



Сверхпроводящие магниты для ускорителя NICA и прототип магнитной системы для SPD

Никифоров Д.Н.



СП магниты

Бустерный синхротрон	Дипольный магнит	45
	Квадрупольная линза	56
	Дипольный корректирующий магнит	24
	Мультипольный корректирующий магнит	8
	Всего:	133
Коллайдер	Дипольный магнит	85
	Квадрупольная линза арок	50
	Квадрупольная линза прямолинейных секций	30
	Дипольный магнит вертикального сведения	10
	Квадрупольная линза финального фокуса	16
	Мультипольный корректирующий магнит	136
	Всего:	327
Всего:		460



- произведенные магниты



- магниты на этапе производства



- магниты на этапе разработки



Участок криогенных испытаний



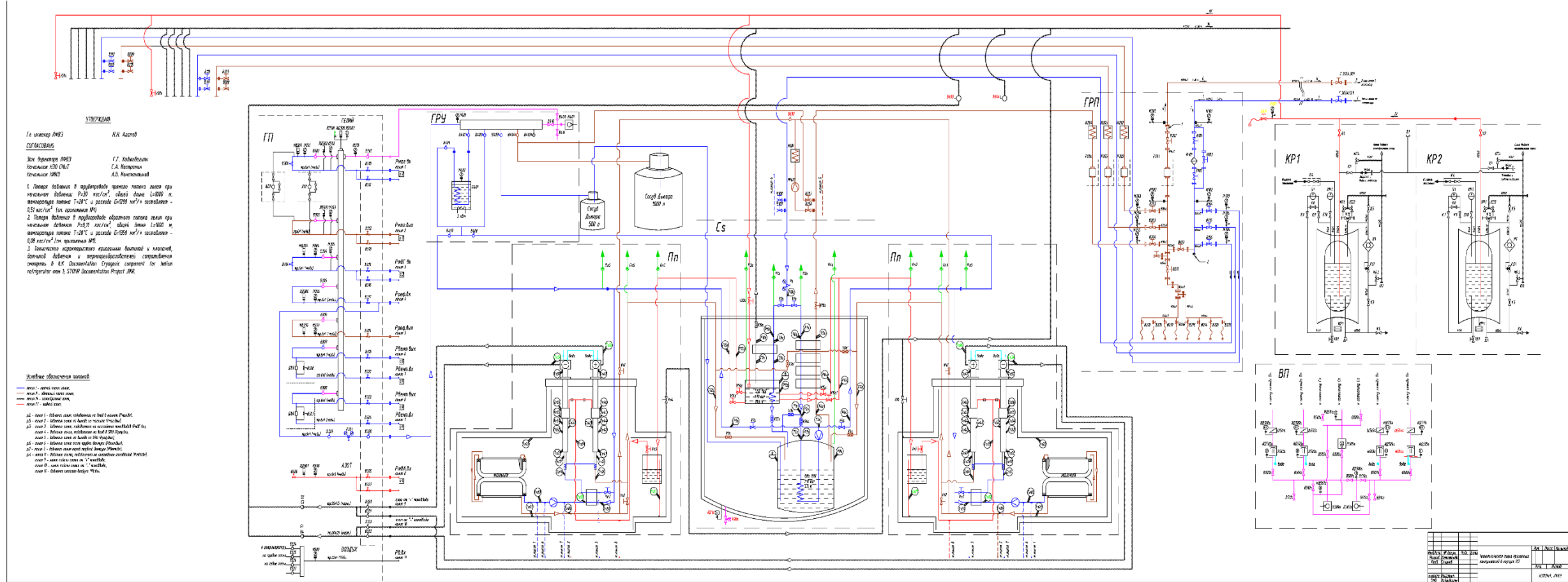
Криогенный стенд:

- Три гелиевых спутниковых рефрижератора,
- Шесть испытательных плеч,
- Двенадцать ВТСП токовводов,
- Максимальная производительность стенда – 12 магнитов в месяц.



За время работы стенда было проведено более 250 криогенных испытаний.

Технологическая схема криогенного участка





Криогенные испытания

1. Охлаждение
СП магнита

2. Тренировка
СП обмотки

3. Магнитные
измерения

4. Измерение
статического
теплопритока

5. Измерение
динамических
тепловыделений

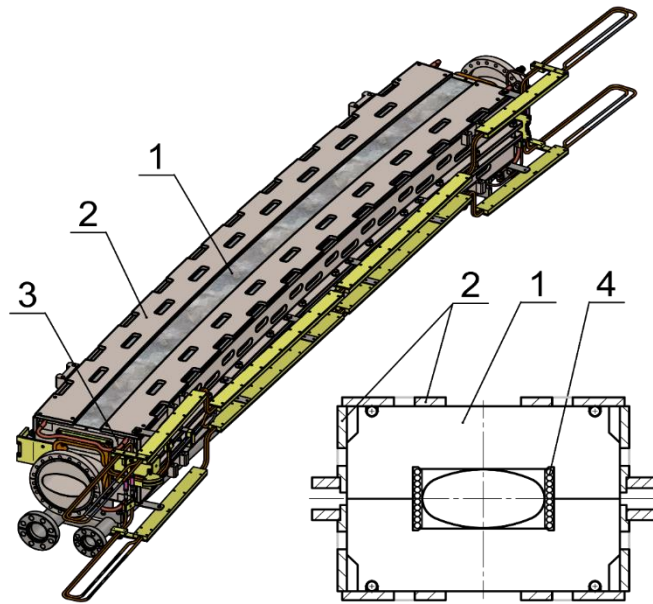
6. Измерение
гидравлического
сопротивления

7. Поиск
«холодной»
течи

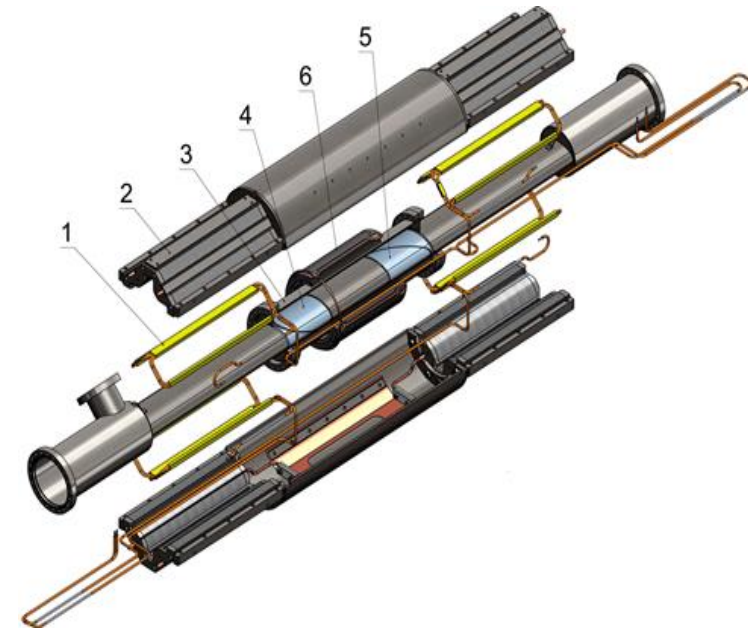
8. Отепление
СП магнита



Основные СП магниты бустерного синхротрона



Дипольный магнит: 1 – ярмо из пластин трансформаторной стали марки М530-65А; 2, 3 – нержавеющий каркас СП магнита; 4 – СП обмотка.

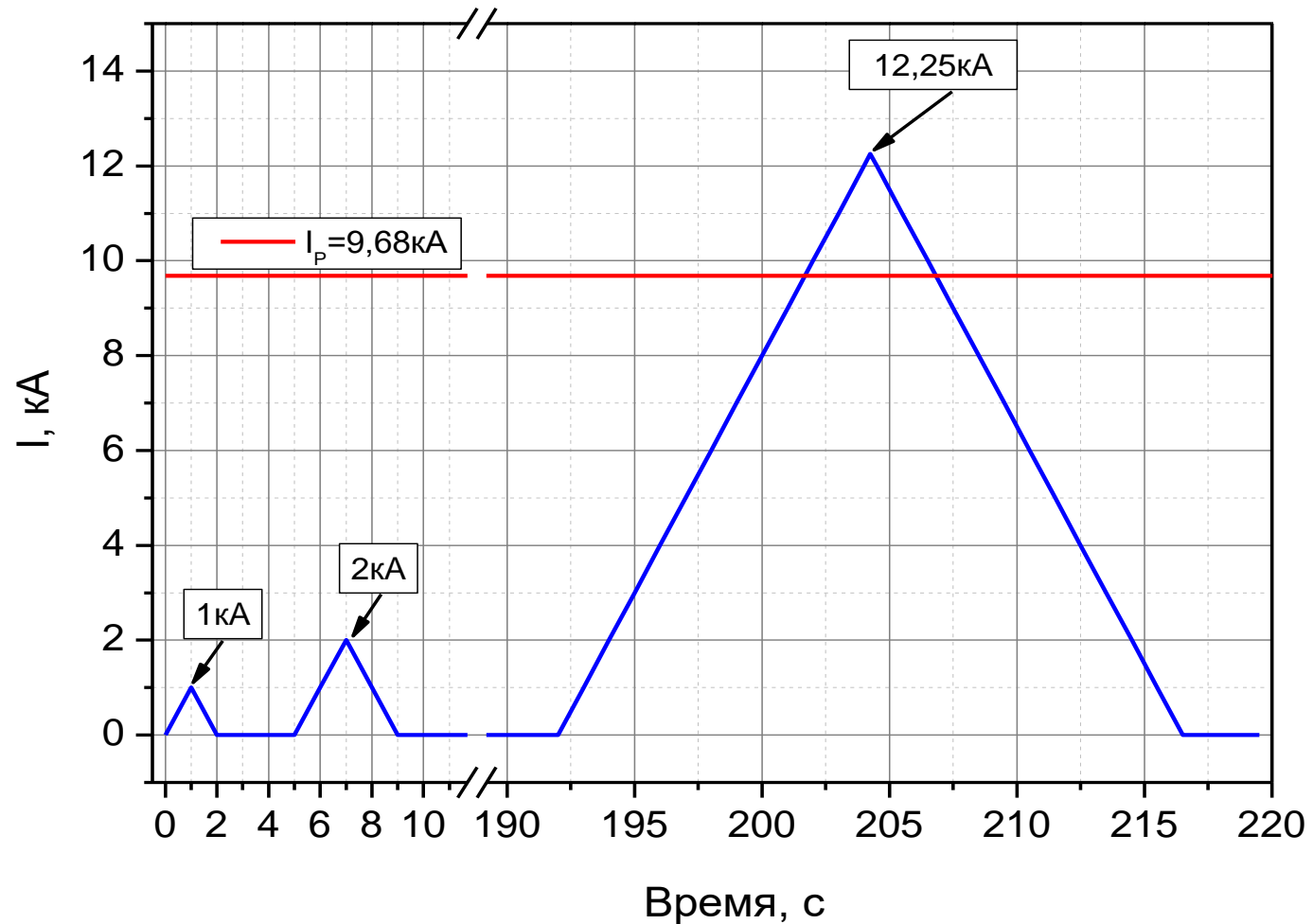


Дублет квадрупольных линз: 1 – часть СП обмотки, 2 – половина ярма, 3 – высоковакуумная камера (ВВК), 4, 5 – сильфонные компенсаторы ВВК, 6 – дипольный корректирующий магнит.



Тренировка. СП магниты бустерного синхротрона

Цикл для тренировки СП магнитов Бустера

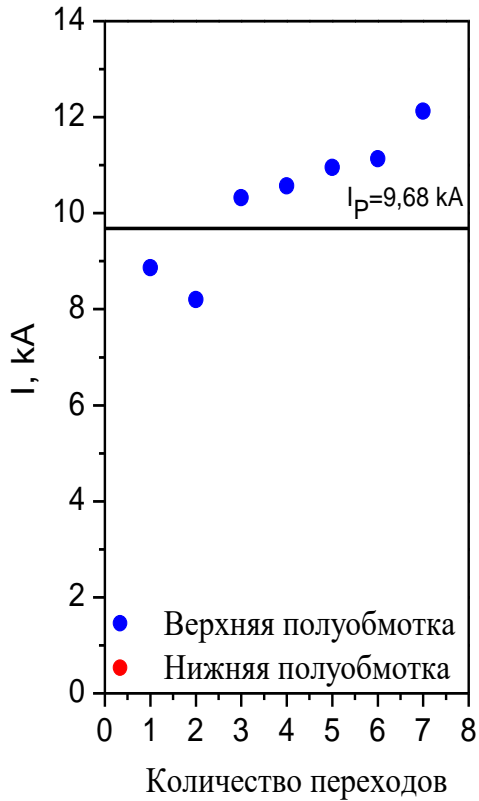




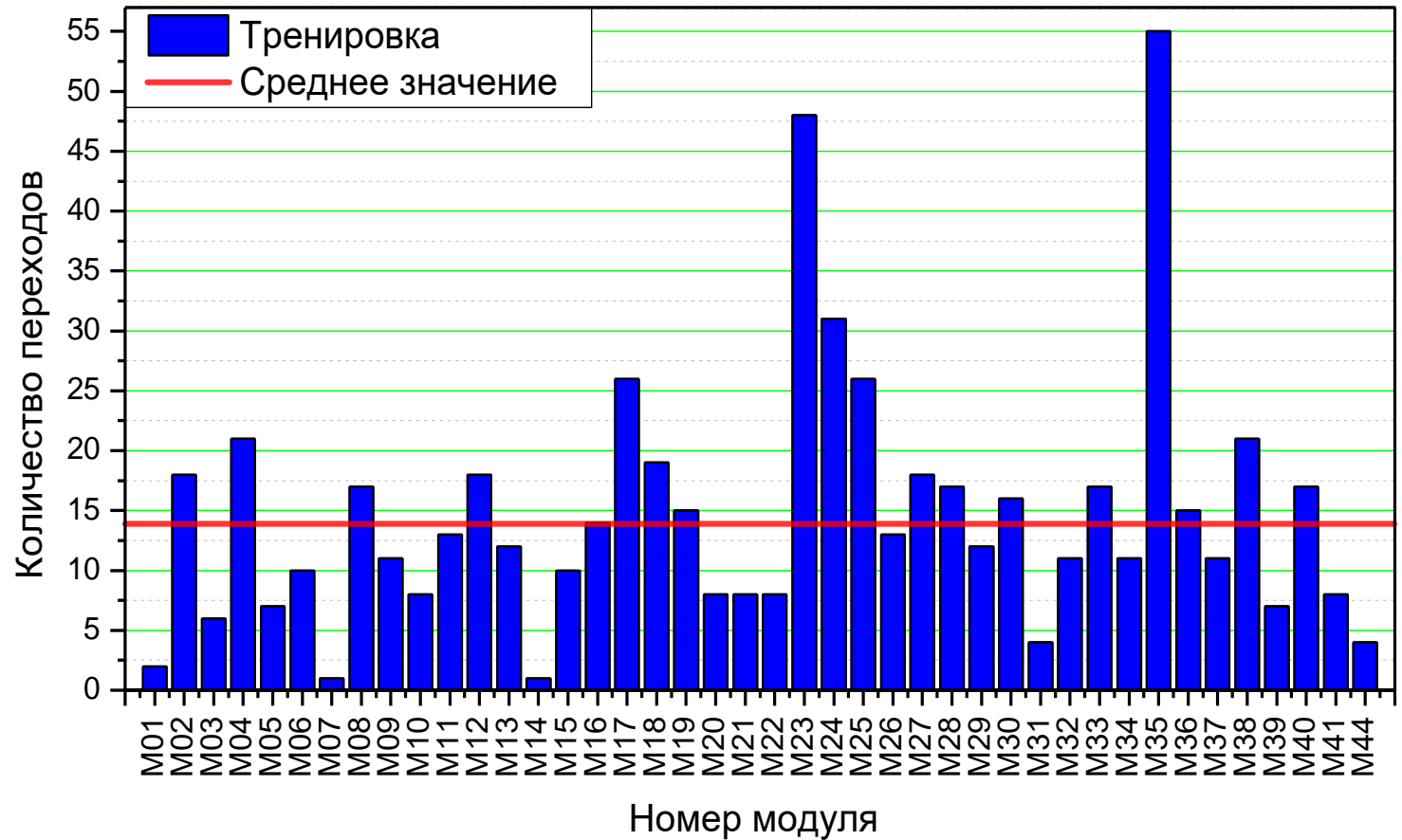
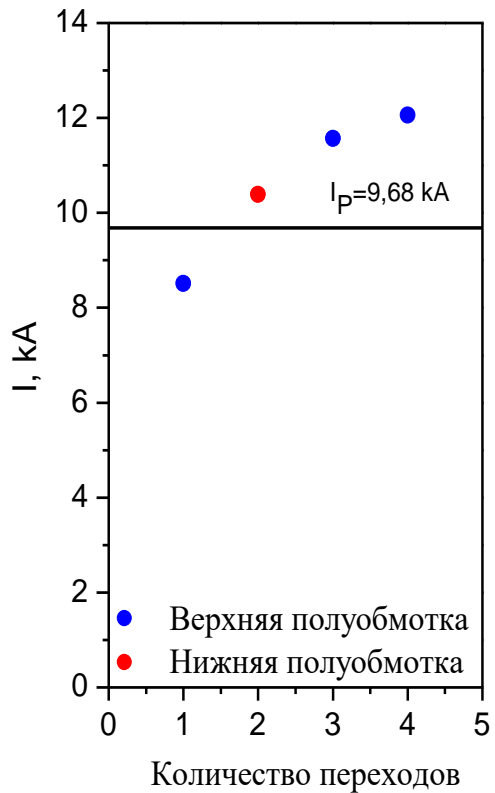
СП дипольный магнит бустерного синхротрона

Тренировка дипольных магнитов Бустера

M39



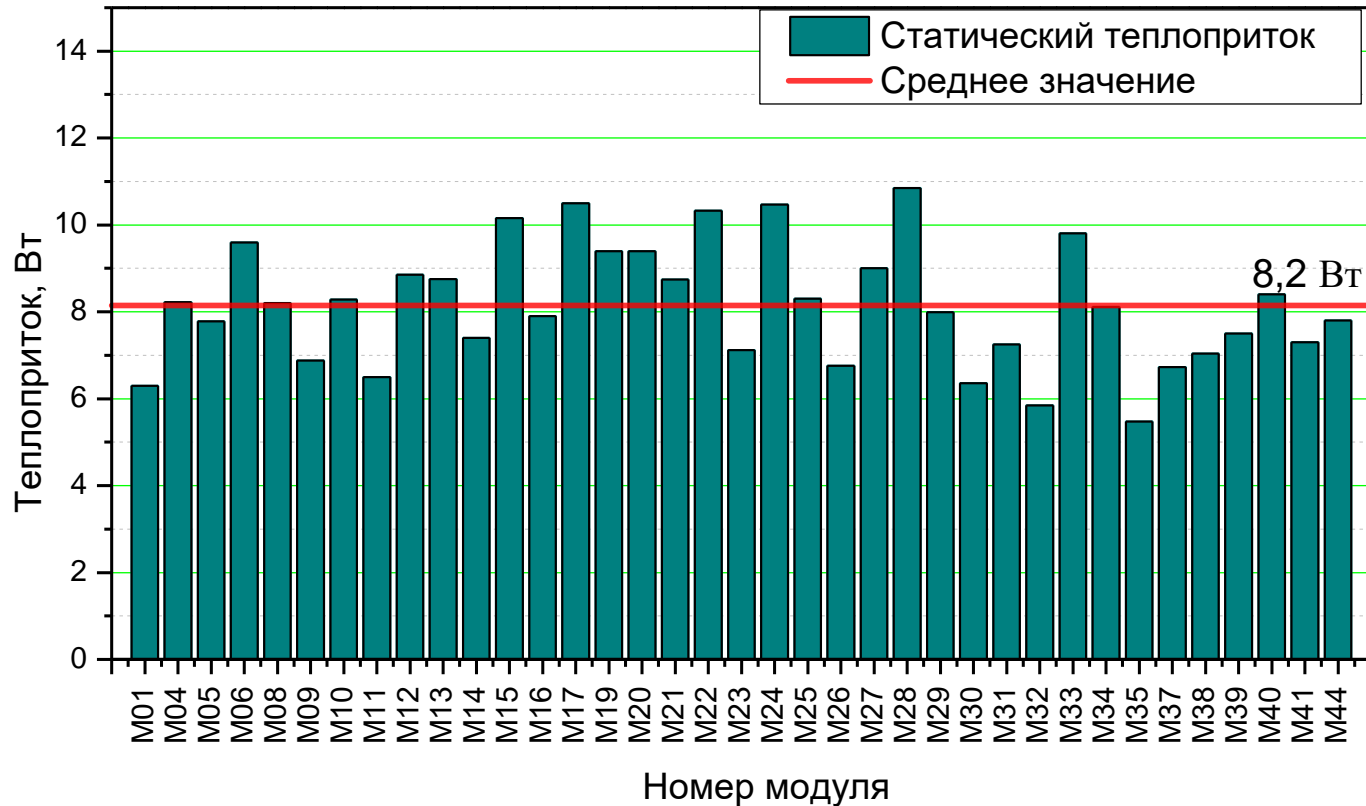
M31



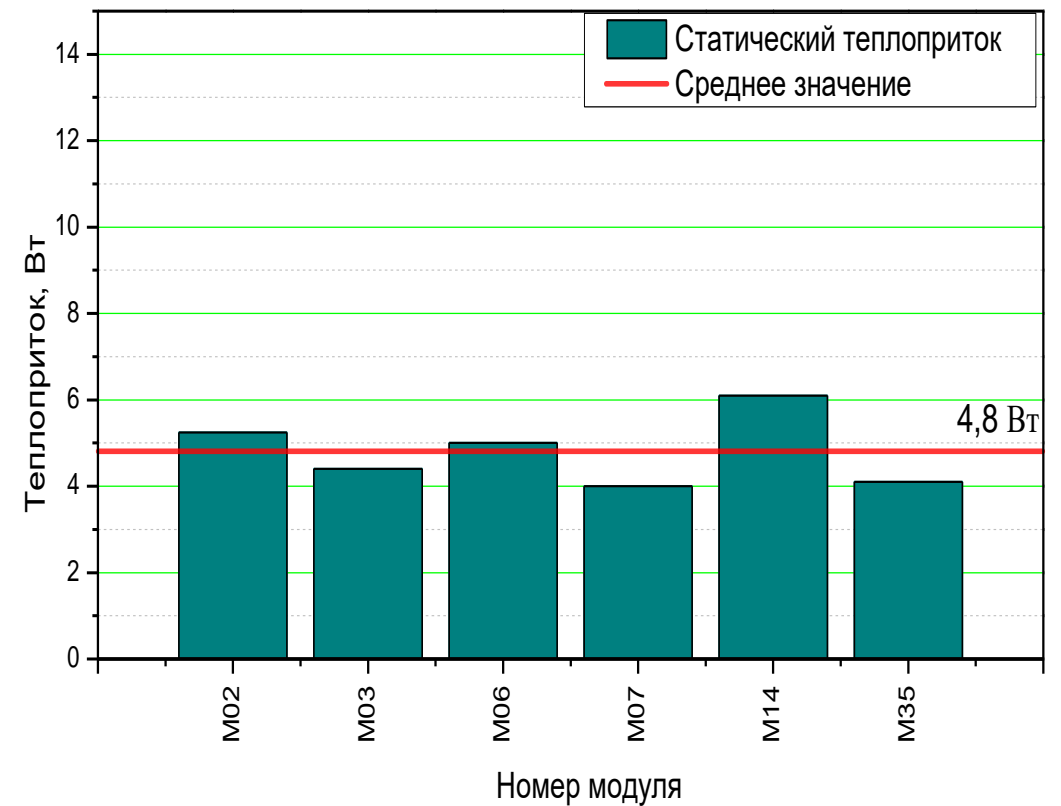


Статический теплоприток

Статический теплоприток дипольных магнитов Бустера
(с магнитометром)

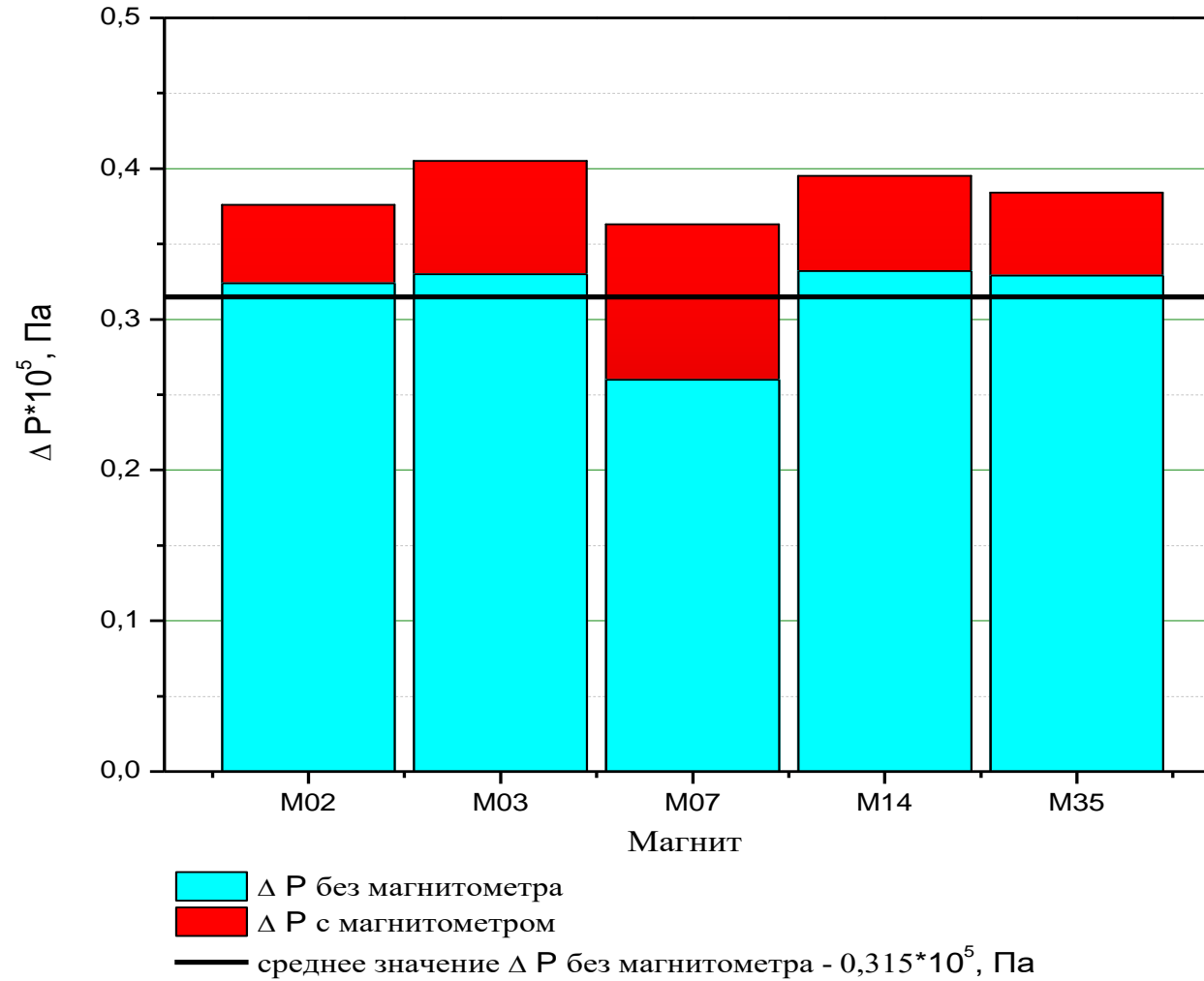


Статический теплоприток дипольных магнитов Бустера
(без магнитометра)





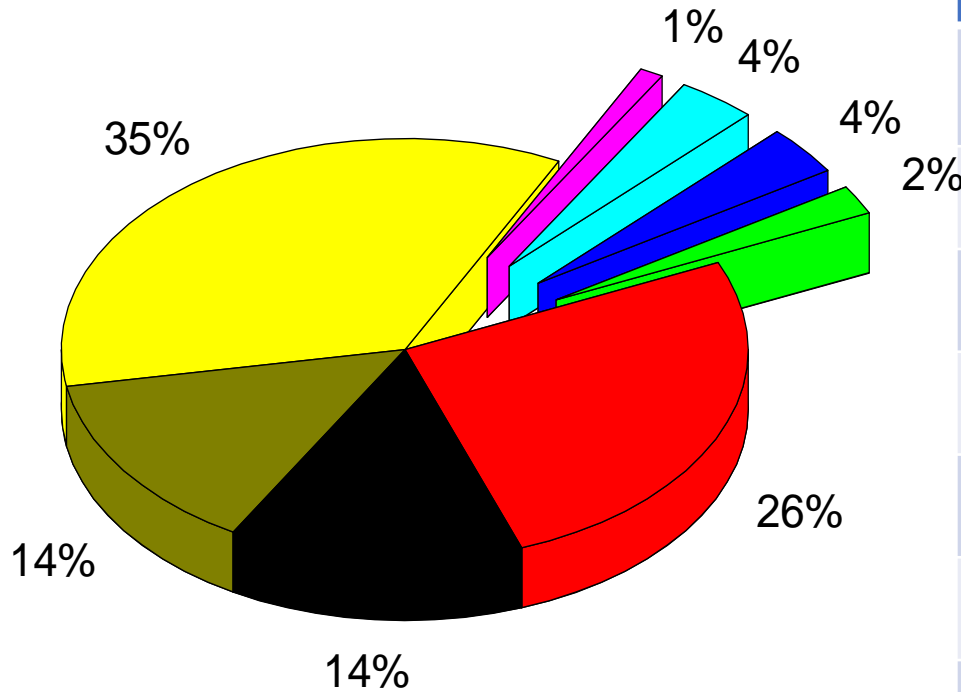
Изменение ΔP от наличия магнитометра в СП магните





Распределение этапов криогенных испытаний по времени

Дипольный магнит



Общее время - 133,5 часов.

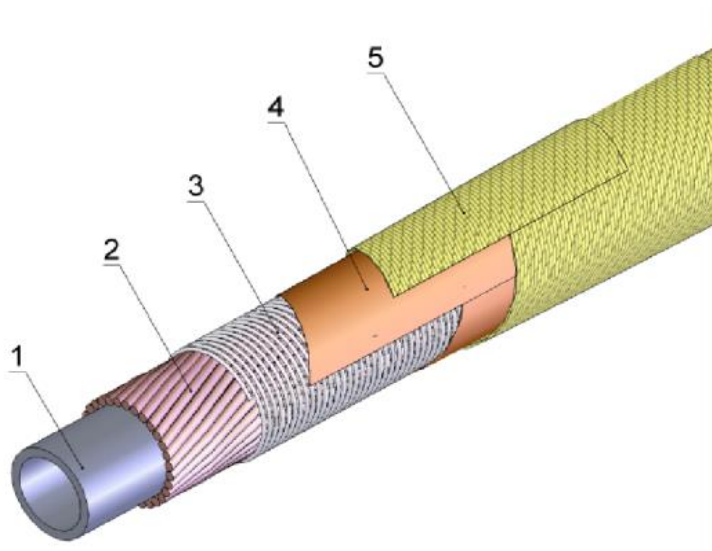
Этапы криогенных испытаний	Среднее время выполнения этапа	
1. Сборка СП магнита на испытательном плече	18,5 часов	14 %
2. Охлаждение СП магнита	35 часов	26 %
3. Тренировка	3 часа	2 %
4. Магнитные измерения	5 часов	4 %
5. Измерение тепловых нагрузок	5 часов	4 %
6. Поиск «холодной» течи	1,5 часа	1 %
7. Отепление	45 часов	35 %
8. Разбор СП магнита на испытательном плече	18,5 часов	14 %





Катушка для прототипа

- 1) Выполнение теплового и гидравлического расчета – 2 недели
- 2) Заказ сверхпроводника и мельхиоровой трубки – 9 месяцев (после написания и утверждения ТЗ)
- 3) Выполнение конструкторской документации – 3 месяца
- 4) Изготовление приспособы для запекания СП обмотки – 7 месяцев (после заключения договора)
- 5) Заказ стеклотекстолитовых ложементов – 3 месяца
- 6) Изготовление СП обмотки – 1 месяц



Слева: конструкция СП кабеля для бустерного синхротрона: 1 – мельхиоровая трубка, 2 - NbTi сверхпроводнике, 3 - NiCr проволока, 4 –каптоновая лента, 5 – стекловолкнистая лента, пропитанная эпоксидной смолой; Справа: кондуктор для запекания СП обмотки дипольного магнита бустерного синхротрона.



Проведение криогенных испытаний прототипа

Разработка кд и заказ связующего оборудования и изделий для соединения испытательного криостата и прототип.

Вакуумные кожухи

Тепловые экраны

Соединение для жидких гелия и азота и тока

Технологические схемы термометрии и потенциальной защиты

Разработка криогенной программы

Определение целей и задач криогенного исследования

Заказ и разработка недостающего измерительного оборудования

Определение точности измерений

Определение ответственных за направления

Криогенные системы

Производство и тесты элементов SPD



Примерная стоимость и сроки изготовления основного оборудования и материалов для производства прототипа

Наименование	Кол-во	Срок поставки	Примерная стоимость
Мельхиоровая трубка	4,0 км	2 месяца	12 000 €
Сверхпроводник	90 км	9 месяцев	300 000 €
Стеклотекстолитовые ложементы	-	3 месяца	20 000 €
Вакуумные кожухи	4	4 месяца	35 000 €
Тепловые экраны	4	4 месяца	20 000 €
Измерительное оборудование	-	6 месяцев	50 000 €
Доп. оборудование	-	-	30 000 €

Итого: 467 000 €



Криогенная система SPD

↓
Ответственный за криогенное обеспечение SPD

Определение
гелиевой
системы

концепции
криогенной

Разработка
внутренней
криогенной системы

Создание плана расположения
оборудования криогенных и
смежных систем

Криогенная система на
основе сателлитного
рефрижератора

Криогенная система на
основе рефрижератора

Создание азотной
криогенной системы



Примерная стоимость и сроки изготовления элементов основной обмотки SPD и криогенной системы

Наименование	Кол-во	Срок поставки	Примерная стоимость
Стеклотекстолитовые ложементы	-	5 месяца	40 000 €
Вакуумные кожухи	1	4 месяца	35 000 €
Тепловые экраны	1	4 месяца	20 000 €
Криогенная гелиевая система	1	18 месяцев	2 500 000 €
Криогенная азотная система	1	18 месяцев	1 000 000 €
Криостаты ввода	2	18 месяцев	200 000 €
Измерительное оборудование	-	6 месяцев	50 000 €
Сопутствующие системы	-	-	150 000 €

Спасибо за внимание!