



ВТСП соленоид на 5 Тл с апертурой 50 мм с повышенной устойчивостью для работы с криокулерным охлаждением

Дорофеев Г.Л., Дробин В.М., Лебедев П.А. ЛФВЭ, ОИЯИ, г. Дубна.

Цель: Разработка технологии изготовления охлаждаемой криокулером соленоидальной катушки из ВТСП ленты второго поколения для последующей подготовки рабочего проекта сверхпроводящей магнитной системы импульсного источника лёгких ионов и поляризованных протонов и дейтронов для нового линейного инжектора Нуклотрона LILAC.

Параметры модельной ВТСП катушки для криокулера:

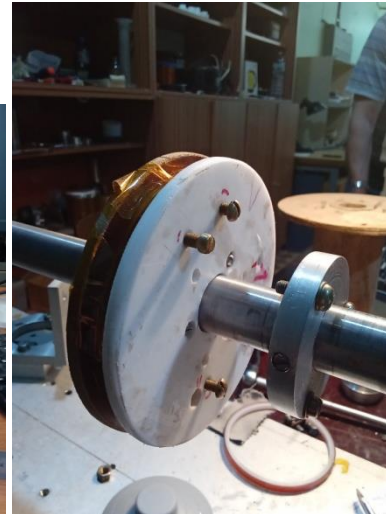
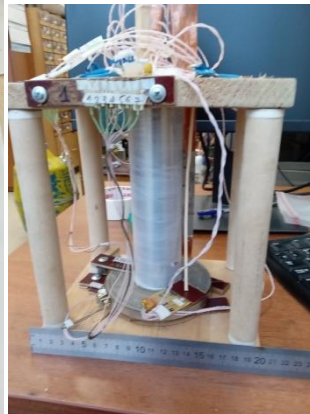
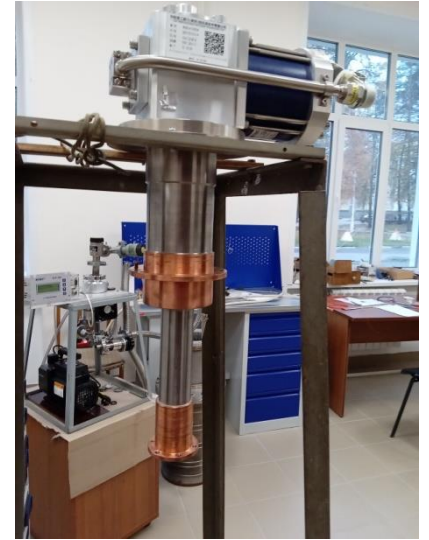
Магнитное поле в центре катушки	5Тл
Геометрические размеры:	
Внутренний диаметр	40 – 50 мм
Длина обмотки	100 – 120 мм
ВТСП лента с медным покрытием, ширина	4 мм
Охлаждение катушки	криокулерное
Температура охлаждённой катушки	8 – 20 К



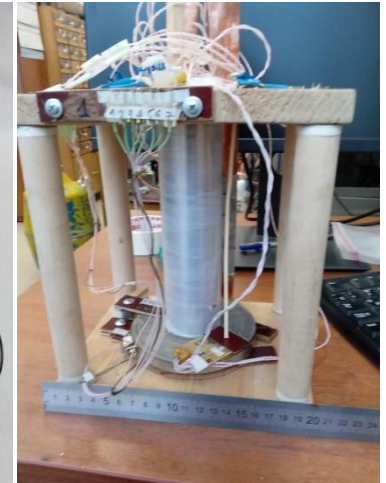
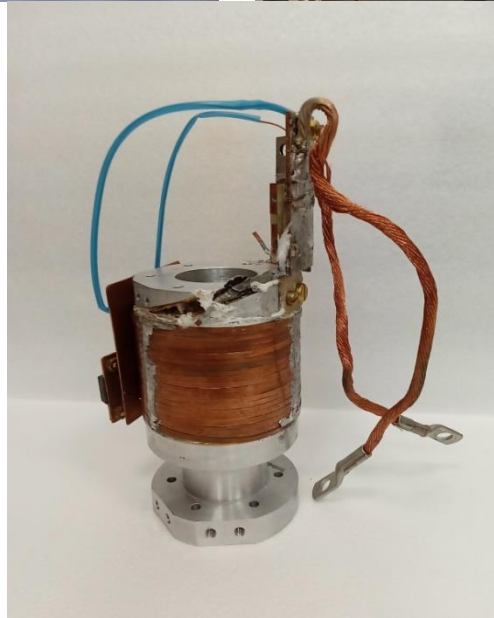
Программа работ включала следующие основные моменты:

1. Разработка, изготовление, сборка и наладка технологического оборудования, испытательных стендов и методик.
2. Аттестация б/у и новой ВТСП ленты при температуре жидкого азота.
3. Отработка низкоомных токовых контактов ВТСП лент.
4. Отработка межслойных переходов крайних витков послойной намотки ленты.
5. Выбор конструкции катушки из 2G ВТСП ленты: послойная соленоидальная намотка или двойная дисковая сборка .
6. Решение вопросов защиты катушки от электромагнитных, механических и тепловых нестабильностей.
7. Намотка и испытания соленоидов различных конструкций в разных тепловых условиях.

Оборудование и методики



Послойная намотка и двойные диски



СОЛЕНОИД «Лебедь 2»

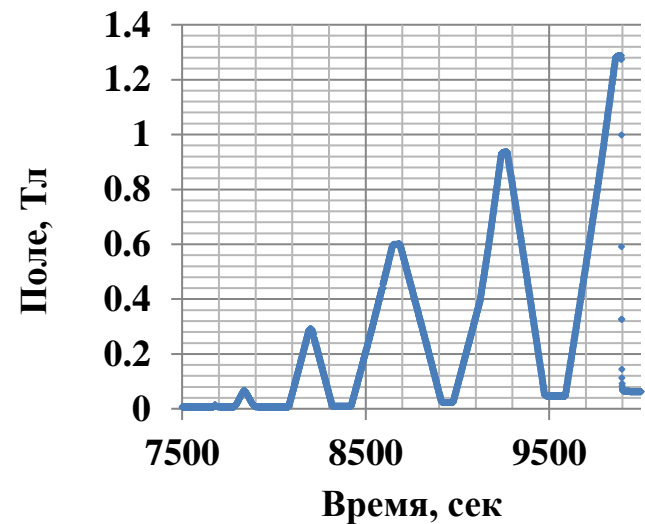
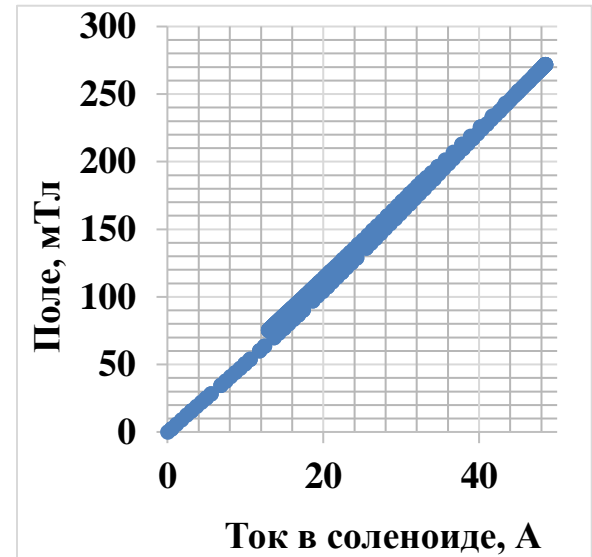


Диаметр обмотки внутр, мм 50
Диаметр обмотки наруж, мм 78
Длина обмотки, мм 60
Витков в слое 11
Слоёв 46

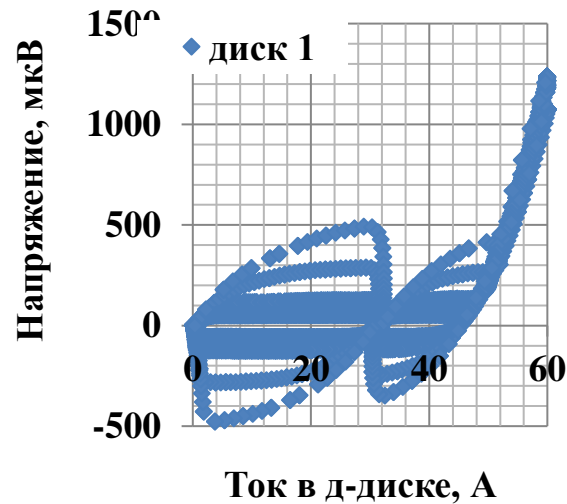
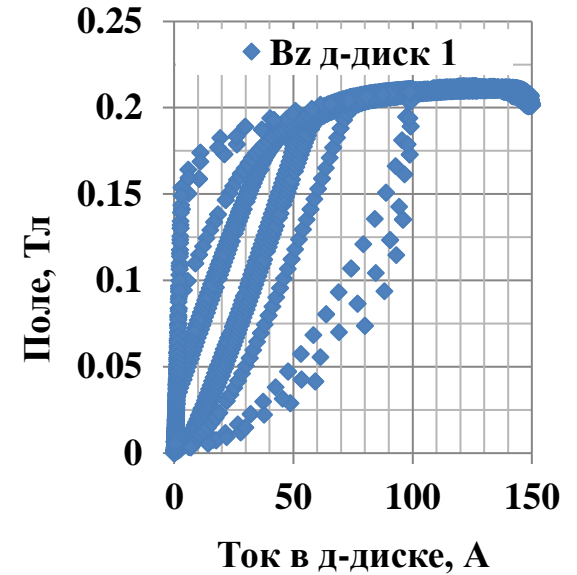
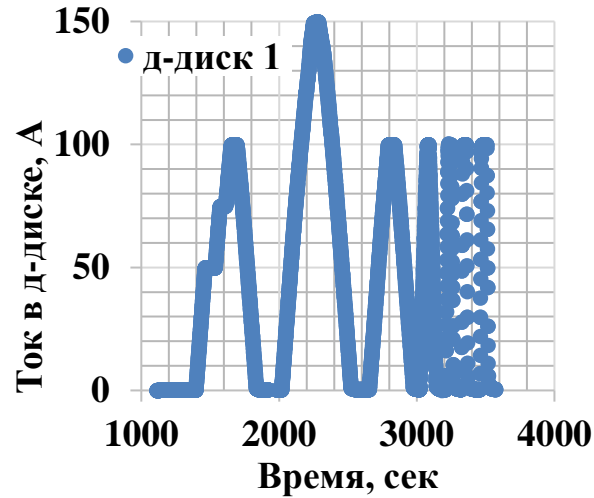
В Азоте

Поле $B_{\max}(0,0)$ 0,27 Тл
Крит ток 48 А

В парах гелия
при 36 - 37 К
 $B_{\max}(0,0) = 1,23$ Тл
при токе 200 А



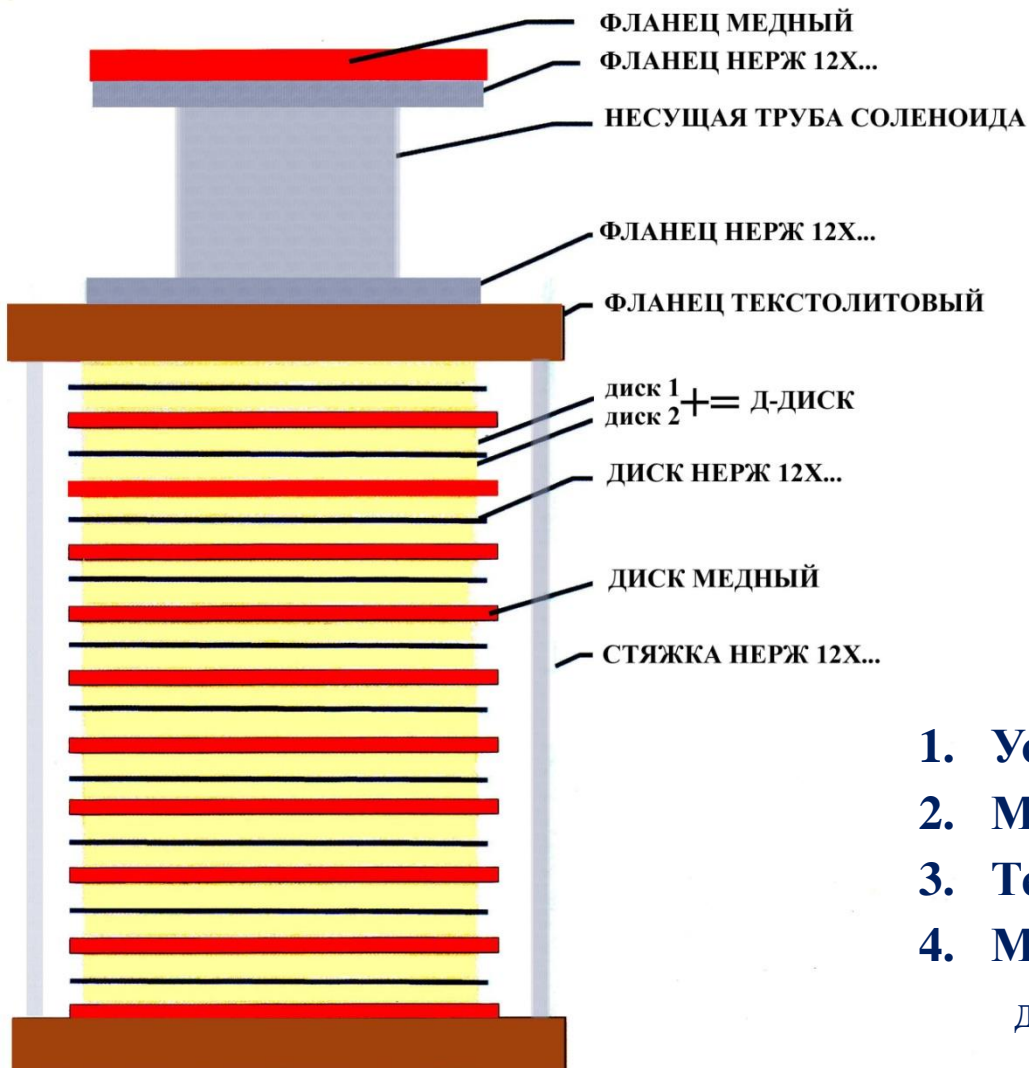
Двойной диск



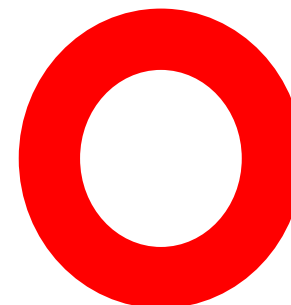
Поле B_z на оси д-диска и напряжение на диске для скоростей ввода/вывода тока 1, 3, 10, 15 и 20 А/сек

Конструкция соленоида

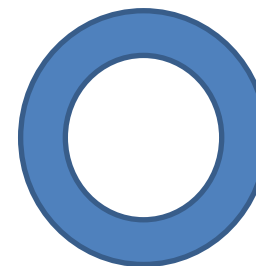
ДД-СОЛЕНОИД В СБОРЕ БЕЗ ТОКОВВОДОВ



Д-ДИСК



диск медный

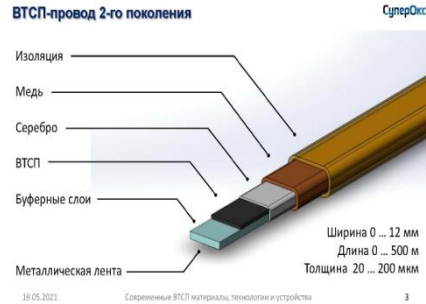
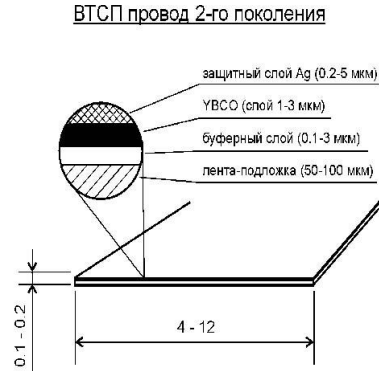


диск нерж 12Х...

ОСОБЕННОСТИ:

1. Устойчивость к токовым перегрузкам
2. Механическая стабильность
3. Тепловая стабильность
4. Масштабируемость: возможность любой длины и диаметра соленоида.

исходная ВТСП лента



04-20Ag-20Cu-40H

ВТСП-проводник 2-го поколения для применения в магнитном поле стабилизированный медью

Подложка

Ширина.....

Серебряное покрытие (ВТСП).....

Серебряное покрытие (подложка).....

Медное покрытие.....

Толщина.....

Критический ток, мин. (77 К, с. п.).....

Hastelloy C276

38 ± 3 мкм

4 мм

2 ± 0,5 мкм

1 ± 0,5 мкм

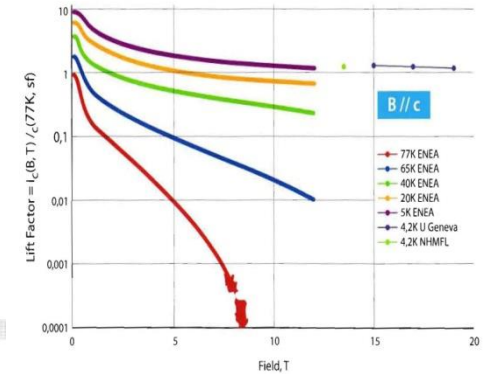
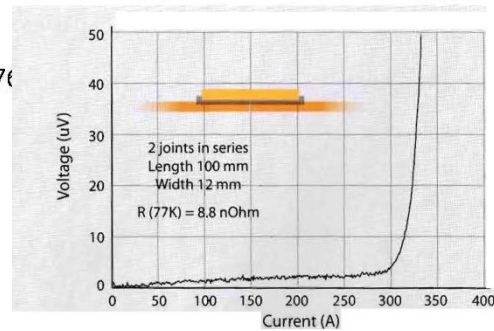
20 ± 4 мкм

на сторону

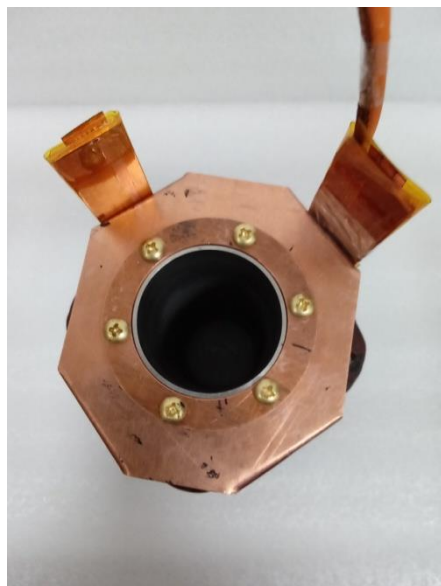
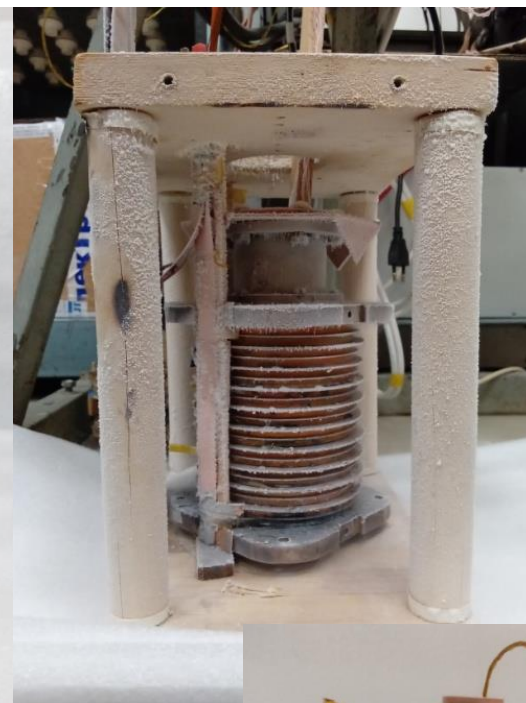
85 ± 12 мкм

≥ 120 А

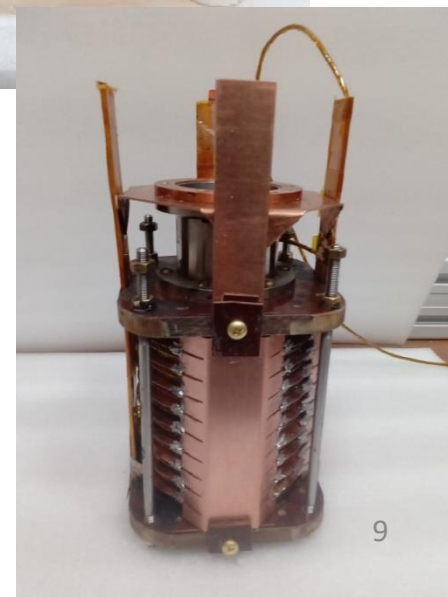
LOW RESISTANCE JOINTS



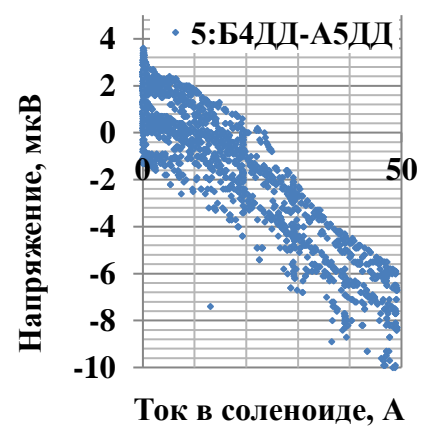
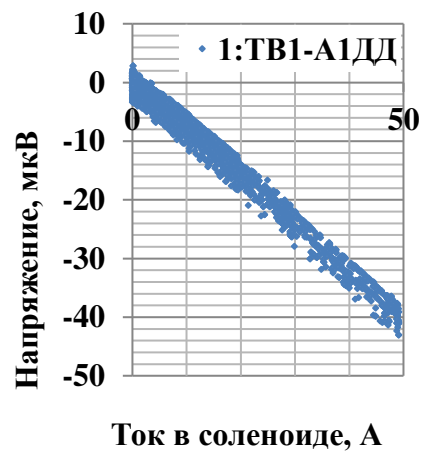
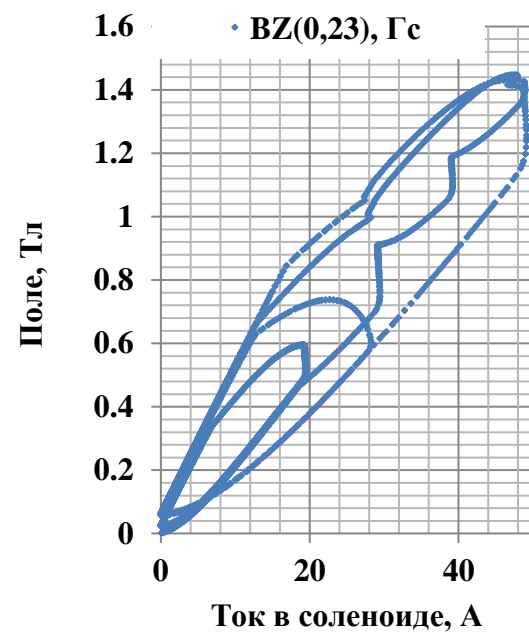
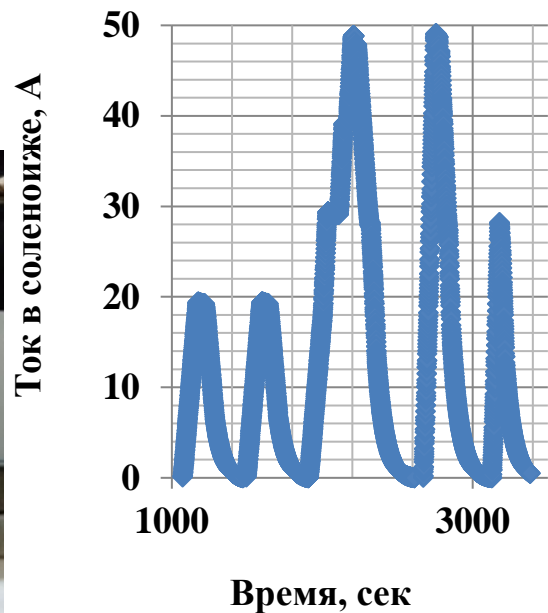
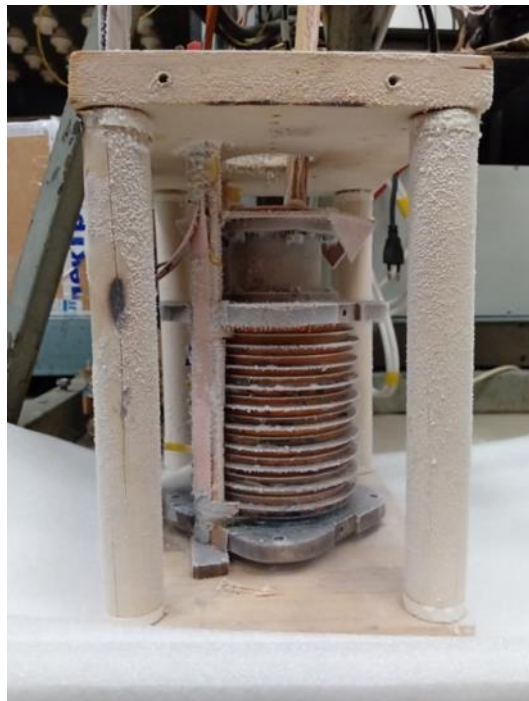
Соленоид 10 двойных дисков



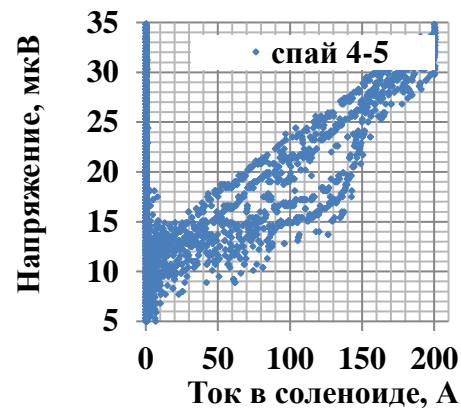
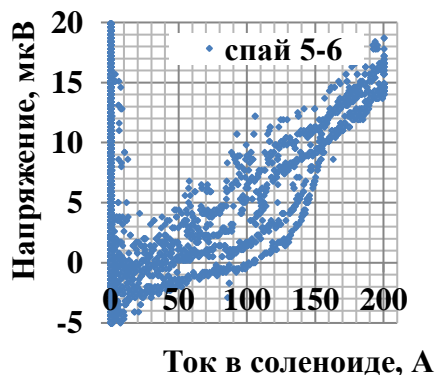
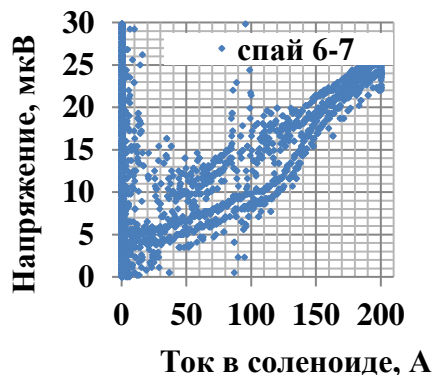
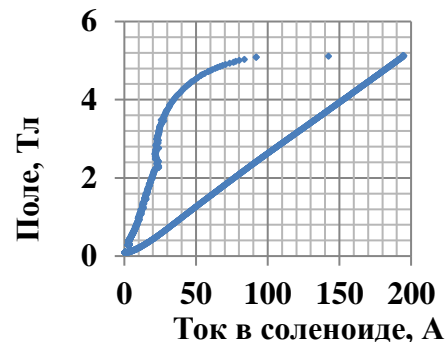
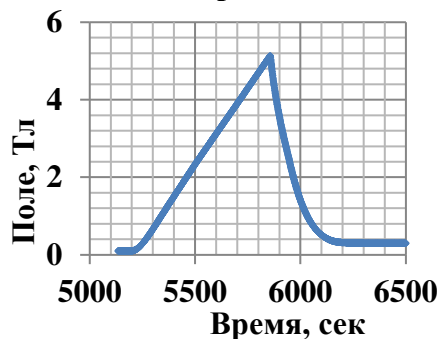
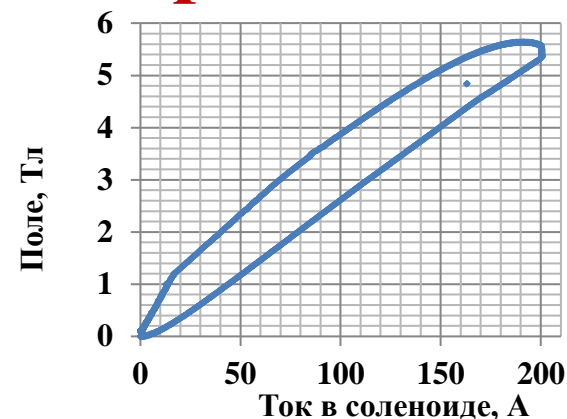
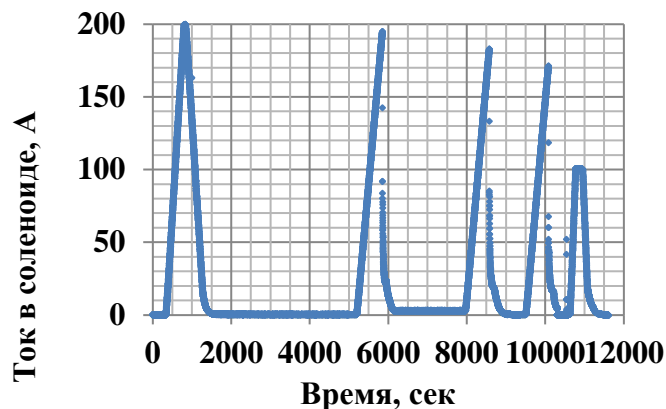
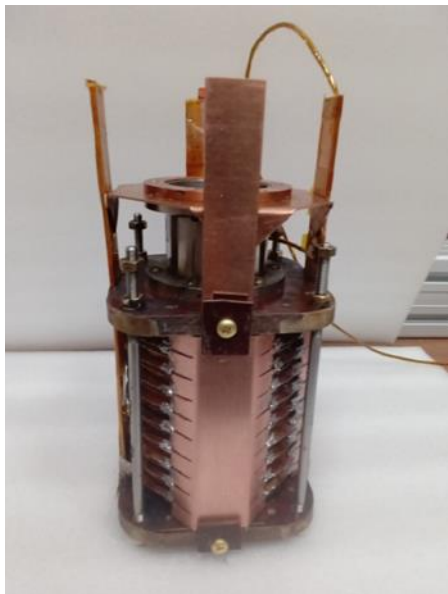
Диаметр обмотки внутр, мм	50
Диаметр обмотки наруж, мм	80
Длина обмотки, мм	100
Двойных дисков	10
Витков в д-диске	260



Соленоид 10 двойных дисков **в азоте**



Соленоид 10 двойных дисков в парах гелия





ВЫВОДЫ

- 1. Изготовлена модельная ВТСП катушка для криокулера, полностью удовлетворяющая техническому заданию.
Достигнуто магнитное поле в центре катушки 5Тл при внутреннем диаметре 50 мм, длине катушки 100 мм и температур 15К.**
- 2. Потери энергии на постоянном токе при поле 5Тл в стационарных условиях не превышают 1мВт на 1см длины обмотки соленоида.**
- 3. Отсутствие электрической изоляции между слоями ВТСП ленты обеспечивает повышенную устойчивость соленоида к токовым перегрузкам.**
- 4. Наличие разгрузочных и теплопроводящих дисков повышает механическую и тепловую стабильность.**
- 5. Разработана технология изготовления дисковых ВТСП соленоидов. Разработан изготовлен и запущен в эксплуатацию пилотный набор соответствующего технологического оборудования (технологический участок).**
- 6. Развитая технология допускает масштабирование: изготовление соленоидов любой длины и апертуры. В частности, соленоид на 20Тл, изготовленный из современного ВТСП-материала по разработанной технологии, может иметь толщину обмотки меньше 40 мм.**

СПАСИБО
за
ВНИМАНИЕ