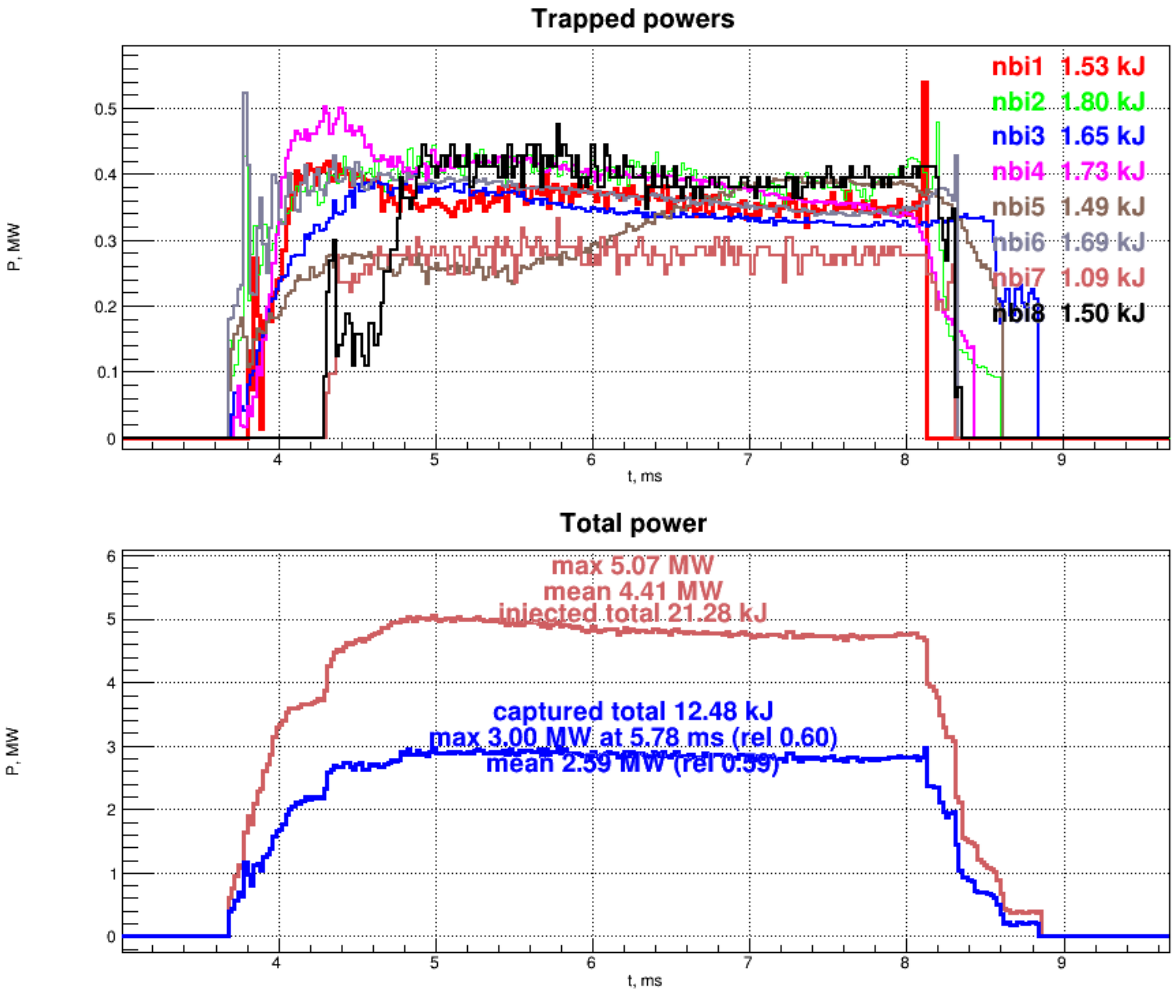


Измерение инжектированной энергии

- Вторично-эмиссионные датчики в приёмниках пучка
- Мощность на датчике:

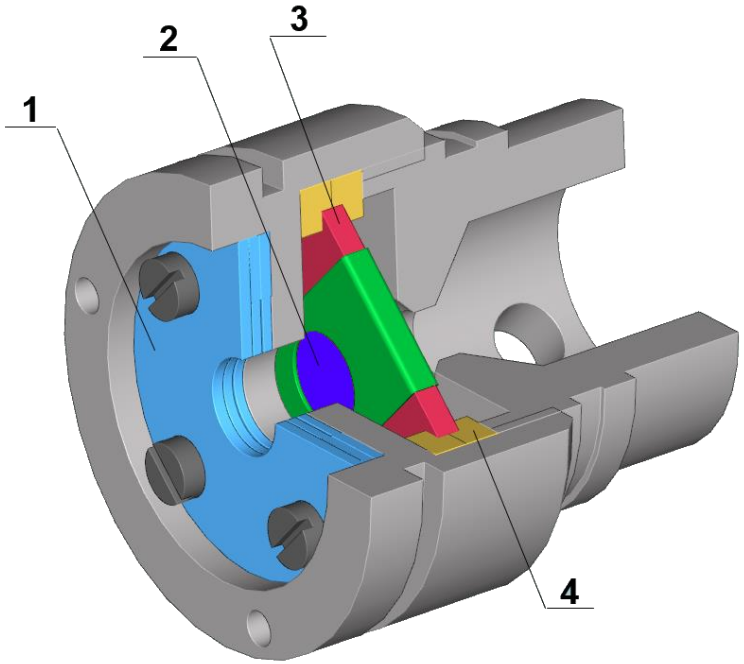
$$P = UI \cdot C_{neutr}$$

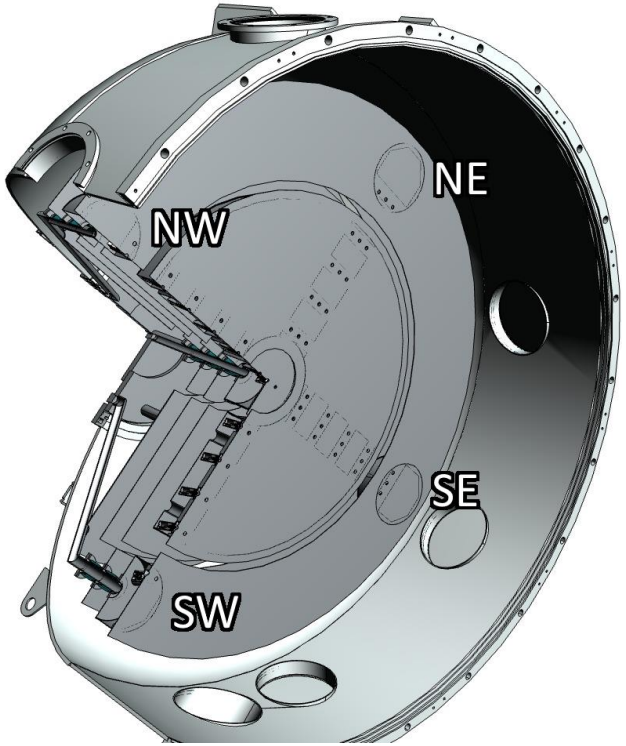
- I – ток пучка
- U – напряжение на модуляторе
- C_{neutr} – коэффициент нейтрализации пучка
- Захваченная мощность = фоновый выстрел минус исследуемый выстрел



Потери энергии на плазмоприёмнике

- Болометры
  - Серебрённый ниобат лития на плате усилителя
  - Плата закреплена вакуумной резиной
  - Пироэлектрик защищён металлической сеткой
  - 21 датчик, один в центре, остальные распределены по радиусу и азимуту

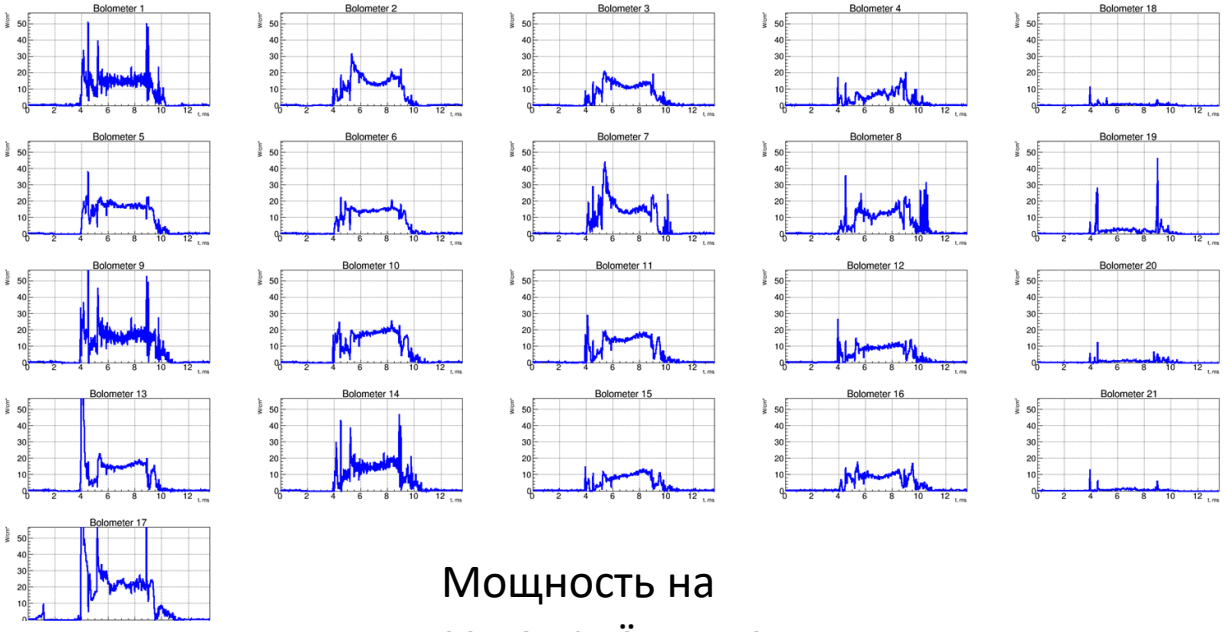




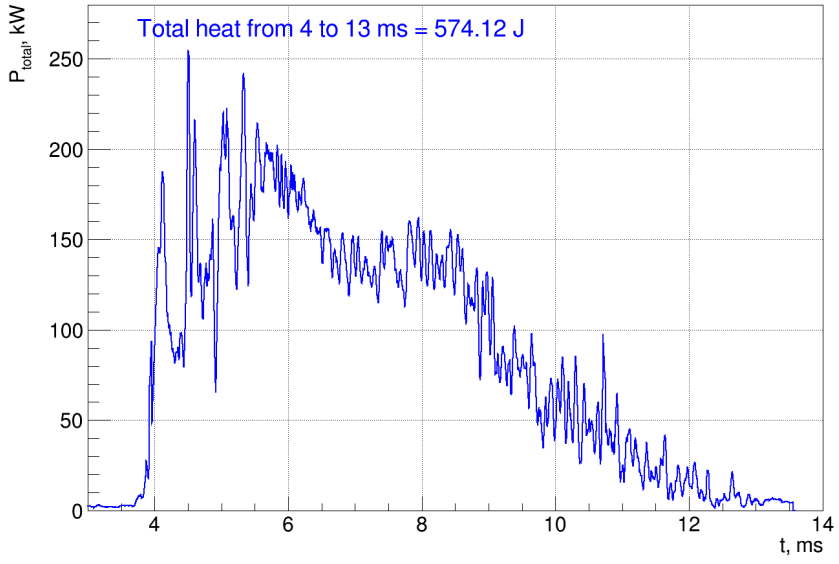
Болометры

- Показание каждого болометра умножается на площадь соответствующей ему площадки плазмоприёмника
- Произведения суммируются, получается интеграл по площади плазмоприёмника
- Строится зависимость полной мощности от времени
- Полная мощность интегрируется по времени

Индивидуальные показания болометров

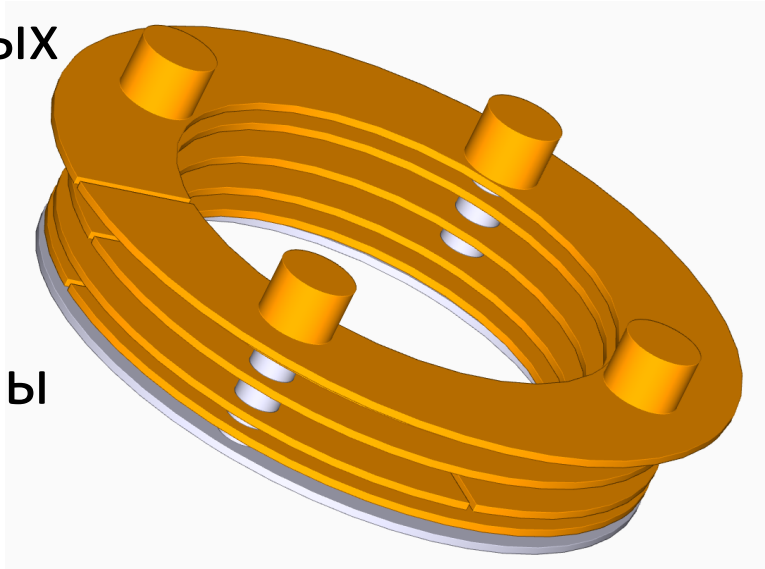


Мощность на плазмоприёмнике

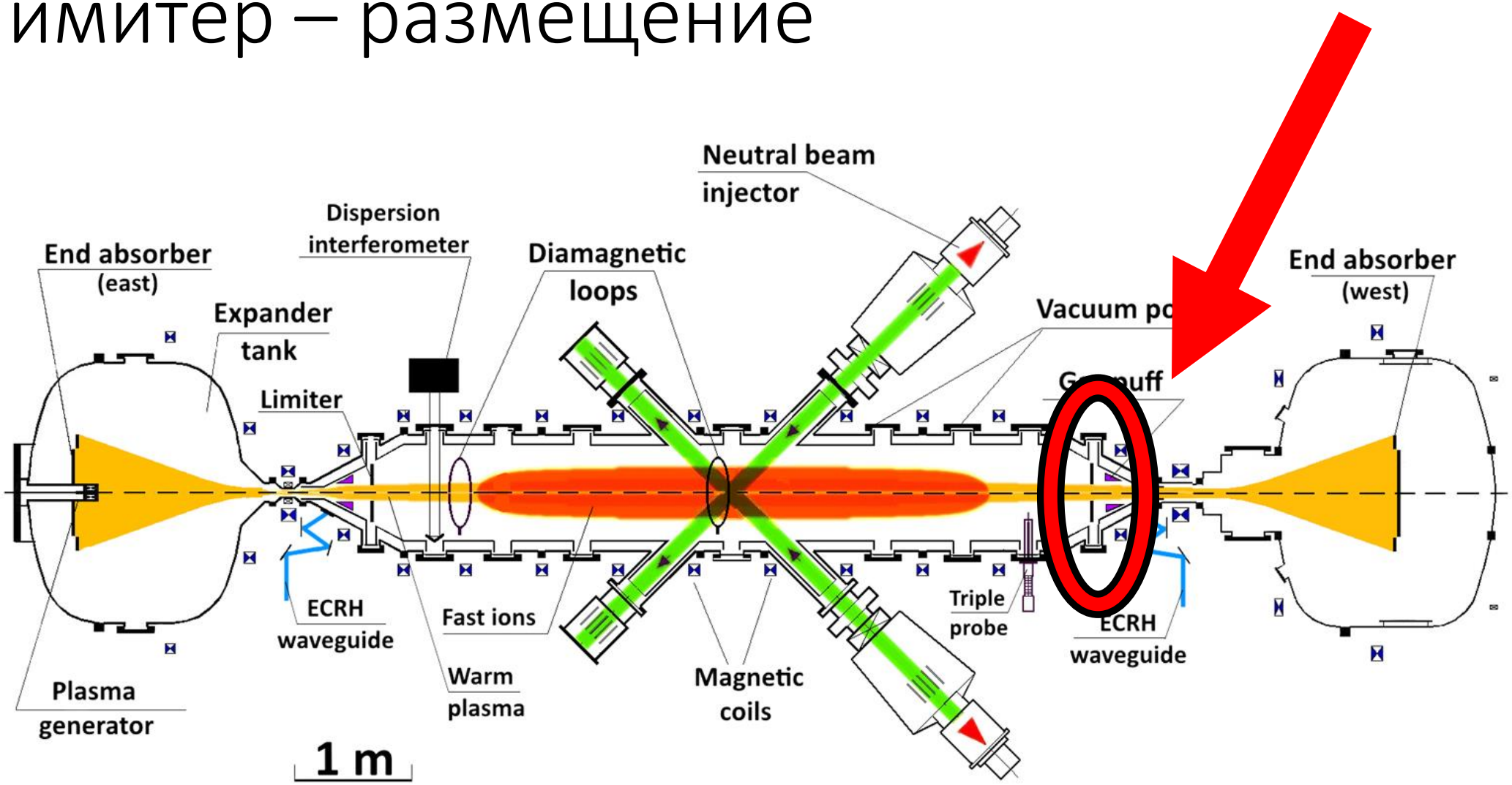


Лимитер – конструкция

- Пять медных колец
- Кольца разрезаны, чтобы избежать больших наведённых токов, между кольцами – керамика
- На каждом кольце – терморезистор Pt-100
- Терморезисторы расположены друг над другом
- Терморезисторы прижаты медными пластинками, припаянными к кольцам

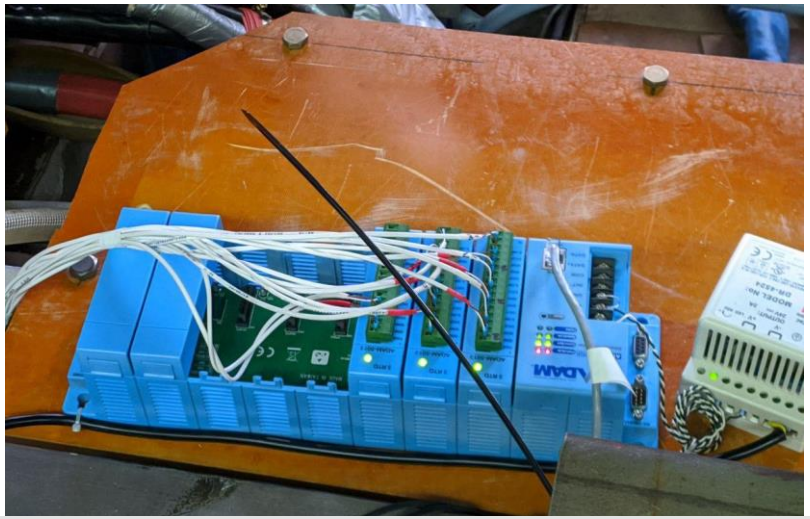


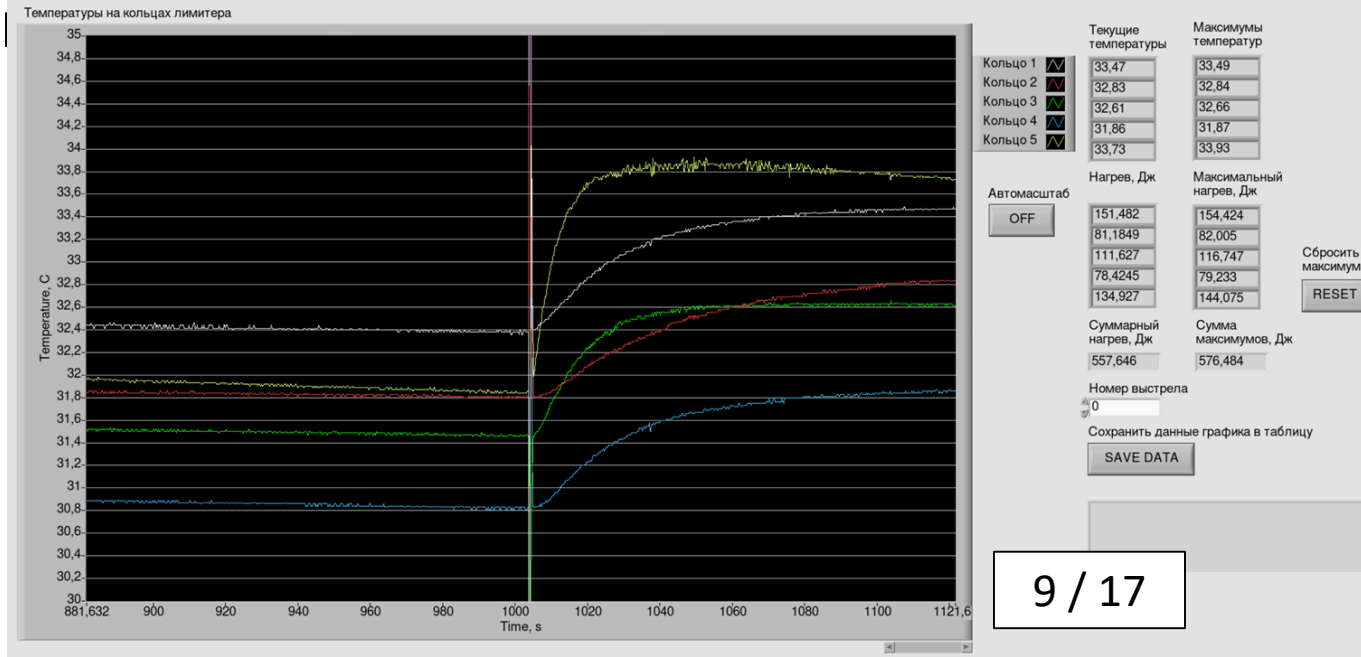
Лимитер – размещение



Лимитер – измерительная система

- ADAM 5510 + два модуля ADAM 5013
- Частота оцифровки – 3 Гц
- Откалиброваны под Pt-100, сразу вычисляют температуры
- Терморезисторы подключены по четырёхпроводной схеме
- Для сбора данных написана программа на LabView

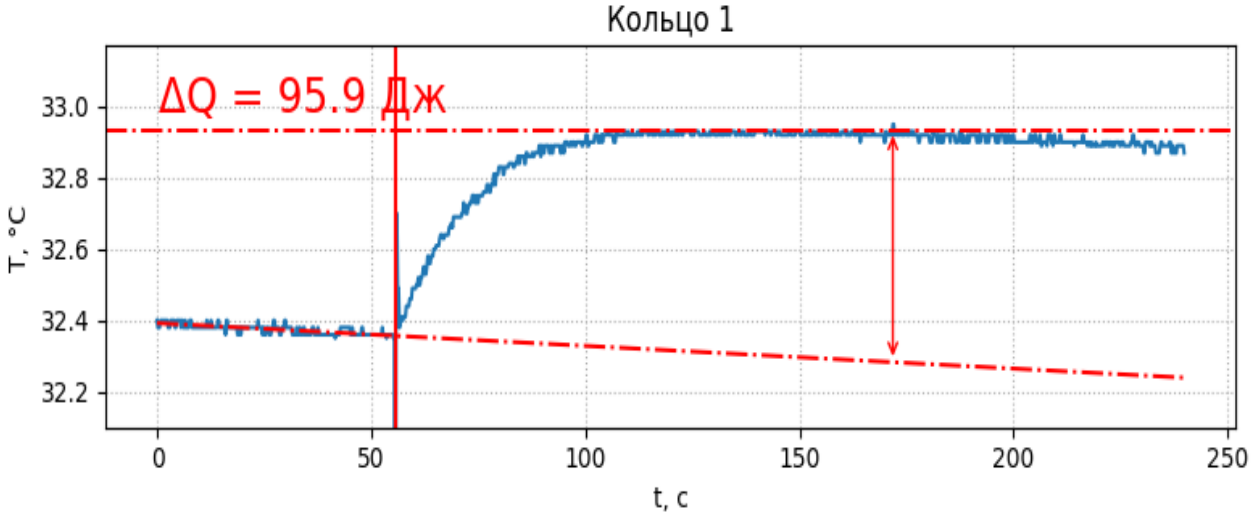




Лимитер – измерение энергии

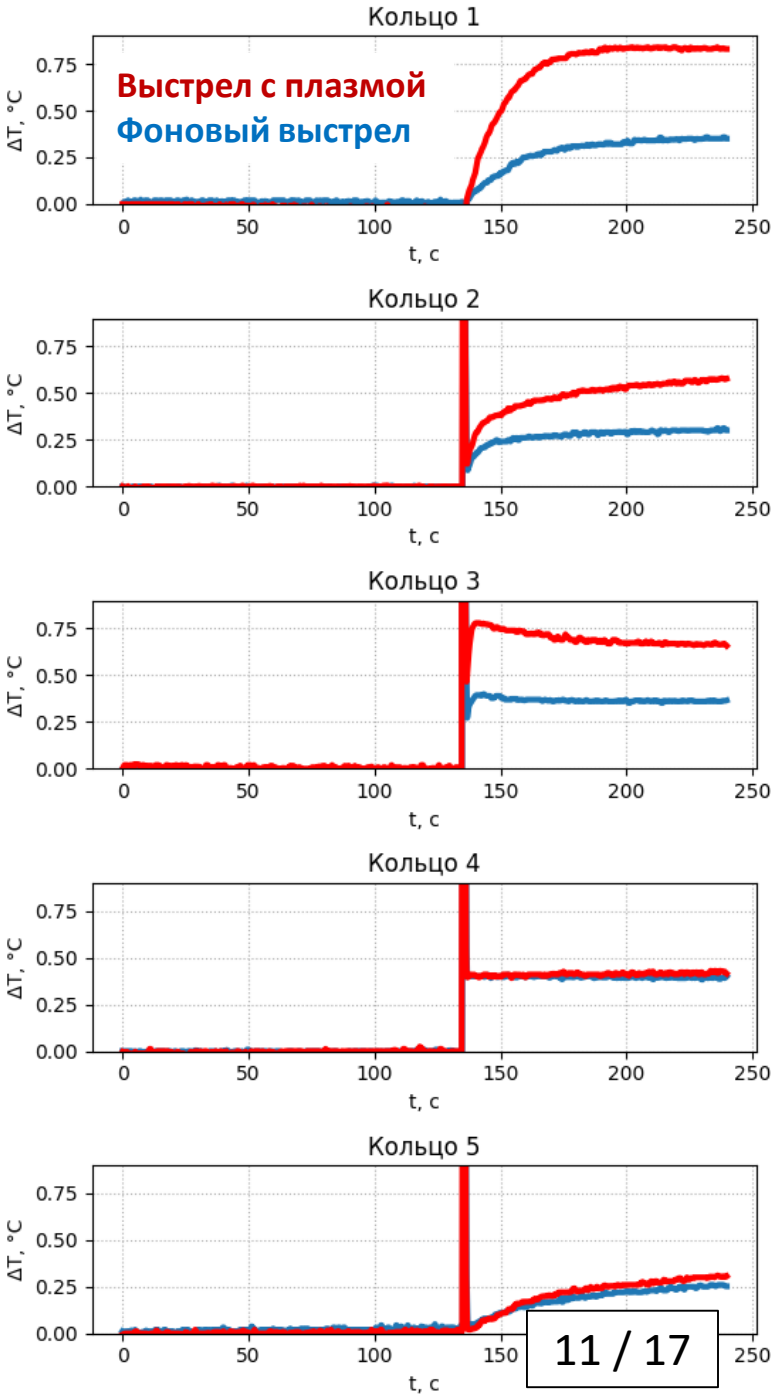
- Момент выстрела – по максимуму производной
- В точки до «выстрела» вписывается прямая (остывание кольца)
- Максимум после «выстрела» минус значение вписанной прямой = ΔT
- Энергия оценивается по

$$Q = cm\Delta T$$



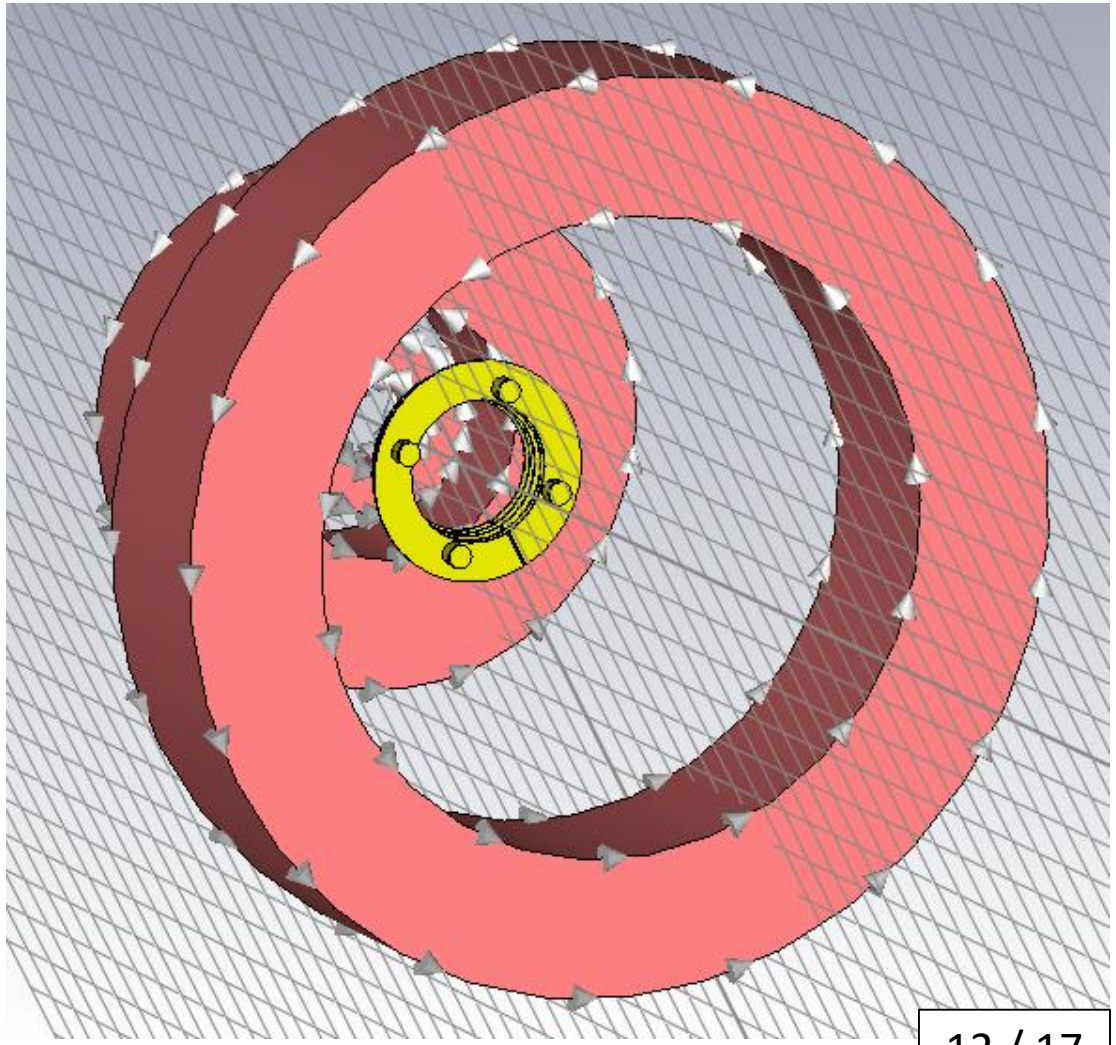
Лимитер – динамика нагрева

- Наблюдается разная динамика нагрева разных колец
- Динамика остаётся постоянной между выстрелами
- Происхождение – нагрев токами, наведёнными магнитным полем (наблюдаются даже в фоновых выстрелах)



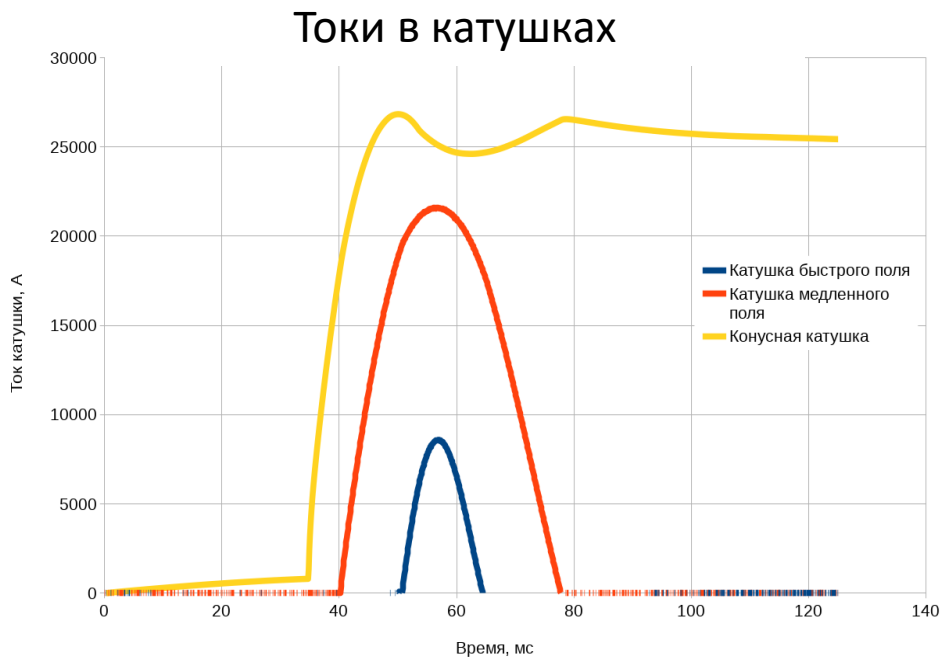
Моделирование нагрева

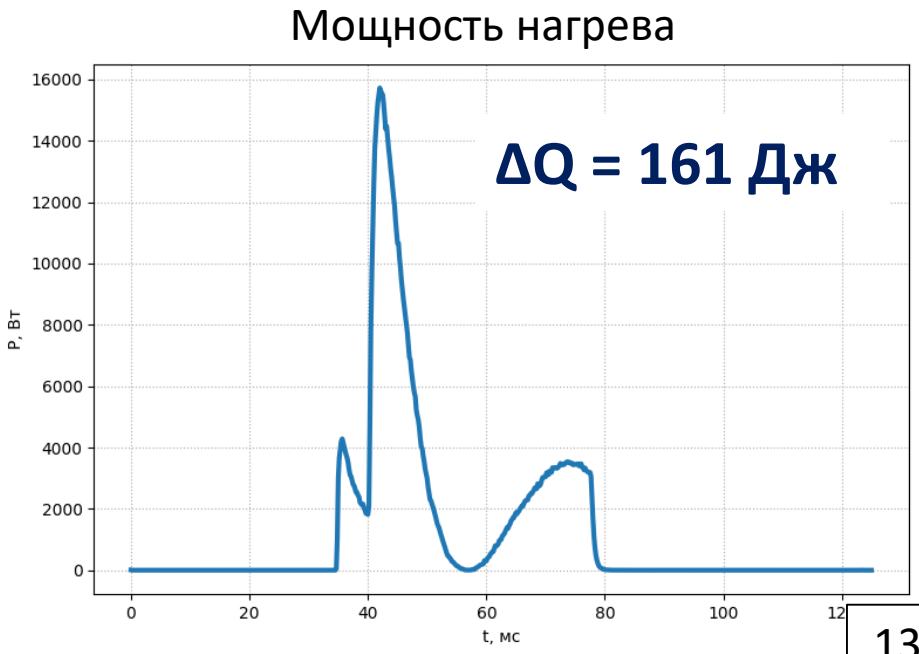
- Использовался CST Studio Suite
- Моделировался омический нагрев магнитным полем от ближайших к лимитеру катушек
- Две пробочных катушки, одна конусная



Моделирование

- Использовались значения токов из эксперимента
- Моделированием получена временная зависимость мощности нагрева
- Интегрированием получен омический нагрев ΔQ = 161 Дж
- В экспериментальных фоновых выстрелах (без плазмы) наблюдалось ΔQ = 160-180 Дж

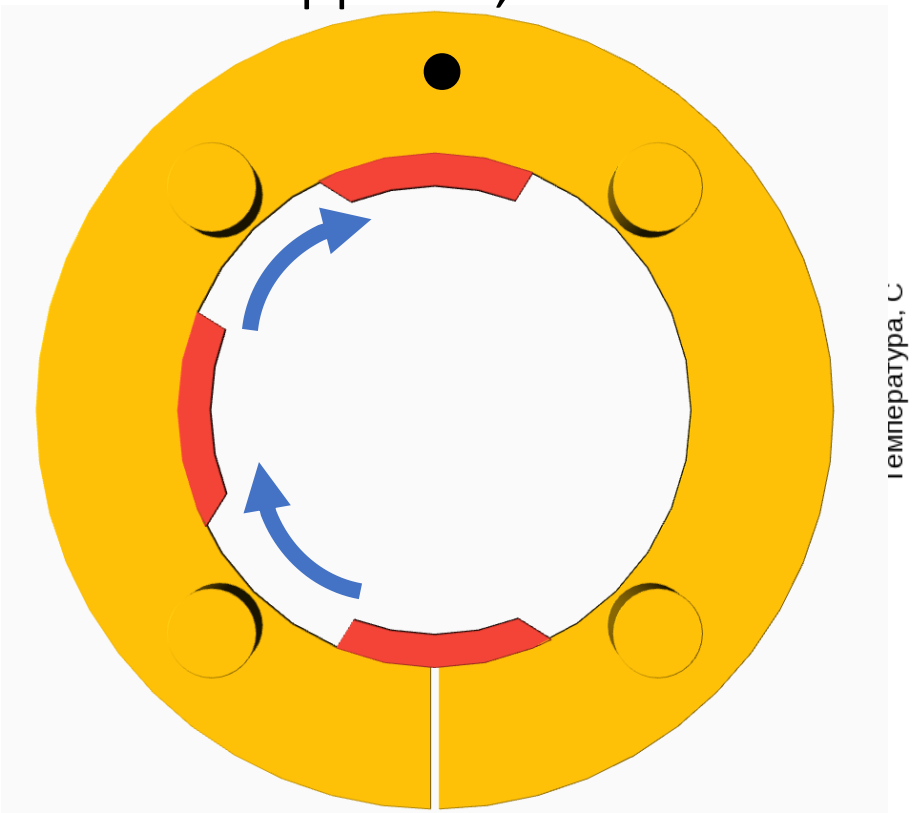




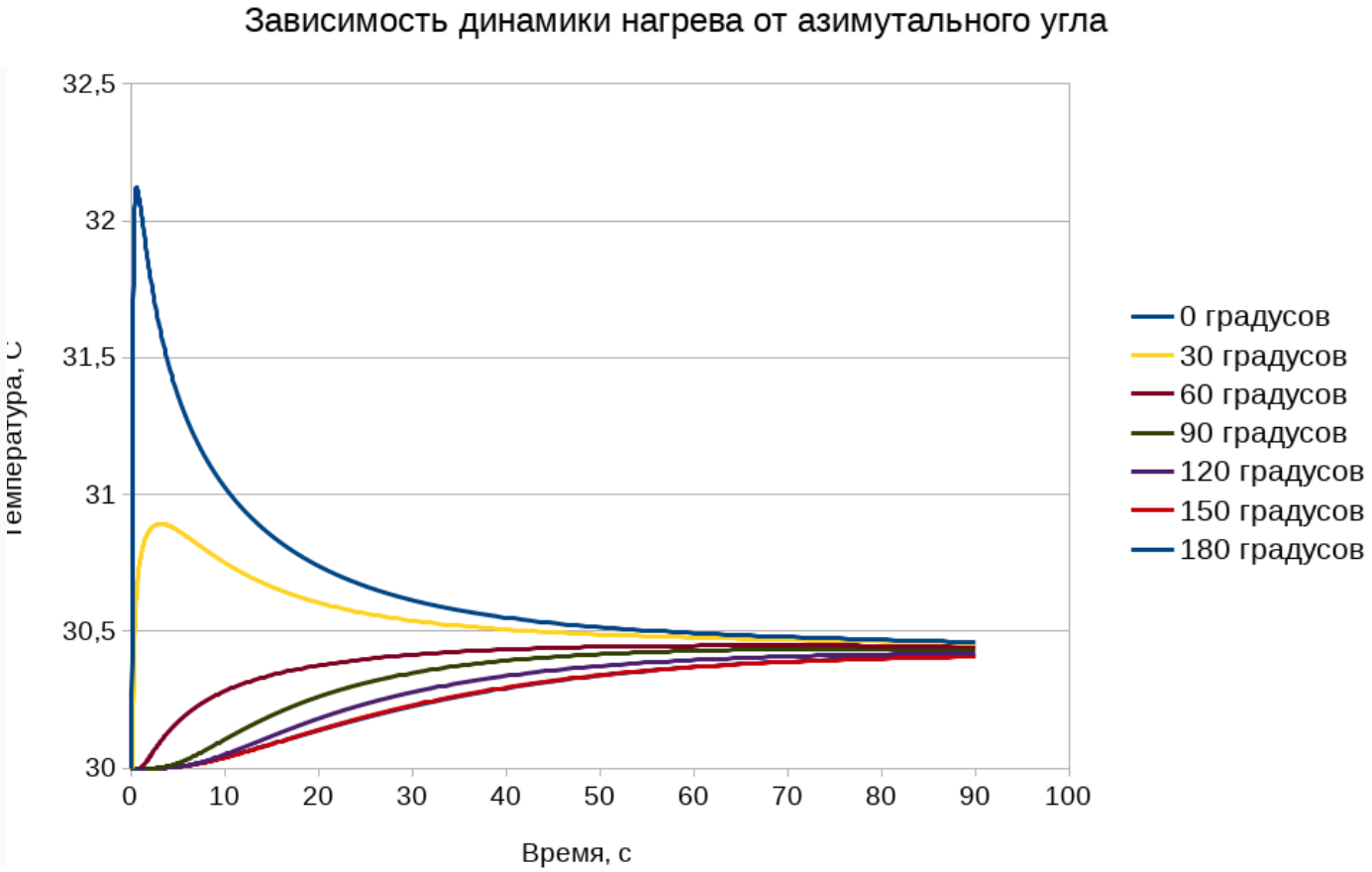
Растекание тепла по азимуту

Датчик, 0°

90°

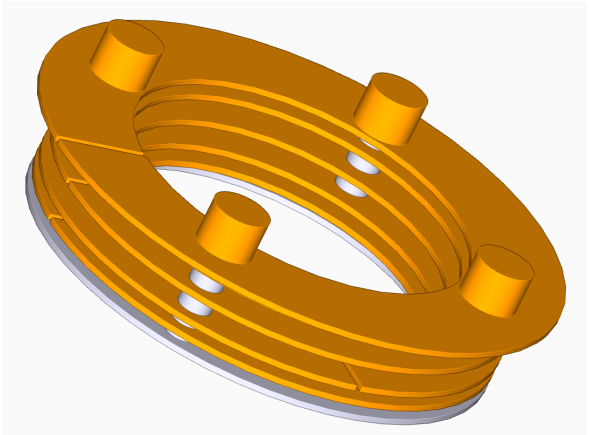


180°

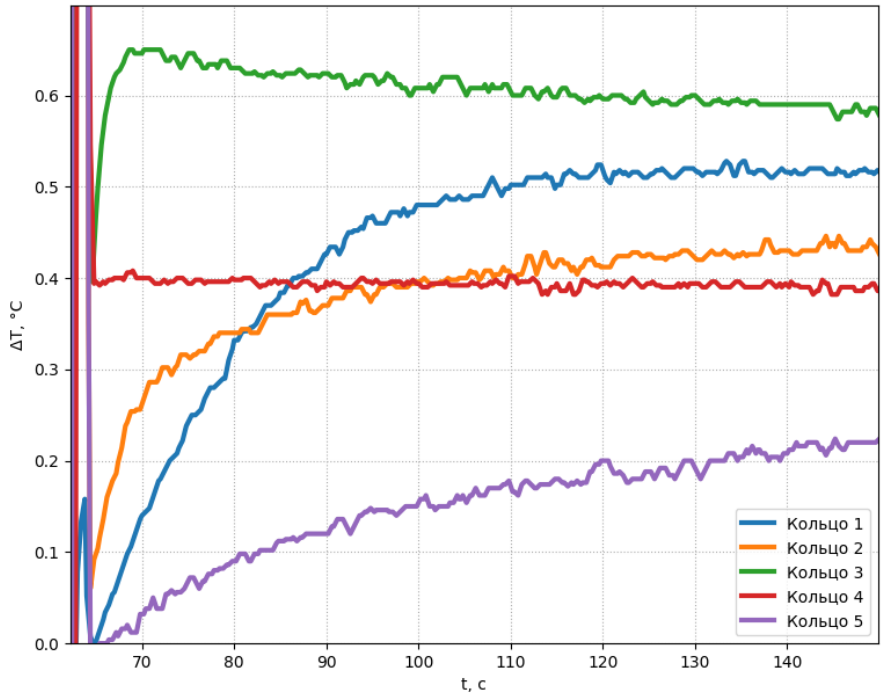


Постоянная мощность нагрева, разные азимутальные углы

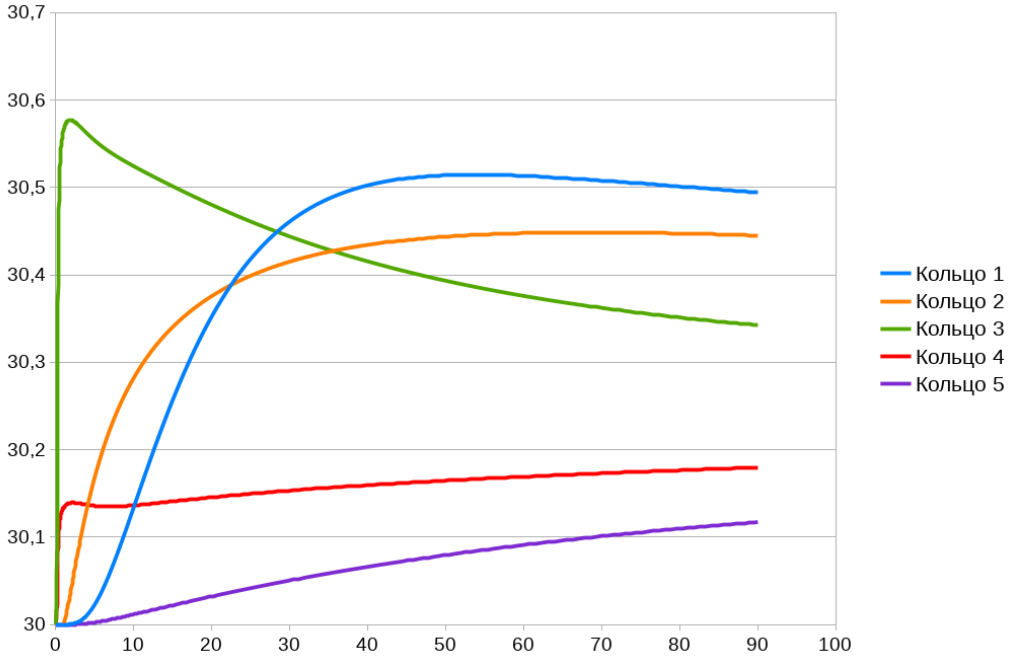
Растекание тепла по азимуту



Эксперимент

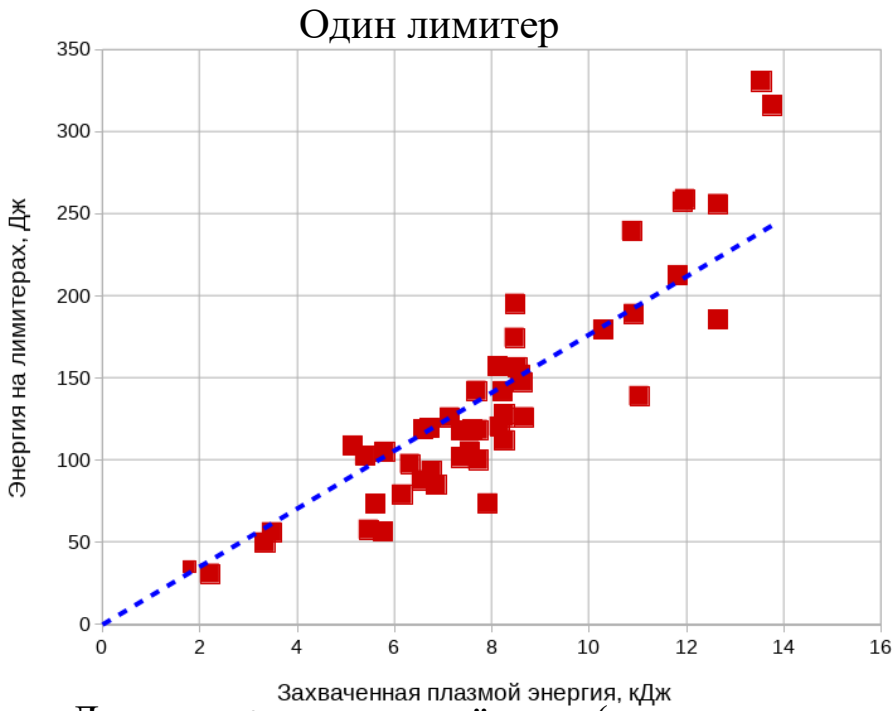


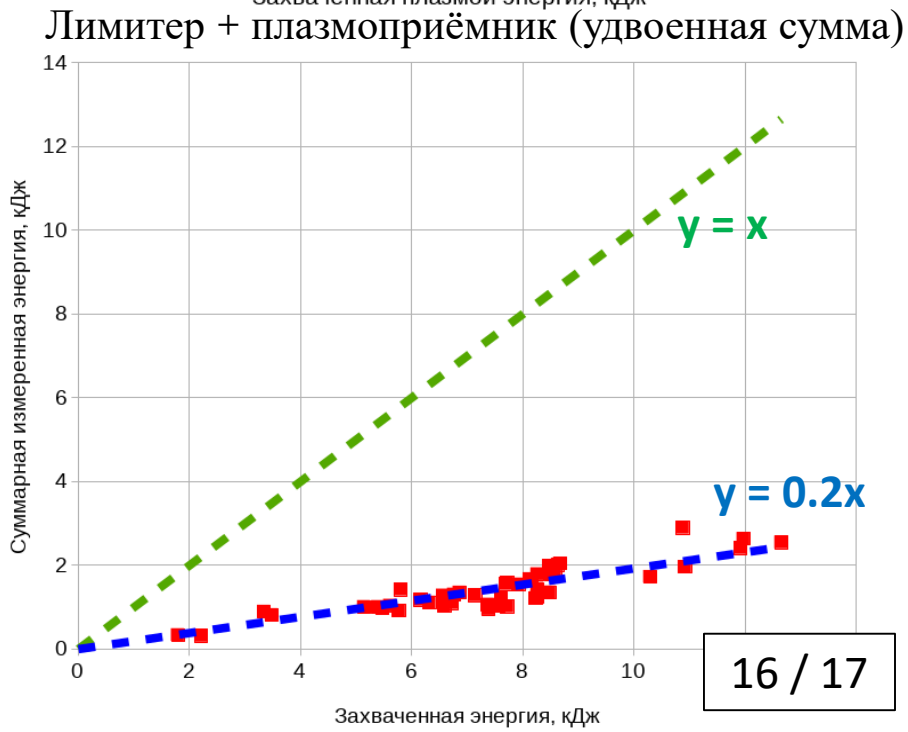
Моделирование

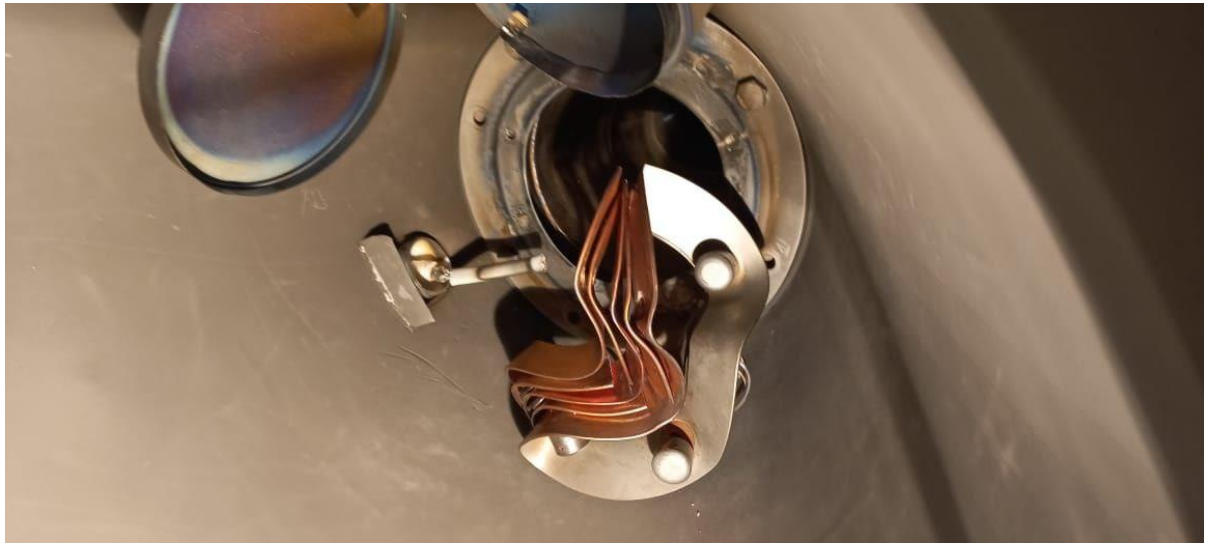
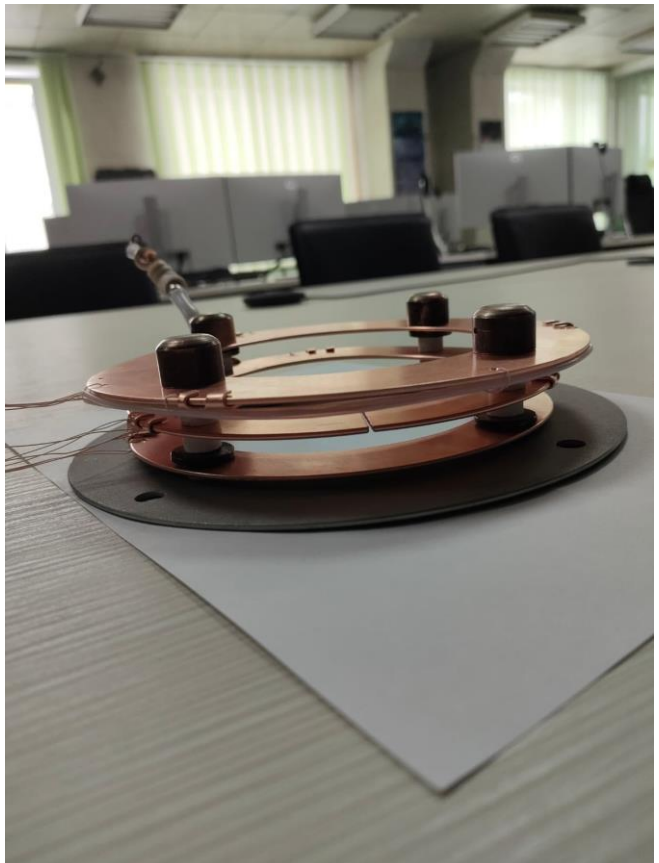


Результаты и заключение

- Построены зависимости измеренных энергий от инжектированных
- Плазмой захватывается энергия порядка **килоджоулей**
- На лимитере регистрируются **сотни джоулей**
- Суммарно на лимитерах и плазмоприёмниках осаждается приблизительно **20% энергии от захваченной**
- Гипотеза с осаждением энергии быстрых ионов посредством периферийной плазмы на лимитерах не подтвердилась





Планы

- Болометры в центральной камере, вдоль установки — изучение перезарядных потерь
- Лимитер с термосопротивлениями в восточную пробку — проверка симметрии