

SPD solenoid

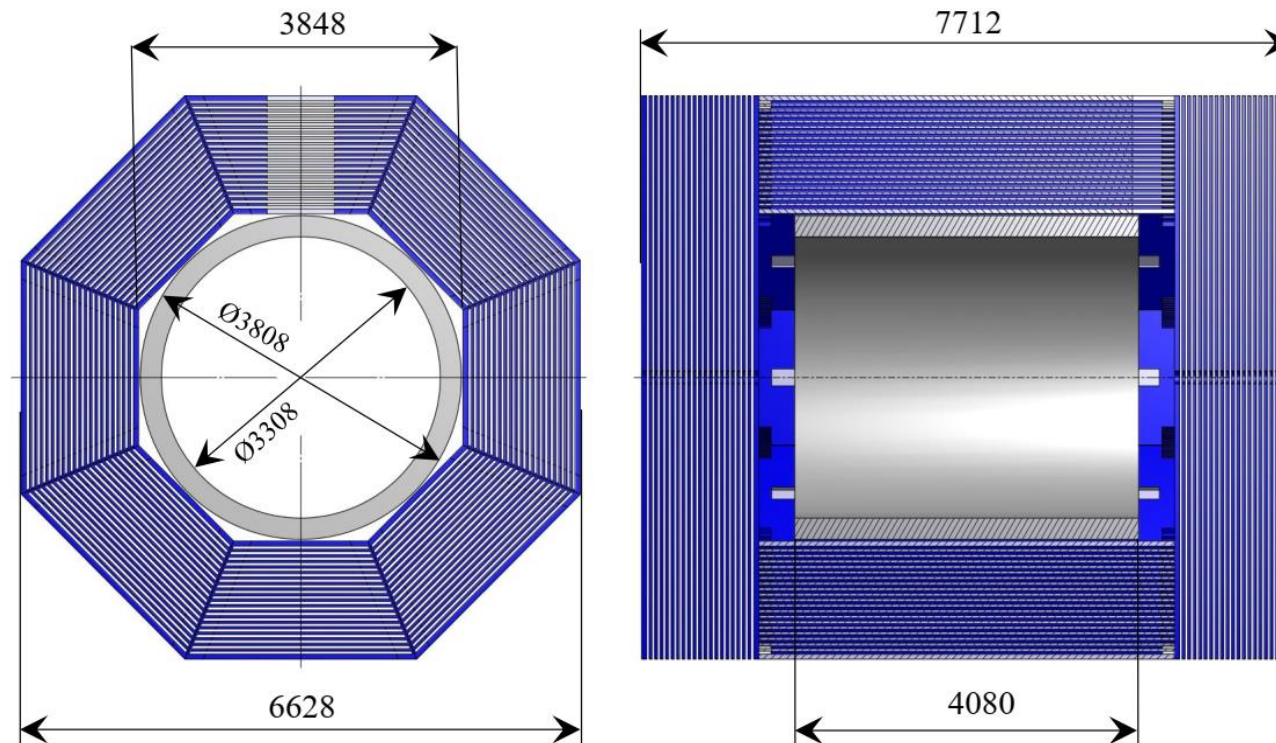


E.Pyata, S.Pivovarov, M.Kholopov, E.Antokhin BINP, Novosibirsk

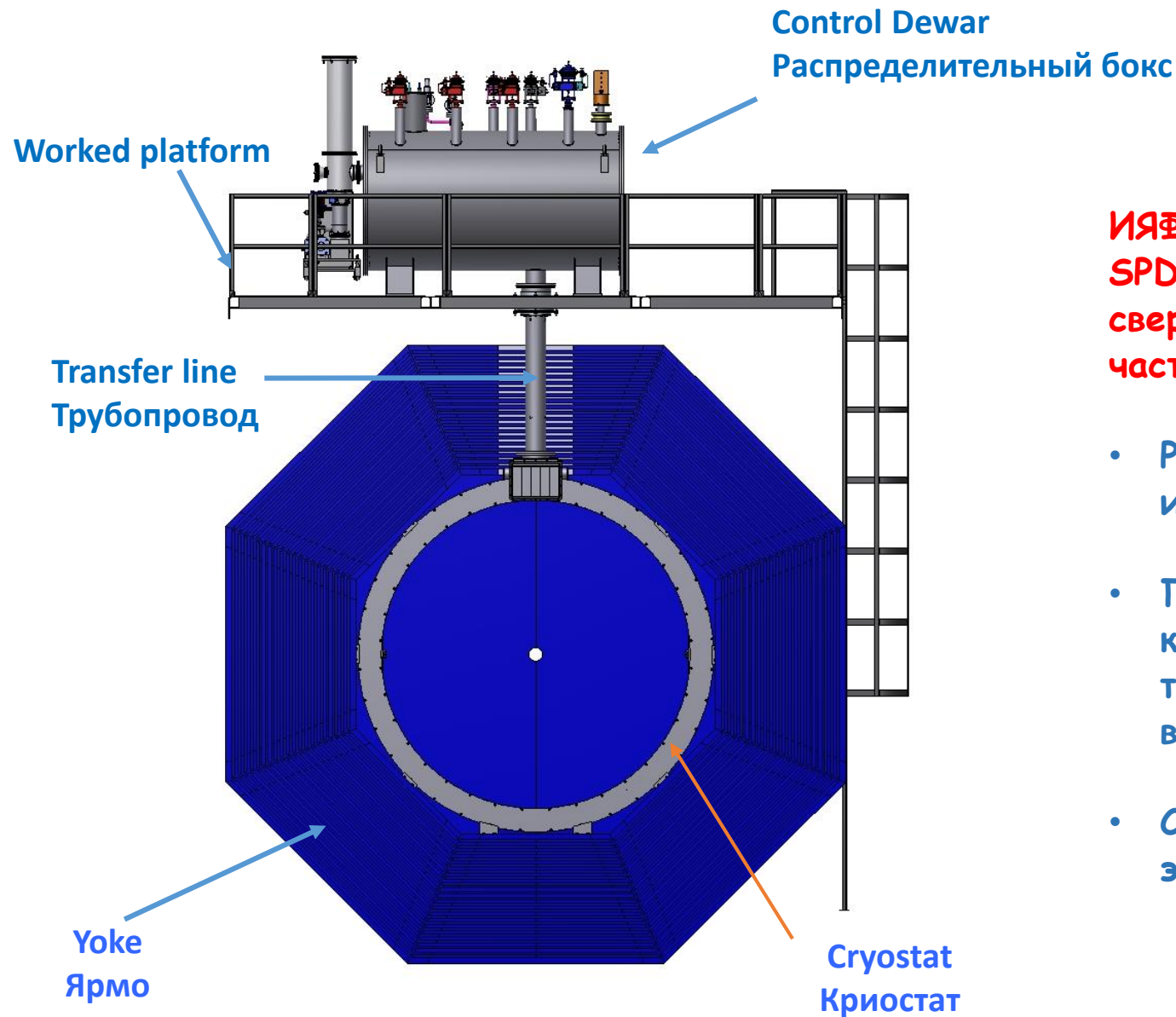
SPD solenoid

Основные характеристики магнита:

- Магнитное поле вдоль оси должно быть от 1,0Т с однородностью $\pm 2\%$;
- Внешний диаметр криостата - 3808 мм;
- Диаметр внутреннего отверстия для систем детектора - 3308 мм;
- Тип проводника - 8-ми жильный (NbTi/Cu) кабель Резерфордского типа, экструдированный в матрицу из сверхчистого алюминия;
- Количество катушек - 3 шт.;
- Криогенная система 4,5К - косвенное охлаждение, термосифонный метод.



SPD solenoid



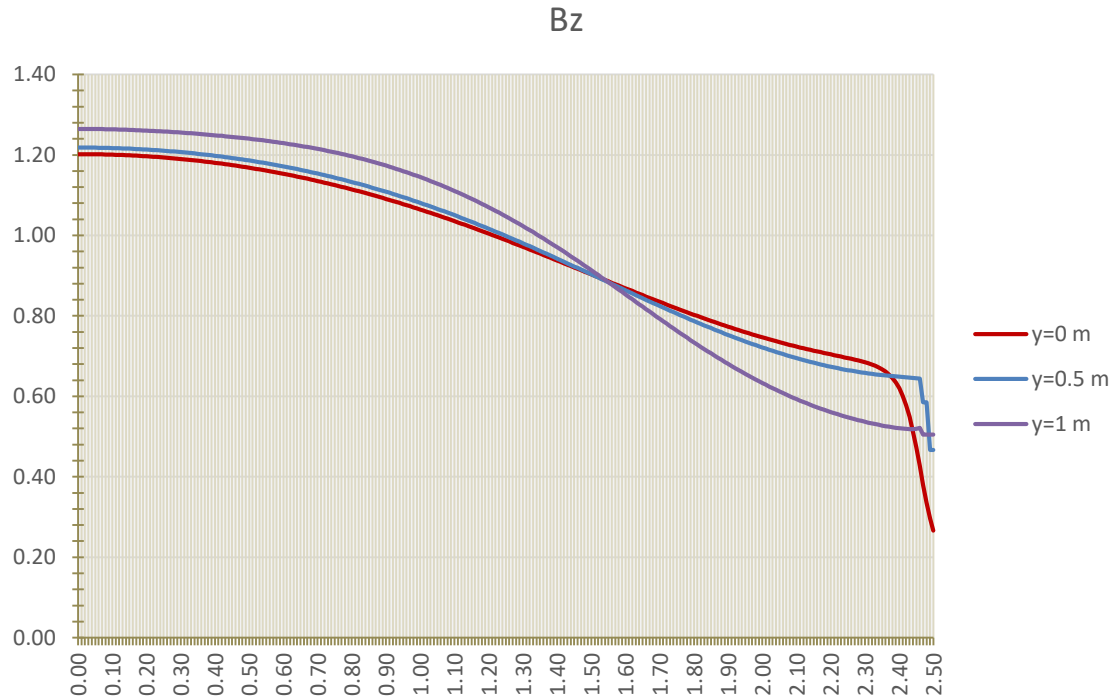
ИЯФ СО РАН предполагает свое участие в проекте SPD по разработке, изготовлению и поставке сверхпроводящего соленоида, включая следующие части:

- Разработка магнита, включая специальный инструмент и опоры, расчеты магнитного поля;
- Производство и поставка магнита (криостат с катушками и тепловыми экранами; трубопроводы; распределительный бокс; система выставки магнита; опоры и подставки);
- Система питания магнита и вывода запасенной энергии.

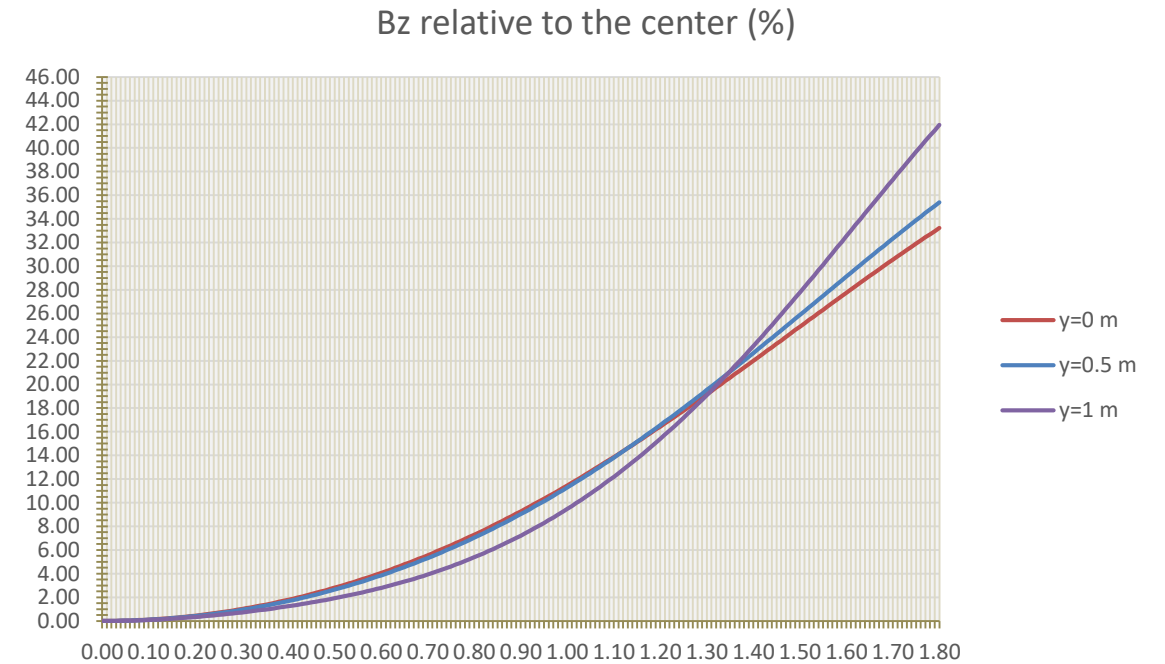
SPD magnet analysis

Катушки соленоида соединены последовательно, ток - 5200 А.

Вычисления были сделаны 3D программой MASTAC группой Евгения Антохина (ИЯФ СО РАН).



Распределение Bz в сечении YZ при $x = 0$ и токе 5200 А.



Однородность Bz в сечении YZ при $x = 0$ и токе 5200 А.

SPD solenoid. Superconductor.

Для выполнения этой задачи планируется использование сверхпроводящего проводника, изготовленного методом со-экструзии кабеля Резерфордского типа в стабилизирующую матрицу из сверхчистого алюминия, что обеспечивает высокий уровень стабилизации сверхпроводящего состояния и высокую среднюю теплопроводность обмотки.

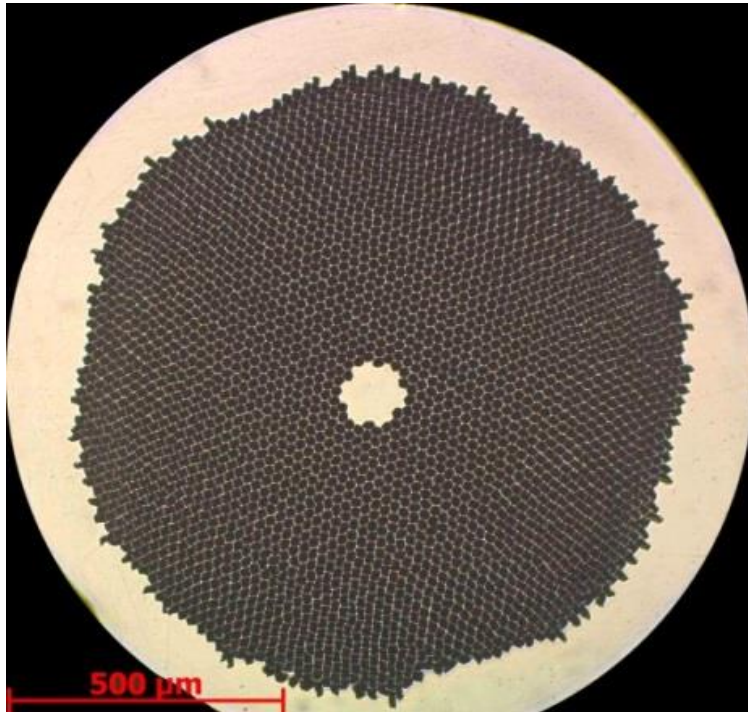
Подобный тип проводника использовался при разработке большинства действующих сверхпроводящих соленоидов детекторов и ускорительных структур, таких, как DELPHI, CLEO, SDC, Zeus, BaBar, ELLE, ATLAS CS, ATLAS ECTs, ATLAS BT, CMS, и Mu2e. Эти магнитные системы показали высокую надёжность при их эксплуатации. На таких же принципах ИЯФ СО РАН был разработан проводник для сверхпроводящего соленоида детектора PANDA и разрабатывается соленоид детектора Супер с-тау коллайдера.

Размеры сечения проводника при температуре 4,5К составляют 10,90 мм в ширину и 7,90 мм в высоту. Кабель Резерфордского типа состоит из 8 жил с диаметром 1,4мм и соотношением Cu/ NbTi – равным единице.

Conductor.

Производство стрендов планируется в РФ по технологии, разработанной ВНИИИМ "А.А. Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials" (JSC "VNIINM").

Первые 12 километров стренда были изготовлены и испытаны. Protocol measurements 01-400/423 from 29.09.2021/18.10.2021



Strand cross section

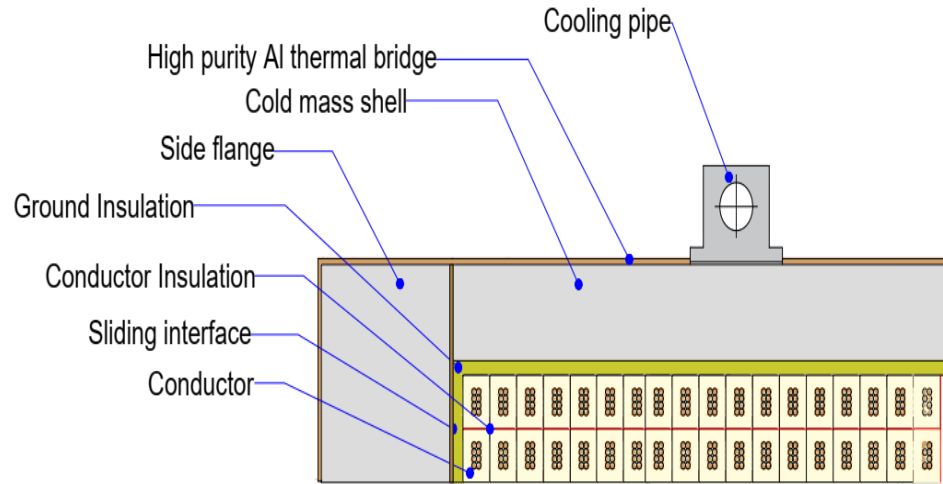
Parameter	Unit	Certified		1-C2-1P-1-21/1 > 1400 m	1-C2-1P-1-21/2-1-1-2 > 200 m
		Value	Tolerance		
Diameter filament	μm	< 20	-		
Diameter strand	mm	1.400	± 0.005		
Cu/SC ratio	-	.50/.50	± 0.05	/0.5187	/0.5132
Surface coating	-	none	-	none	none
NbTi J_c (at 4.2 K, 5 T)	A/mm ²	> 2800	-		
Critical current (at 4.2 K, 5 T)	A	> 2160	-	2220	2175
n-value (at 4.2 K, 5 T)	-	> 30	-	71*	70*
Conductor RRR	-	> 100	-	196	191
Twist direction	-	left	-	left	left
Twist pitch	mm	25	± 5	22	21

*Magnetic field value is 6 T

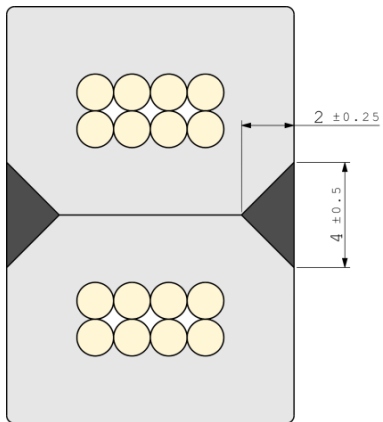
Table 1 NbTi/Cu strand mechanical and electrical specifications.

Проводник

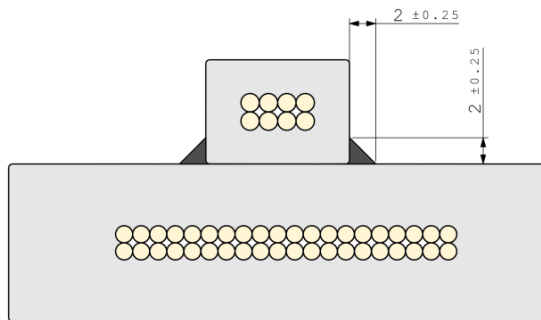
Rutherford cable, 8 strands, extruded in Al matrix



Cold mass cross-section.

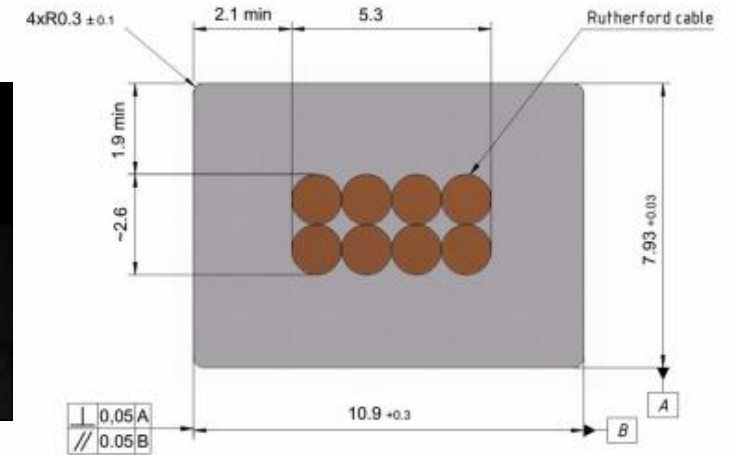


Layer-to-layer and coil-to-coil (left) and terminal (right) joint layouts.



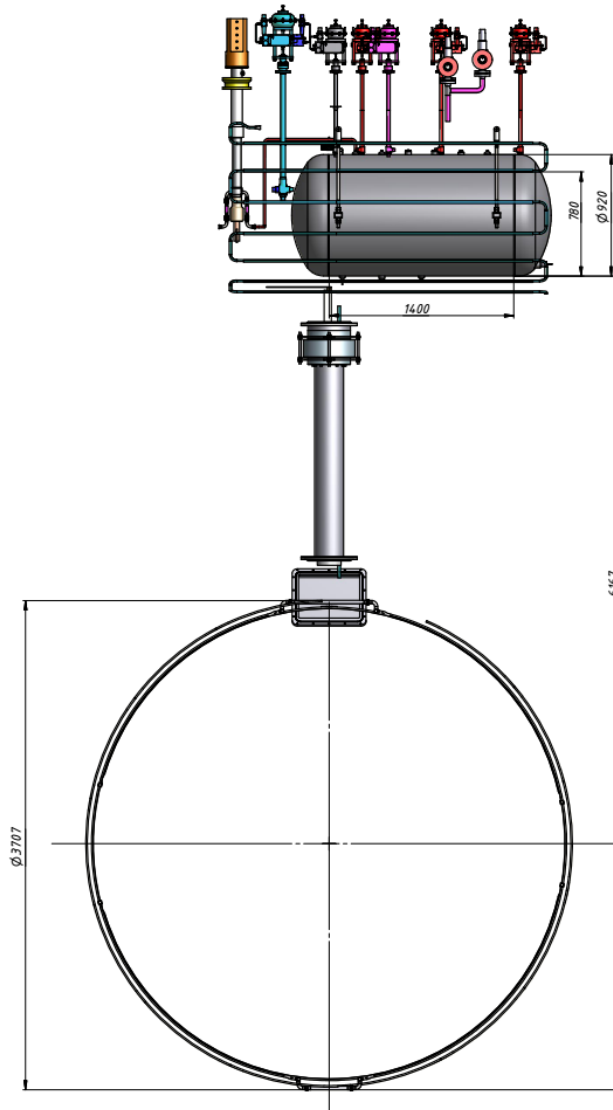
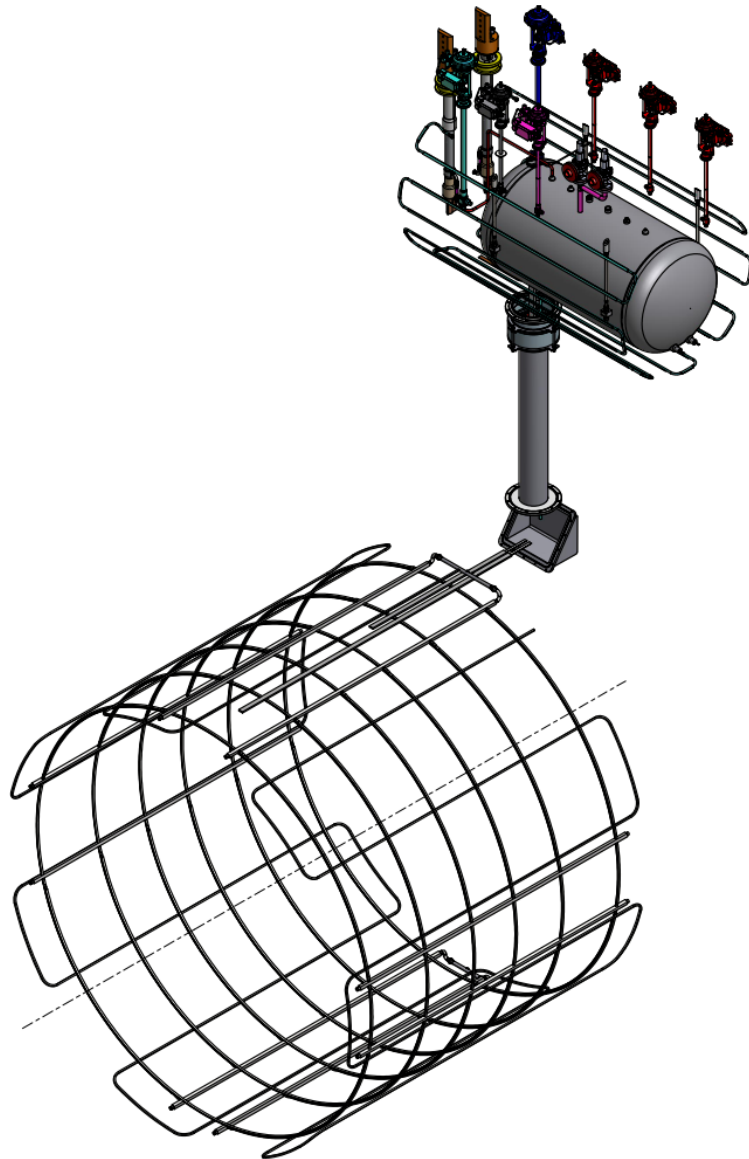
Conductor mechanical and electrical parameters.

Thickness (after cold work) at 300 K	mm	7.93	± 0.03
Width (after cold work) at 300 K	mm	10.95	± 0.03
Critical current (at 4.2 K, 5 T)	A	> 14690	
Critical current (at 4.5 K, 3 T)	A	> 16750	
Overall Al/Cu/sc ratio		10.5/1.0/1.0	
Aluminum RRR (at 4.2 K, 0 T)		> 600	
Al 0.2% yield strength at 300 K	MPa	> 30	



Cross-section of the conductor.

SPD solenoid. Cold mass cooling design.



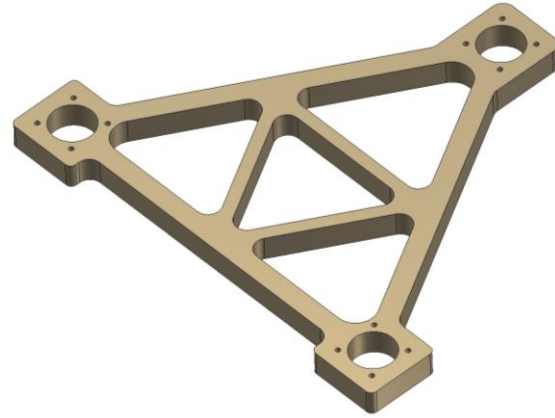
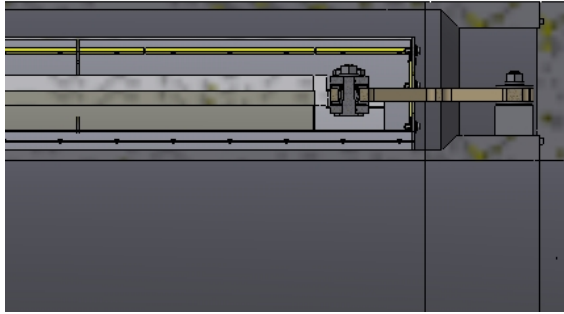
Планируется использование термосифонного метода охлаждения сверхпроводящей катушки за счет естественной конвекции двухфазного гелия, что позволит избежать аварийного вывода запасенной энергии из сверхпроводящей обмотки при кратковременном пропадании электроэнергии в зоне детектора или проблем с гелиевым рефрижератором и продолжении работы без перехода в теплый режим и повторного захлаживания катушек. Косвенный метод охлаждения сверхпроводящих катушек и опорного цилиндра катушек, посредством теплообменника с объемом жидкого гелия 10 - 20 литров, позволяет повысить надежность системы за счет значительного уменьшения объема жидкого гелия и уменьшения числа криогенных трубопроводов в криостате.

Массовый поток гелия SPD - 9-10 g/sec.

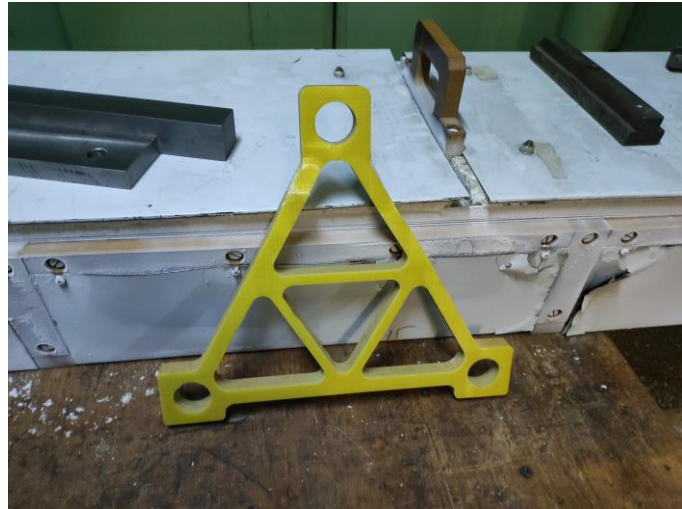
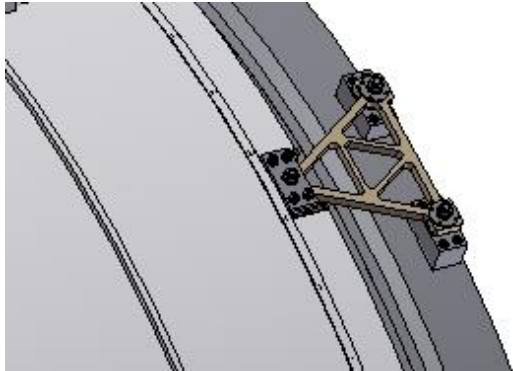
SPD solenoid. Планирование.

Наименование работ	Сроки выполнения
Криостат	Конструкторские работы – 2023 - 2024
	Изготовление – 2024 - 2025
Холодная масса	Конструкторские работы – 2023 - 2024
	Изготовление – 2024 - 2025
Изготовление проводника и катушек соленоида	Конструкторские/ технологические работы – 06/2023
	Изготовление – 06/2023 – 06/2026
Распределительный бокс и трубопроводы	Конструкторские работы – 2023 - 2024
	Изготовление – 2024 - 2025
Система питания магнита и вывода энергии, токовводы, шины	Конструкторские работы – 2023 - 2024
	Изготовление – 2024 - 2025
Система безопасной работы соленоида	Разработка – 2025
	Изготовление – 2026
Подготовка к испытаниям, дополнительное криогенное оборудование, испытания	Конструкторские работы – 2024 - 2025
	Изготовление – 2025 - 2026
	Испытания 2026 – 06/2027

SPD solenoid. Система подвесок.



ИЯФ СО РАН изготовил 4 образца подвески для проведения их испытаний на разрушение



Фотографии подвески и схемы проведения испытаний

SPD solenoid. Cold mass support loads

Load conditions	load	F (max. load) to support
Cold mass weight	42 kN	4,0 kN
Decentering force (5mm)	47,5 kN	4,47 kN
Total loads	89,5 kN	8,47 kN

Расчет нагрузок на подвески

- Maximal stress - 96 000 kPa,
- deviation of the cold mass - 0,9 mm.
- deviation of the cold mass - 1,9 mm/ 2тонны.

Материал подвески: СТЭФ 1

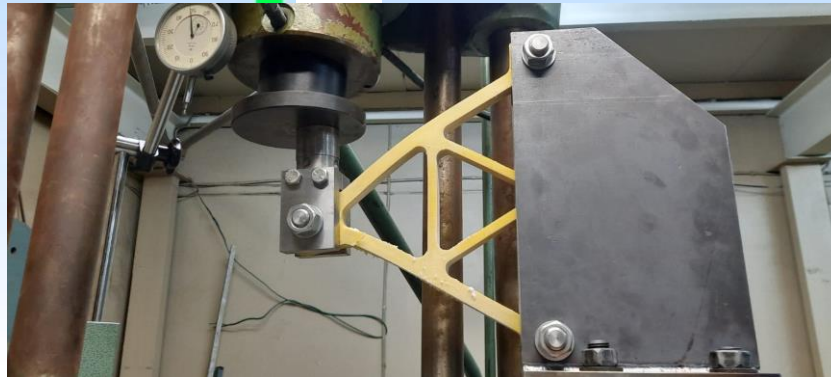
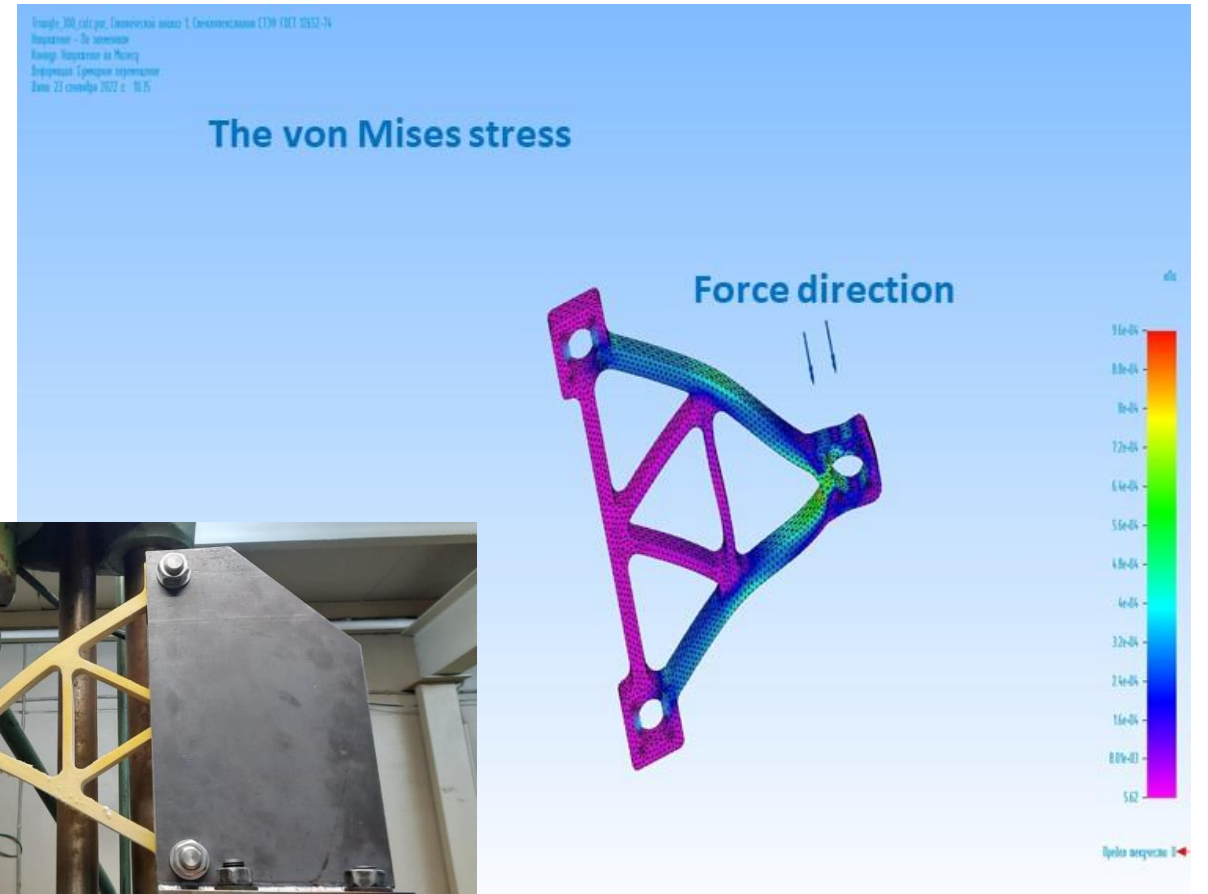
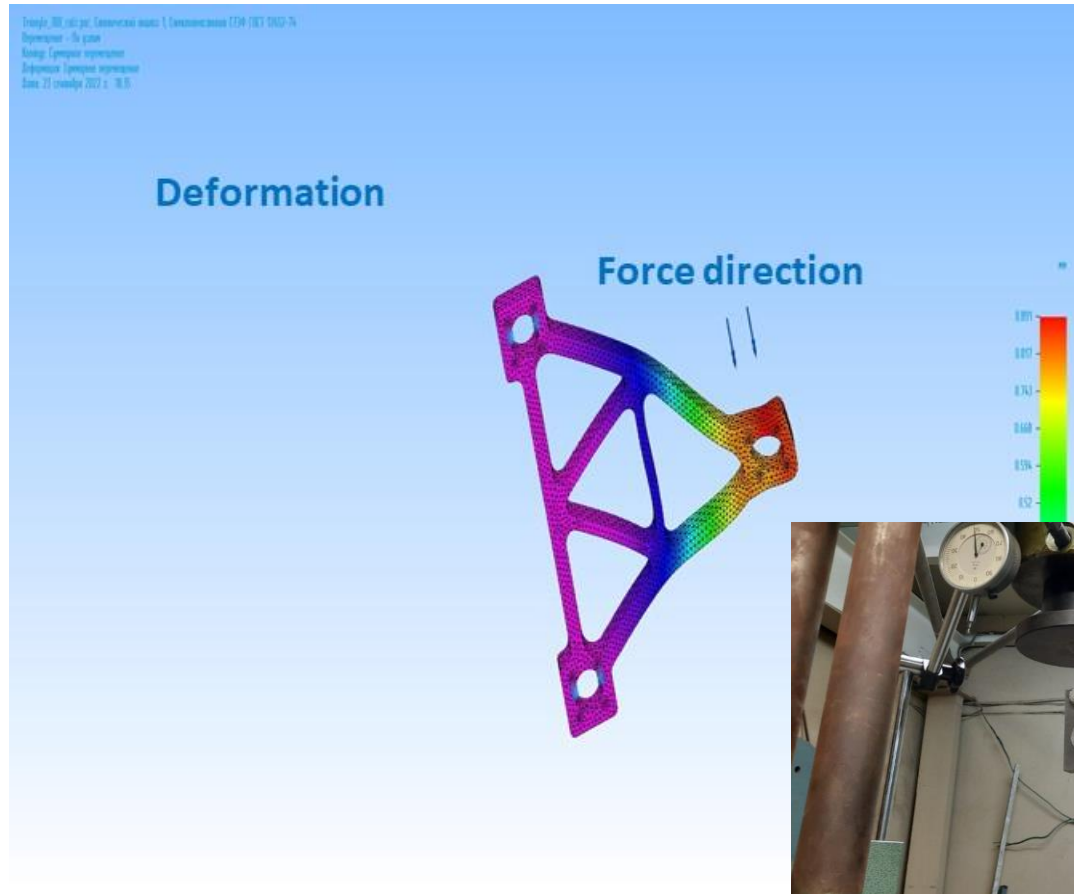
Стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74

Атрибут	Значение
Плотность	1800.000 кг/м ³
Коэффициент теплового расширения	0.0000080 /С
Теплопроводность	1.900 Вт/м-С
Удельная теплоемкость	840.000 Дж/кг-С
Модуль упругости	21000000 кПа
Коэффициент Пуассона	0.400
Предел текучести	0.000 кПа
Предельные напряжения	132 000 кПа
Удлинение %	0.000

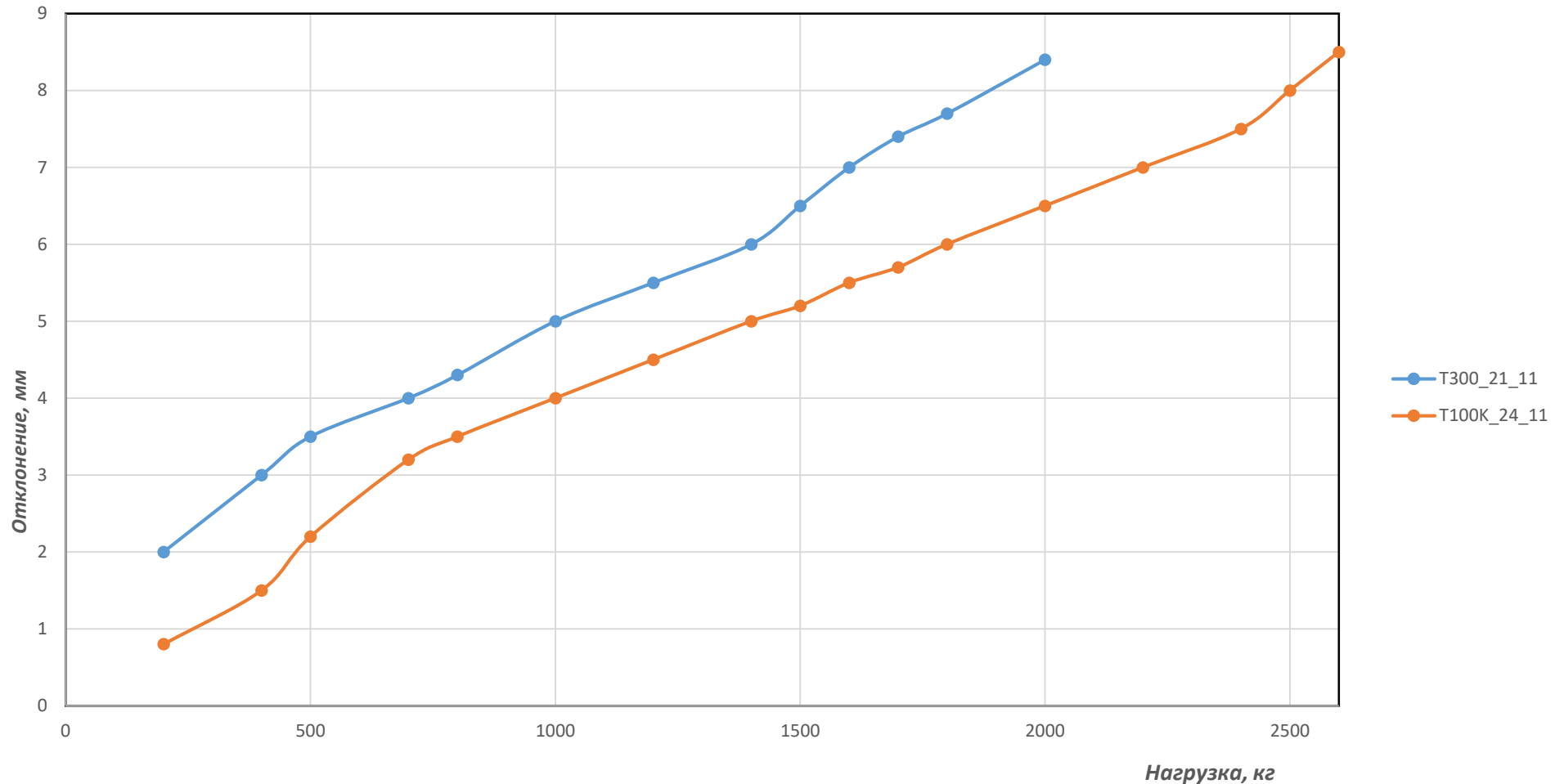
SPD solenoid. Cold mass support loads

Maximal stress - 96 000 kPa, deviation of the cold mass - 0,9 mm.

Имя загрузки	Тип нагрузки	Значение нагрузки	Распределение нагрузки	Направление нагрузки	Параметр направления нагрузки
Сила 1	Сила	1e+07 мН	На элемент	(1.00, 0.00, 0.00)	Вдоль вектора



Зависимость отклонения треугольной подвески SPD криостата от нагрузки при температуре 300K/ 100K



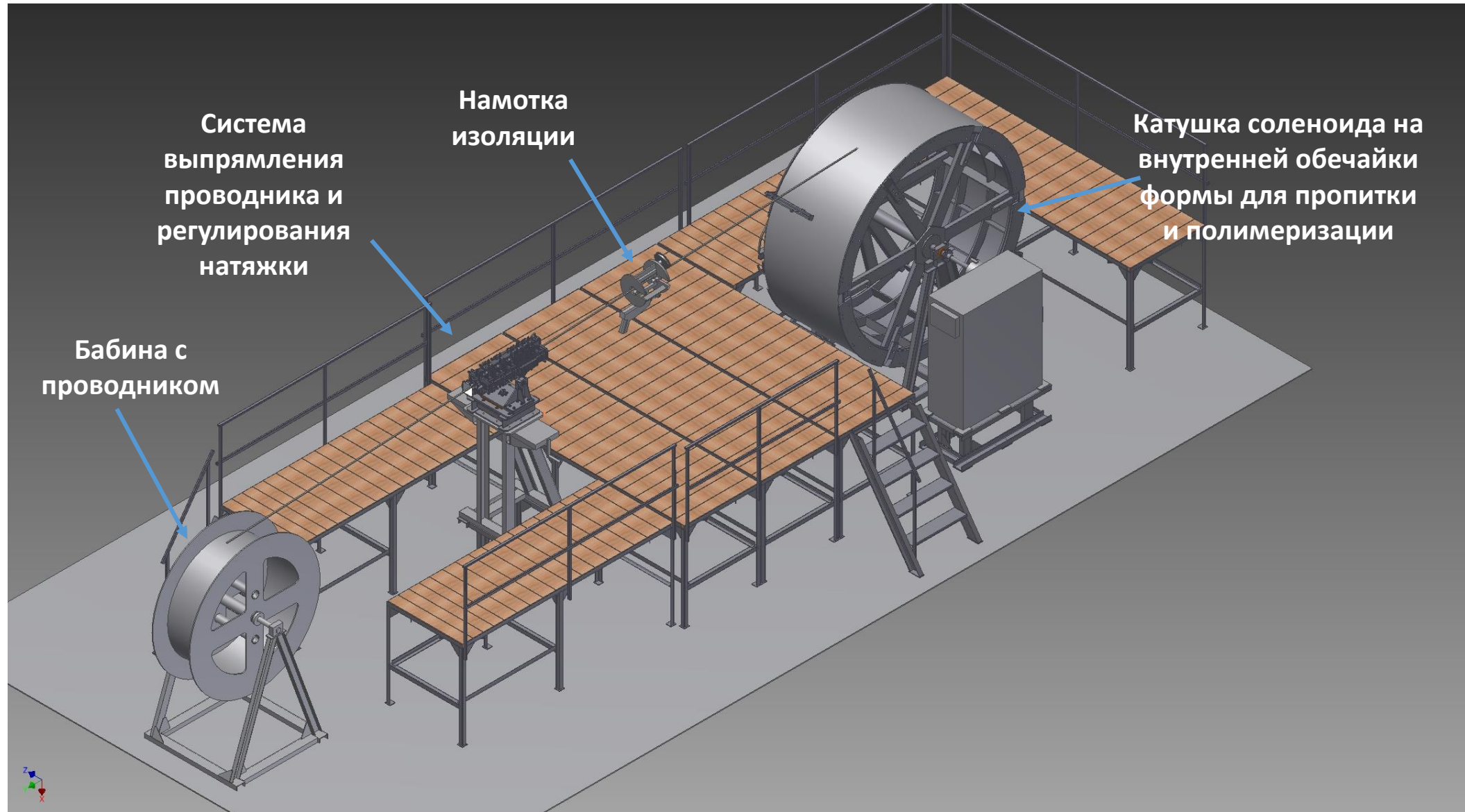
Разрушение подвески при 300K

- 39 200 Н

Разрушение подвески при 100K

- 42 500 Н

Размещение оборудования для намотки катушек на примере оборудования для изготовления соленоида детектора ПАНДА.





Thank you for your attention