

## SPD solenoid



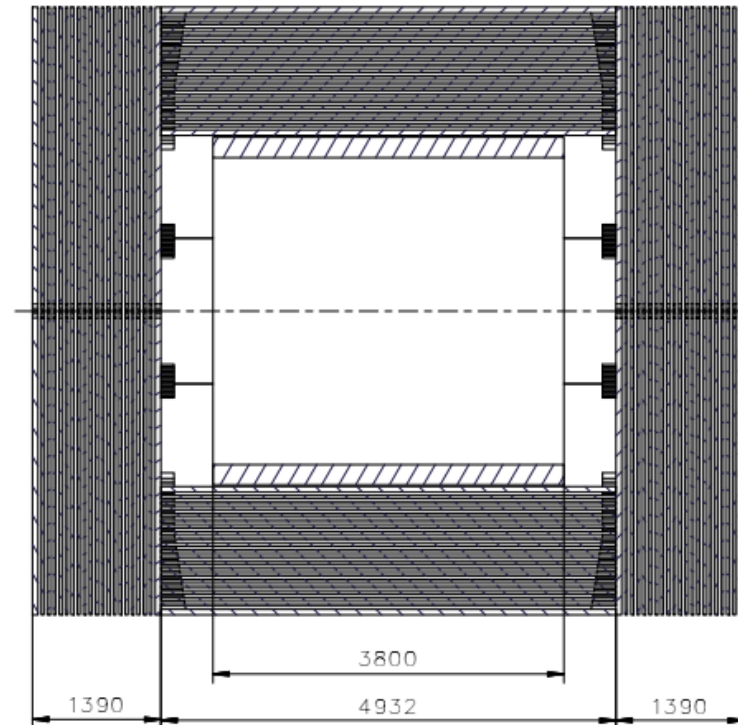
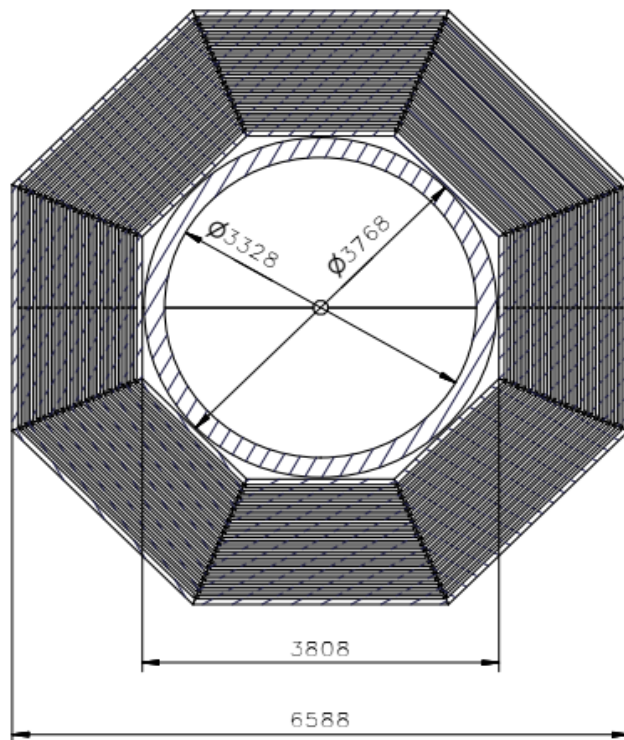
E.Pyata, S.Pivovarov, M.Kholopov, M.Azimbaev

BINP, Novosibirsk

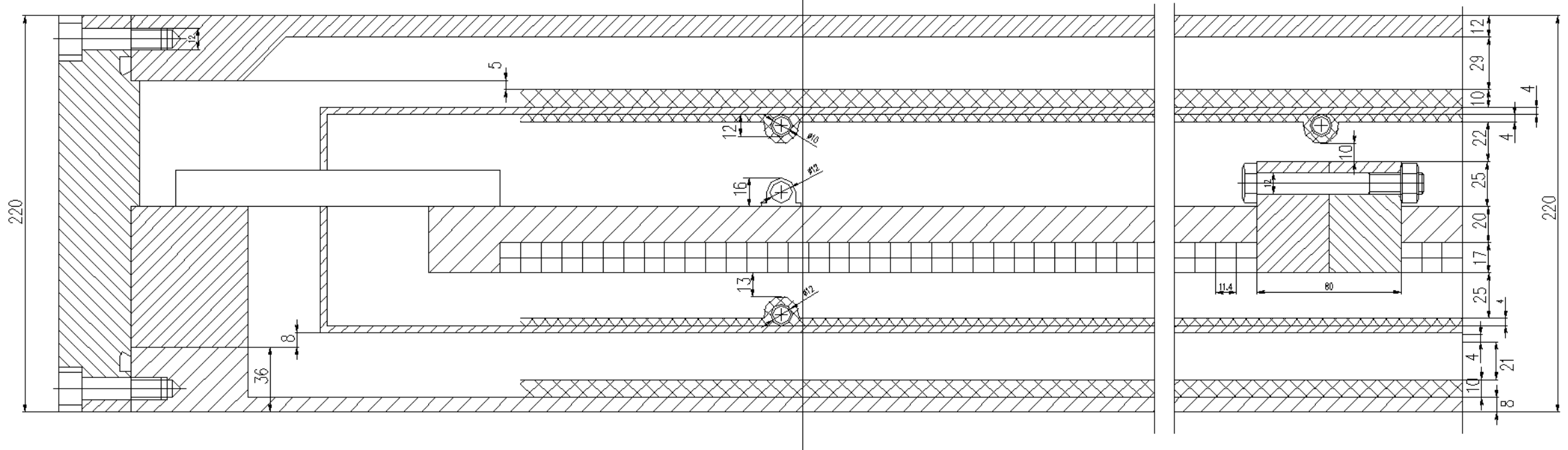
## SPD yoke and solenoid

The cryostat of the magnet with the coils, cold mass and thermal shields is located inside the yoke.

The overall dimensions are driven by the space planned for the detectors of SPD and the magnetic field parameters. Outside diameter of the cryostat is 3768 mm and a gap between the yoke and the cryostat about 20 mm. Radially a free diameter of 3228 mm is left for the SPD detectors. The length of the magnet is 3800mm and the magnet should be installed symmetrically inside the yoke



# SPD solenoid



**Cryostat: OD -3668 mm; ID - 3228 mm;**

**Length - 3800 mm; Thickness - 220 mm;**

**Coils (3 pc.): Horizontal winding PANDA conductor - 2 layers; Turns = 552.**

**Weight: - cryostat about 9500 kg**

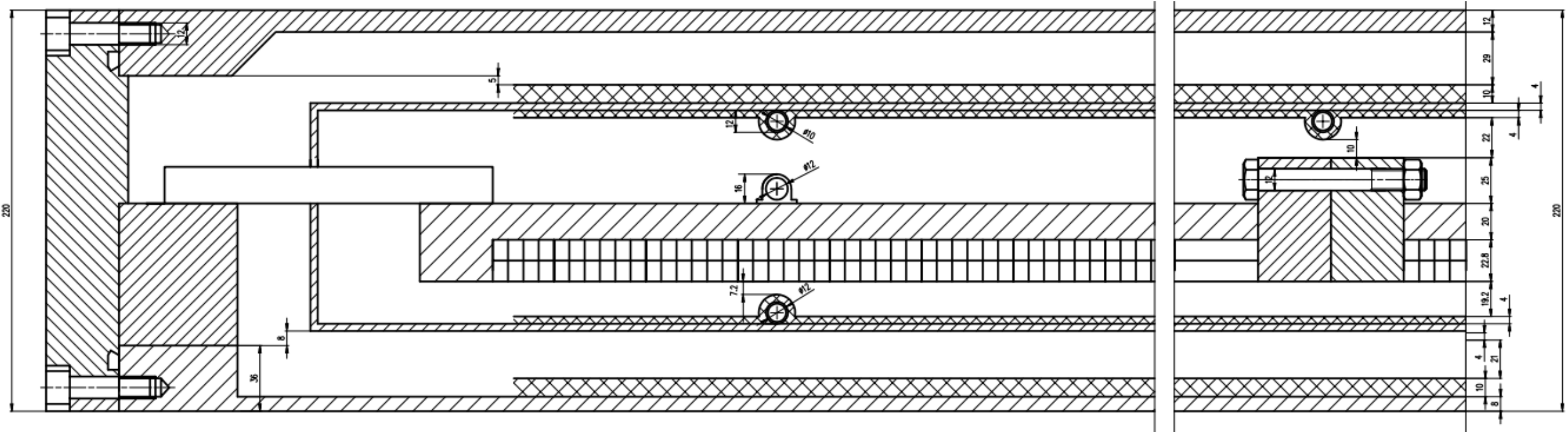
**- thermos shields - 850 kg**

**- coils about 3800 kg**

**Total: ~15 ton**



# SPD solenoid



**Cryostat: OD -3668 mm; ID - 3228 mm;**

**Length - 3800 mm; Thickness - 220 mm;**

**Coils (3 pc.): Vertical winding PANDA conductor - 2 layers; Turns = 750.**

**Weight: - cryostat about 9500 kg**

**- thermos shields - 850 kg**

**- coils about 4200 kg**

**Total: ~15 ton**

## SPD solenoid. Cold mass support

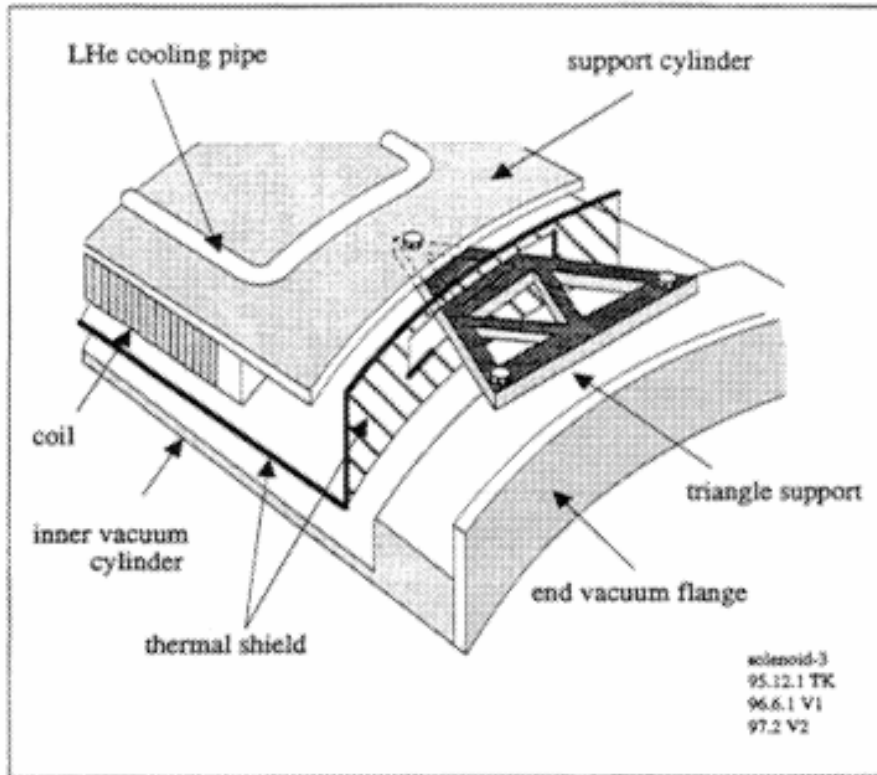


Figure 3-19 A schematic view of the triangle coil support.

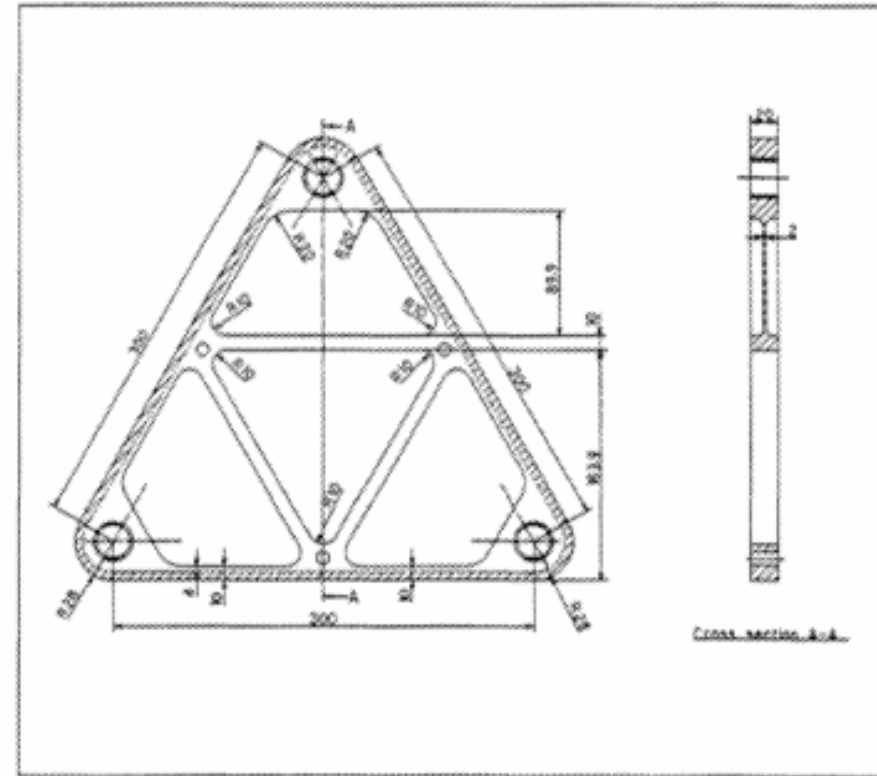


Figure 3-20 Design of the triangle support.

Мы прорабатывали подобную модель подвесок для ПАНДА соленоидов. Конструкция очень симпатичная и грамотная с технической точки зрения, но мы затем сделали выбор в пользу более традиционных титановых растяжек так, как имели больше свободного пространства. Плюс имеем возможность регулировок положения холодной массы внутри криостата с **высокой точностью**.

## SPD solenoid. Cold mass support

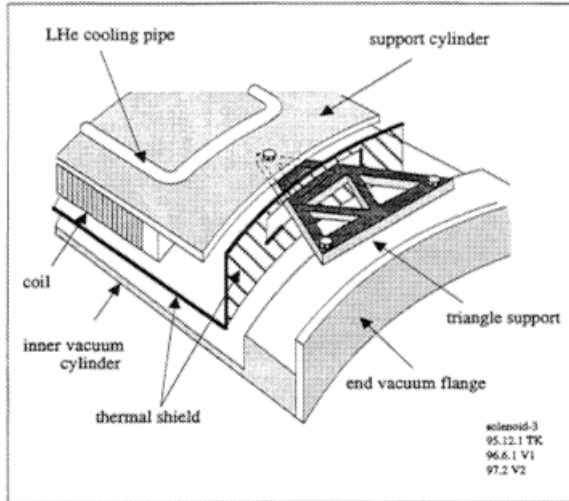


Figure 3-19 A schematic view of the triangle coil support.

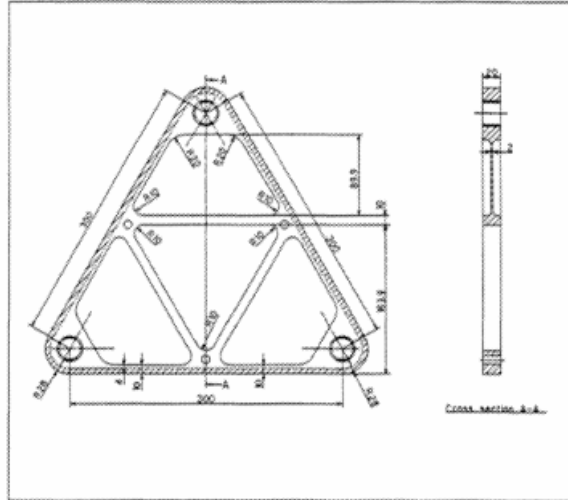


Figure 3-20 Design of the triangle support.

Широкая сторона крепиться к части вакуумной оболочке, специальному фланцу двумя болтами М12. Для случая АТЛАСА предполагалось М16, но холодная масса SPD значительно меньше 5,7т/ 4,2т.

Вершина треугольника крепится к холодной массе. Форма подвесок сделана с учетом механических и тепловых нагрузок, как компромисс.

Для компенсации радиальных изменений длин холодной массы и вакуумной оболочки, более 12 мм, устанавливаются во всех местах крепления сферические шайбы. Чтобы изменение положения холодной массы не было значительным предполагаем предустановку холодной массы в +5÷6мм от плоскости опорного фланца и после захолаживания до 4,5К, в -5÷6мм от плоскости опорного фланца.

Для компенсации продольных изменений длин, более 12 мм, предлагается прорезь в холодной массе, в месте крепления вершины треугольник.

Прорезь может быть изготовлена как с одной, так и с двух сторон.

# SPD solenoid. Cold mass support

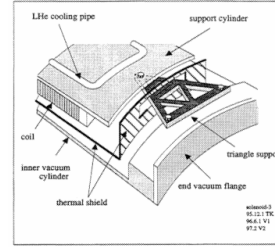
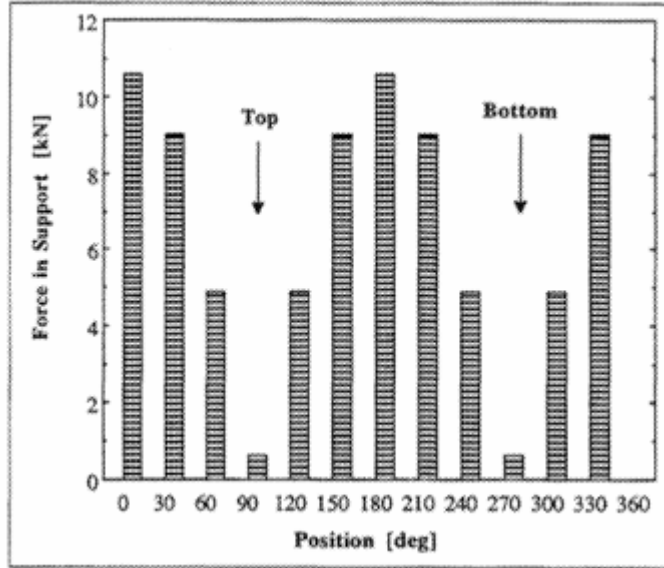


Figure 3-19 A schematic view of the triangle coil support.

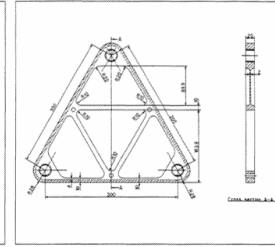


Figure 3-20 Design of the triangle support.

load condition	load	$\delta_{\max}$ of the coil	$F_{\text{loadr}}^{\max}$ to support
cold-mass weight only	56 kN	0.52 mm	5.3 kN
decentering force	60 kN	0.56 mm	5.7 kN
integrated load	116 kN	1.1 mm	11 kN

Команда АТЛАС сделала расчеты для механических нагрузок на треугольные подвески.

Количество подвесок - равномерно по 12 штук с каждой стороны.

Материал - GFRP (glass fiber reinforced plastic).

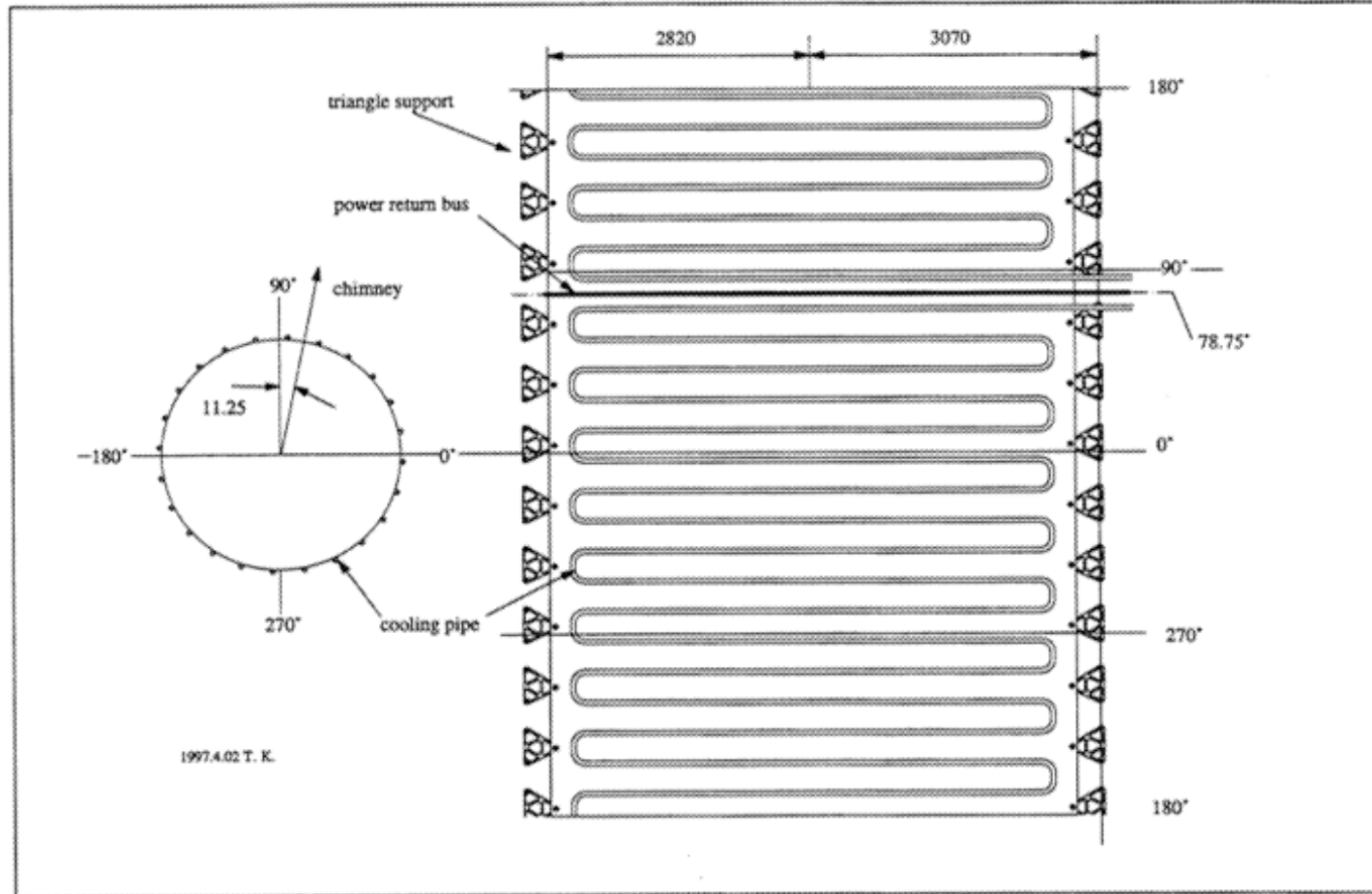
Схема симметричная, очевидно, что основные нагрузки будут приходиться на вертикально расположенные подвески. В таблице и на диаграмме приведены расчеты. В худшем случае 11кН, положение холодной массы сместится на 1.1мм.

Для SPD нагрузки будут меньше из-за меньшей массы.

Материал планируем подбирать и испытывать.



## SPD solenoid. Cold mass support

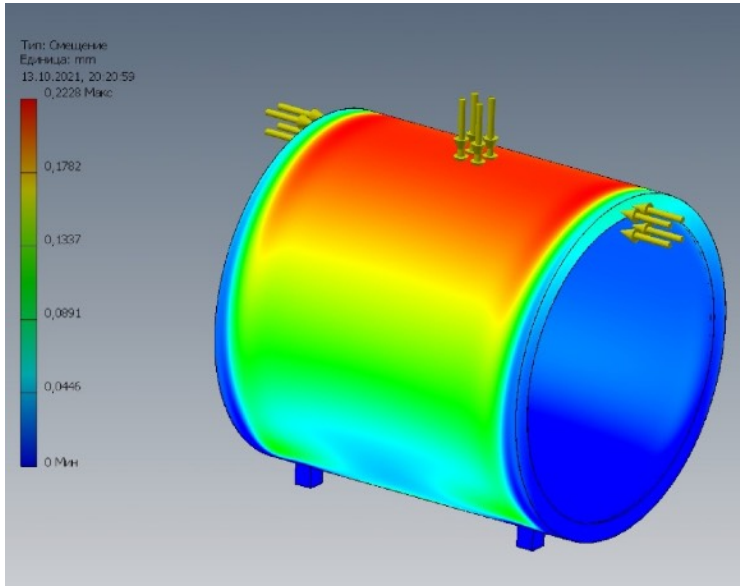


АТЛАС расположение подвесок на развертке холодной массы.

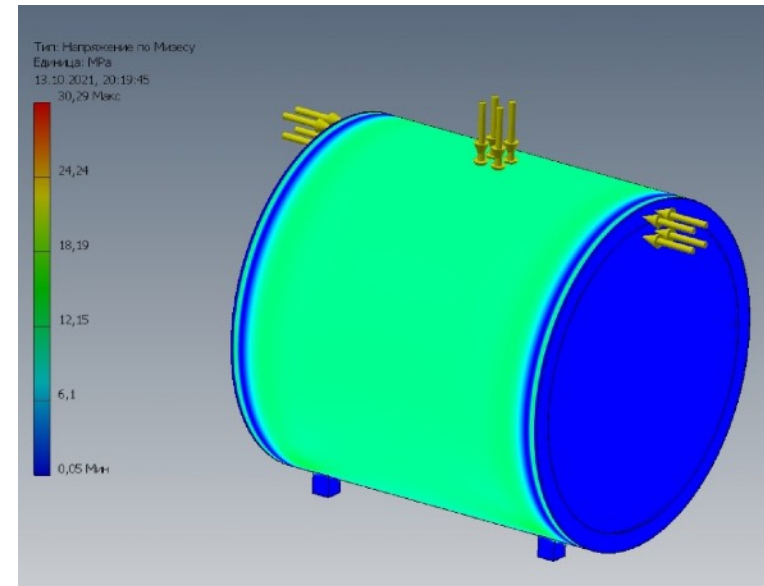
На этом же рисунке приведено расположение охлаждающего контура . Так как для SPD предполагается три катушки, то схема охлаждения холодной массы будет как для соленоида ПАНДА.



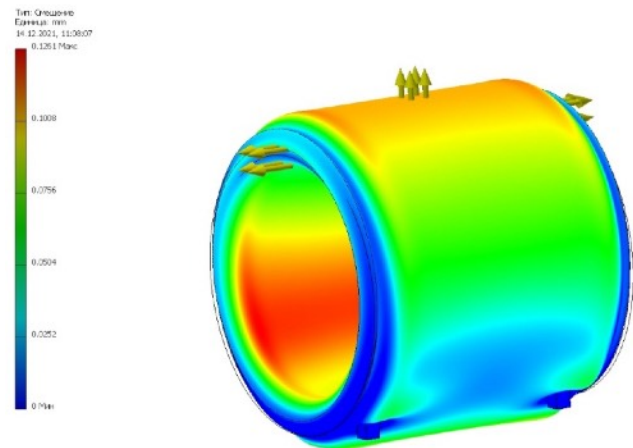
# SPD solenoid



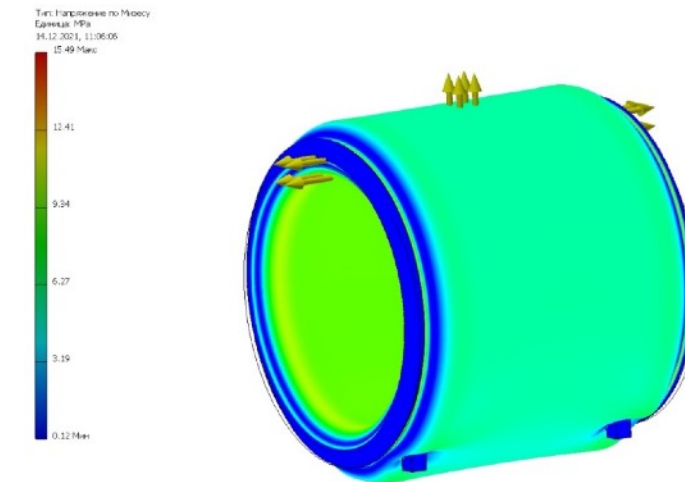
SPD Magnet  
(Deformation,  
 $p=0,1\text{MPa}$ )



SPD Magnet  
(Stress,  $p=0,1\text{MPa}$ )

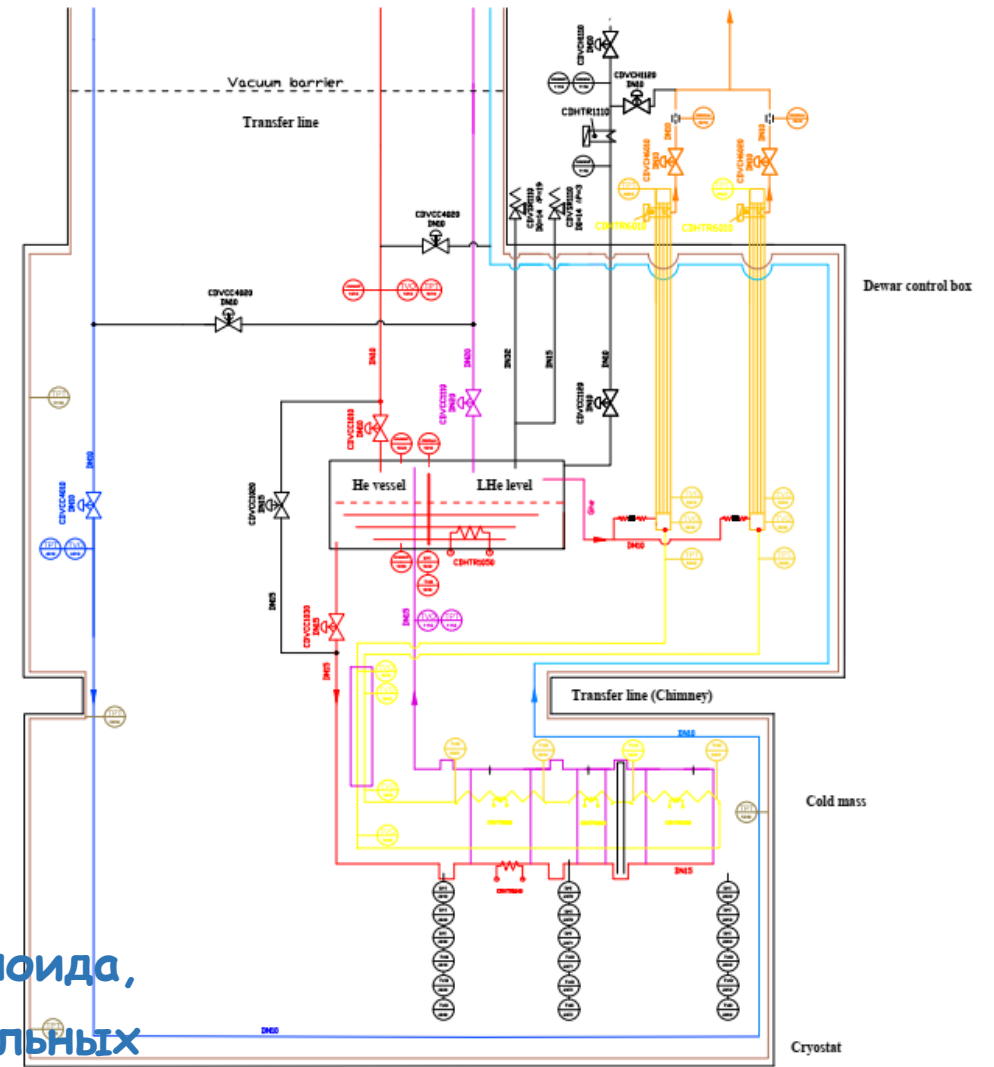
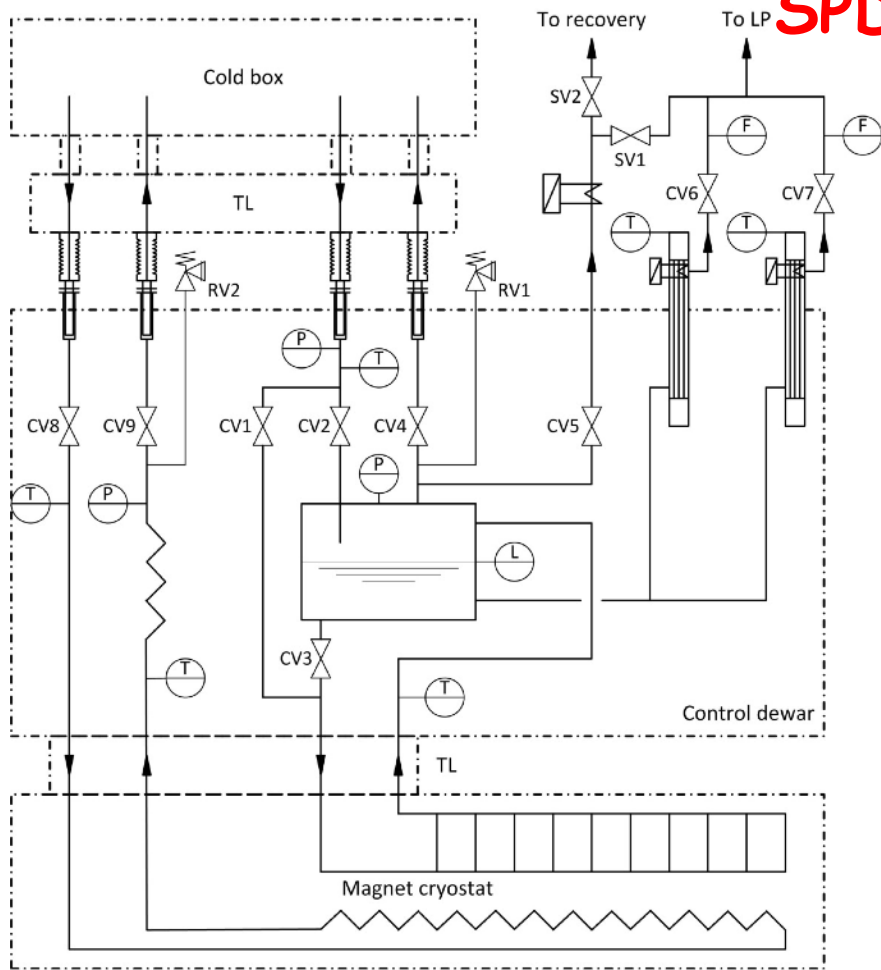


SPD Magnet  
(Deformation,  
 $p=0,05\text{MPa}$ )



SPD Magnet  
(Stress,  $p=0,05\text{MPa}$ )

# SPD solenoid. Flow scheme



Слева схема потоков из спецификации ТАНДА соленоида, справа - актуальная схема. Добавлено несколько контрольных вентилей, предохранительный клапан, датчики.

## SPD heat loads

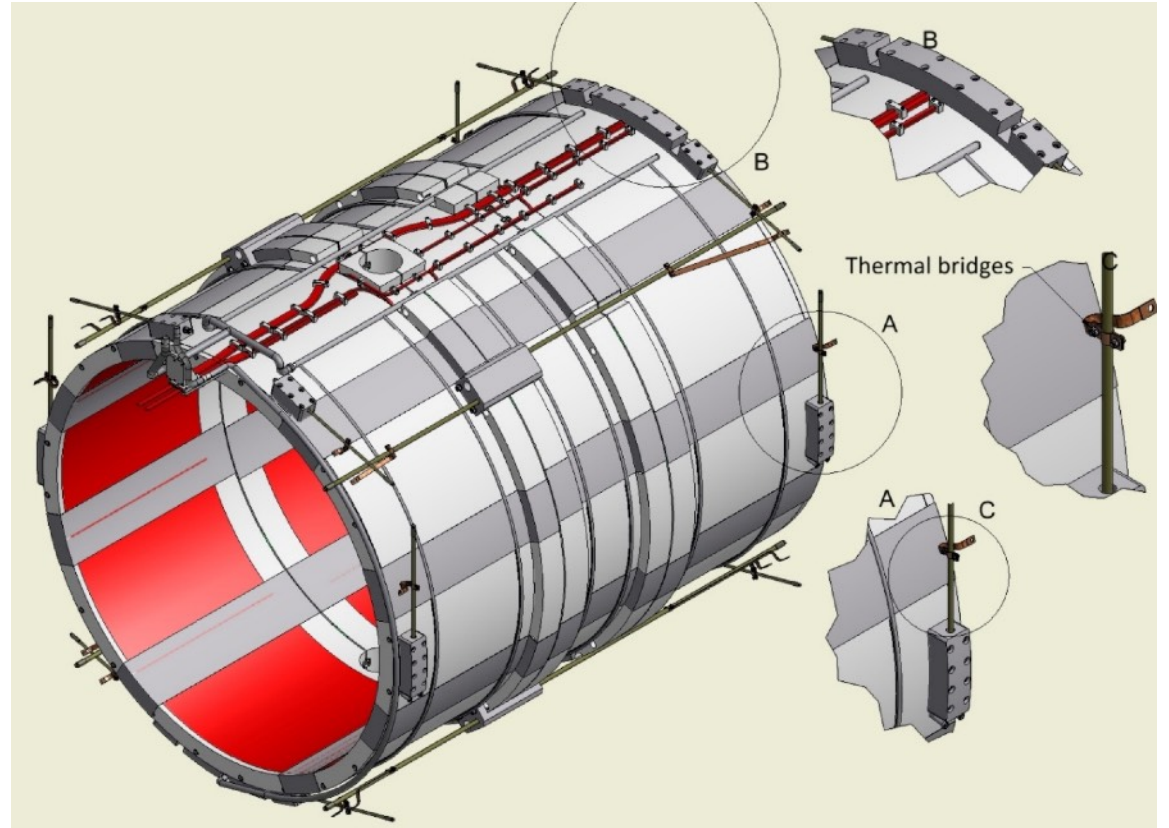
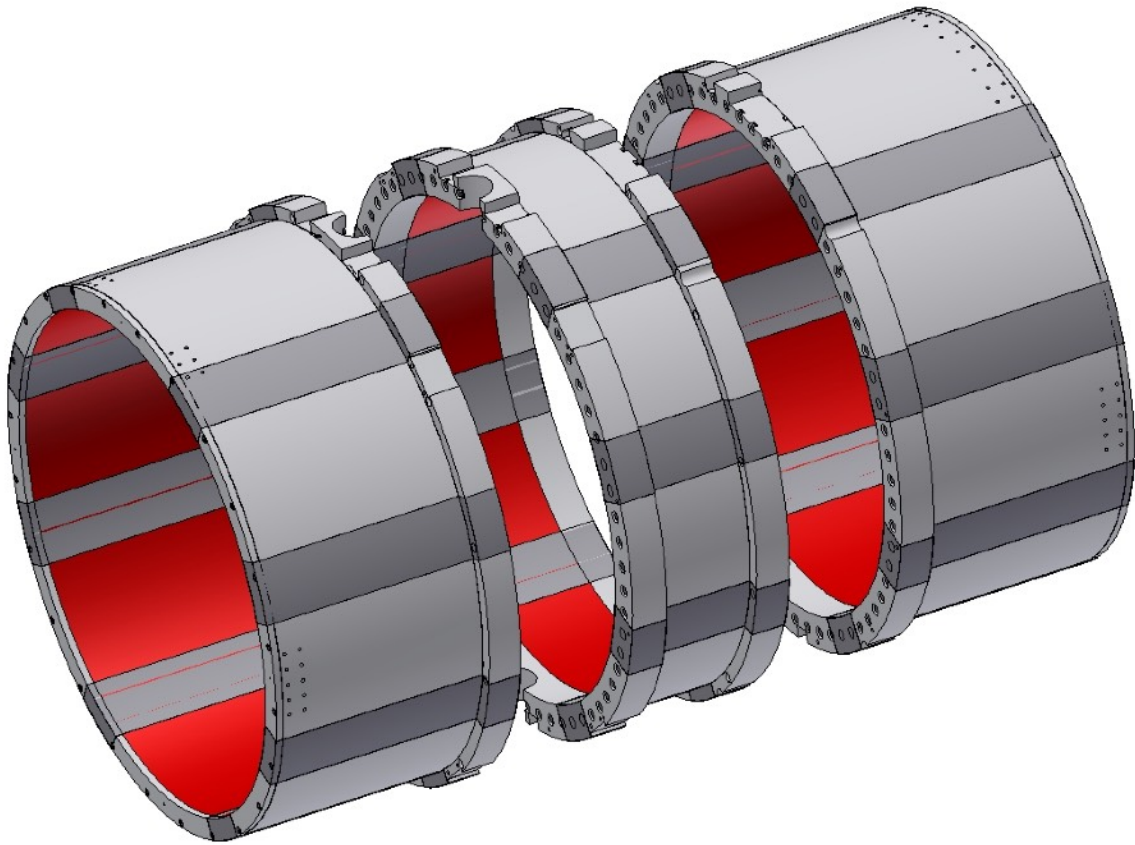
**Table 1. Estimated heat loads of the SPD solenoid**

T = 4,5 K	Heat loads		
	Worked condition	Without m.f.	With m.f.
<b>Cryostat</b>			
Radiation	7.8	7.8	7.8
Supports	5*	5*	5*
Eddy current loss in casing	-	-	11.50**
Eddy current loss in conductor	-	-	0.09**
Current leads, 6.5kA B=1.25T	15	9	9
<b>Distribution box**</b>			
Radiation	0.45	0.45	0.45
Supports of the LHe vessel	0.26	0.26	0.26
Cold control valves	1.05	1.05	1.05
Safety relief valves	3,22	3,22	3,22
Vacuum barrier	0.35	0.35	0.35
<b>Transfer line**</b>			
Radiation	0.06	0.06	0.06
Supports	0.20	0.20	0.20
<b>Total</b>	<b>33,39</b>	<b>27,39</b>	<b>44,98</b>

\* Data of ATLAS central solenoid

\*\* Data of PANDA solenoid

## SPD solenoid.

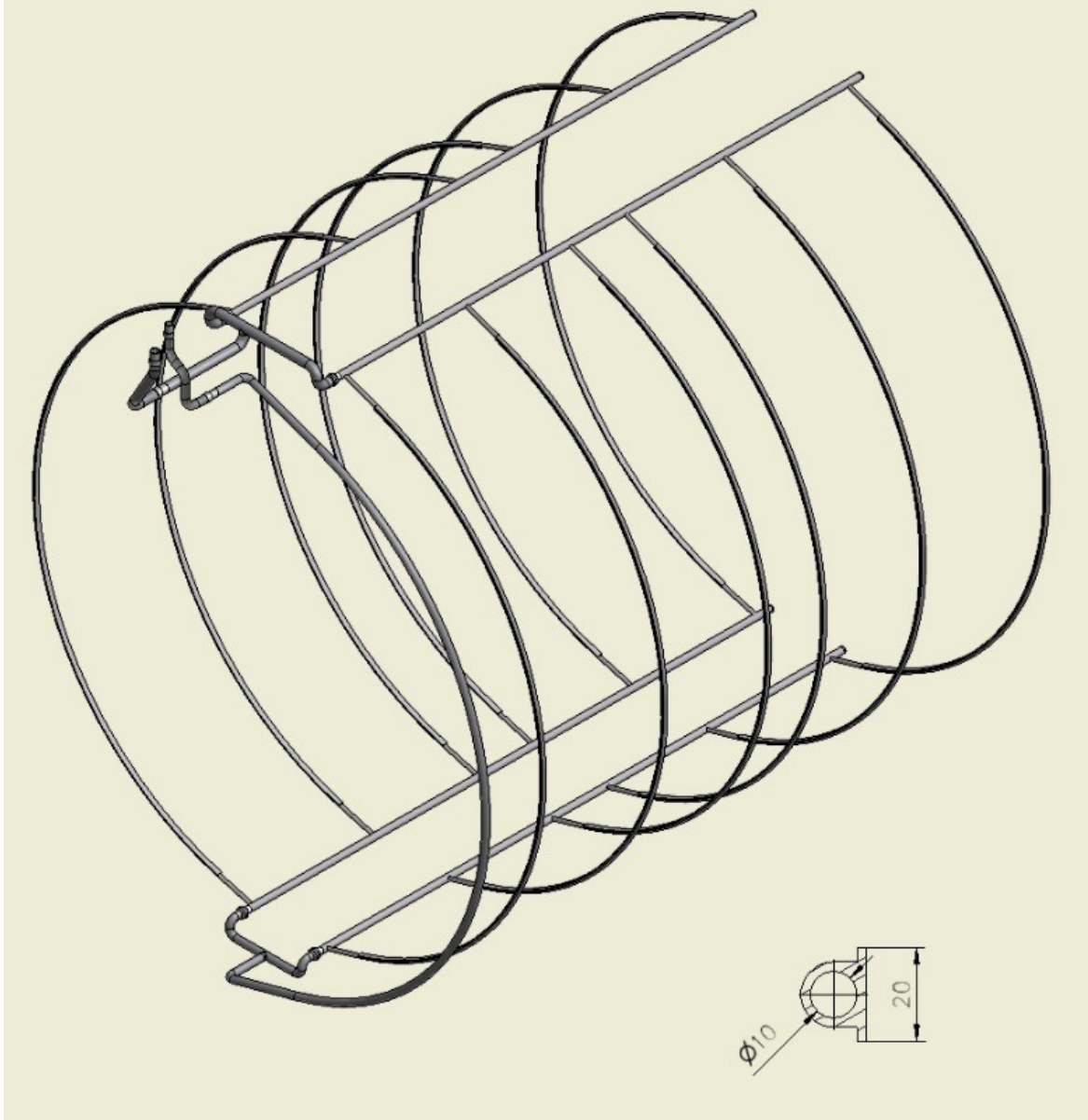


Если мы предполагаем использовать три катушки то тип их соединения будет как для ПАНДА соленоида.

Серые полосы - сверхчистый алюминий для равномерного распределения температуры.



## SPD solenoid.



Если мы предполагаем использовать три катушки, схема охлаждения будет подобной. Термосифонный метод. По два витка на каждую катушку.

Расход для ПАНДА - 10-11г/сек

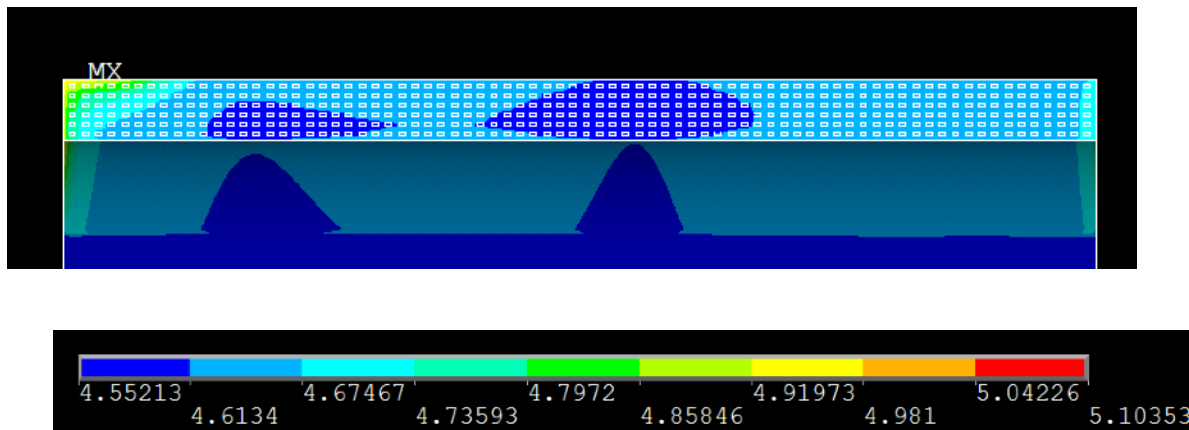
Для SPD - 9-10г/сек

## SPD solenoid.

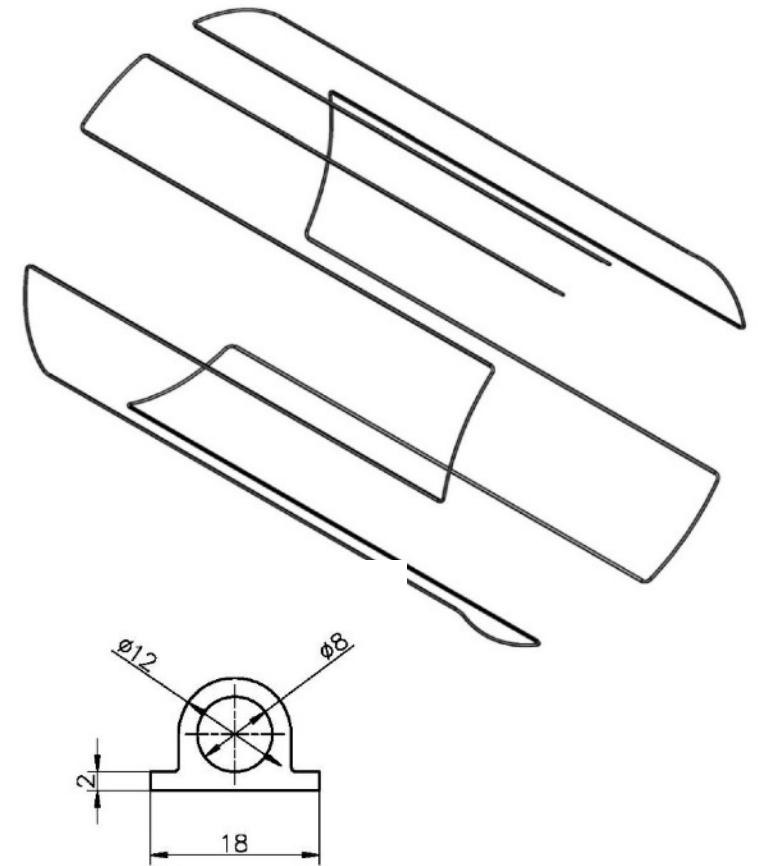
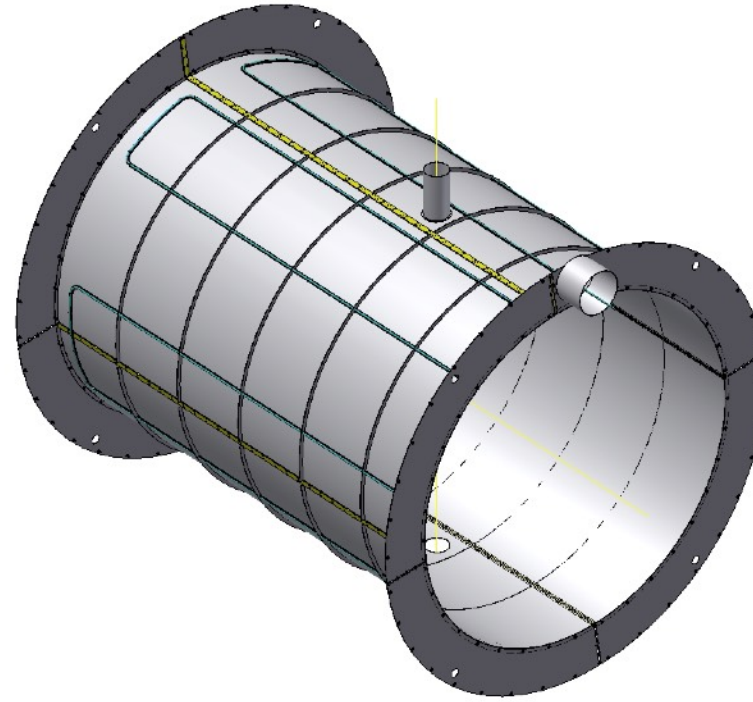
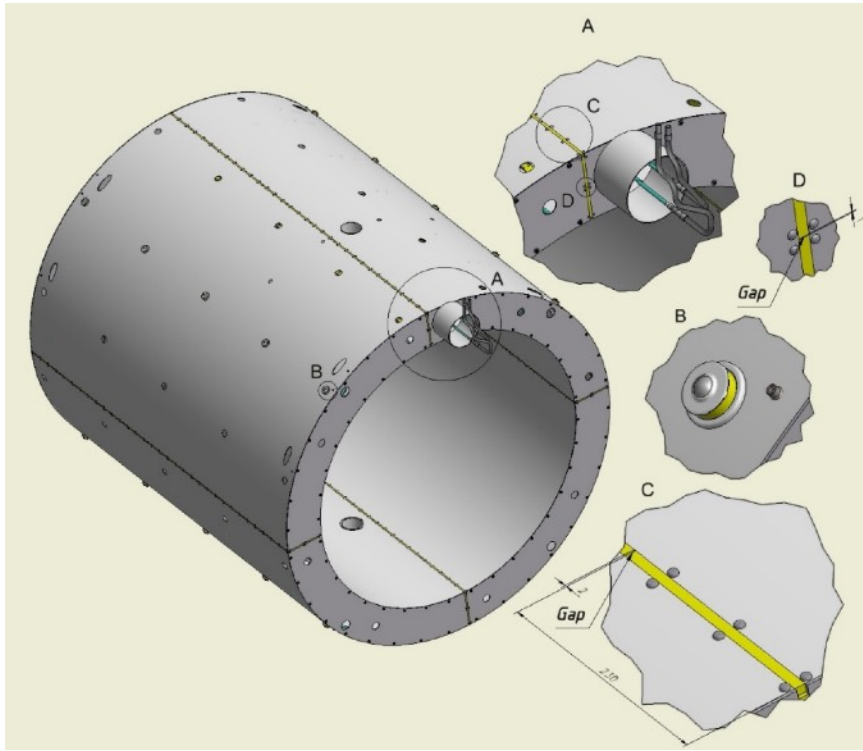
Case	Number of cooling pipes	Pure Al strip location	$T_{\text{peak}}$ conductor [K]
1	2	Inner radius	5.03
2	3	Inner radius	4.92
3	2	Inner & outer radius	4.90
4	3	Inner & outer radius	4.90

Распределение температур для холодной массы ПАНДА соленоида при растяжках из титана и положении полосок из сверхчистого алюминия.

Актуальный вариант - третий, с двумя витками охлаждающих трубок и расположении полосок из сверхчистого алюминия по всей поверхности холодной массы.



## SPD solenoid.



Экран разделен на четыре части, чтобы избежать больших потерь от вихревых токов. Расчеты показали, что 2-х частей уже достаточно, чтобы при квенче не нагревались более 80К. ЦЕРН, ДЕЗИ и ФАИР используют газообразный гелий от дополнительной ступени оживителя. 16-19 бар при захолаживании, 12-13 бар при нормальной работе. ЦЕРН, ДЕЗИ использует 40К, ФАИР планирует - 50К.

# SPD solenoid. Distribution box

The stages of Assembly of the PANDA control Dewar:

1. Installation of pipelines on the lid of the control Dewar

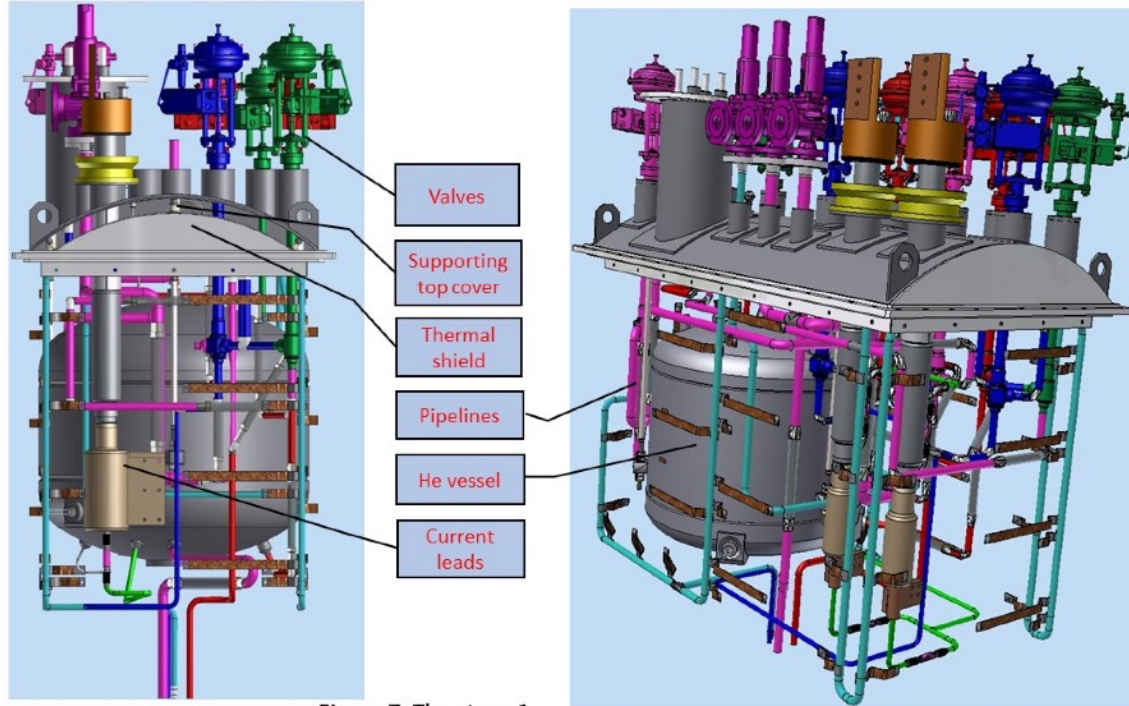
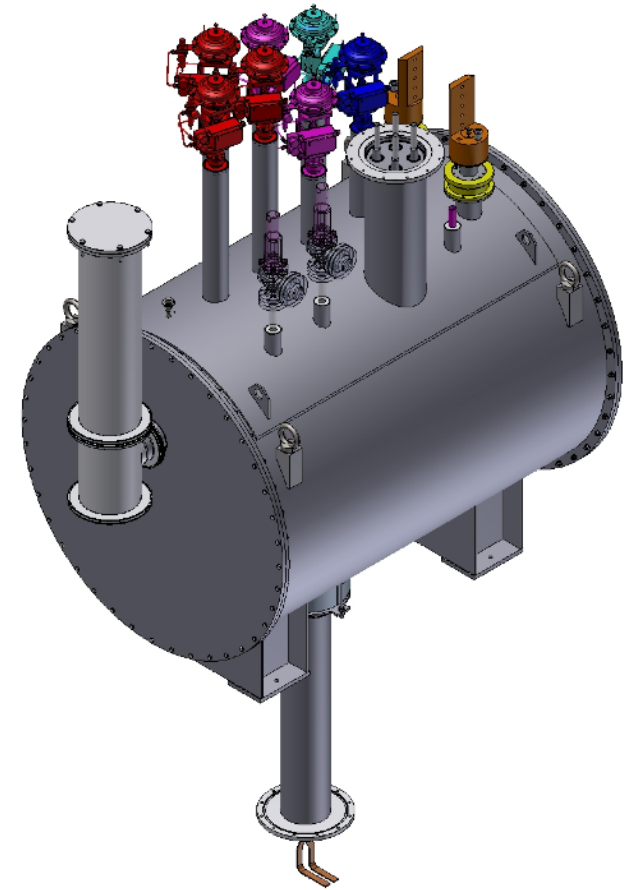


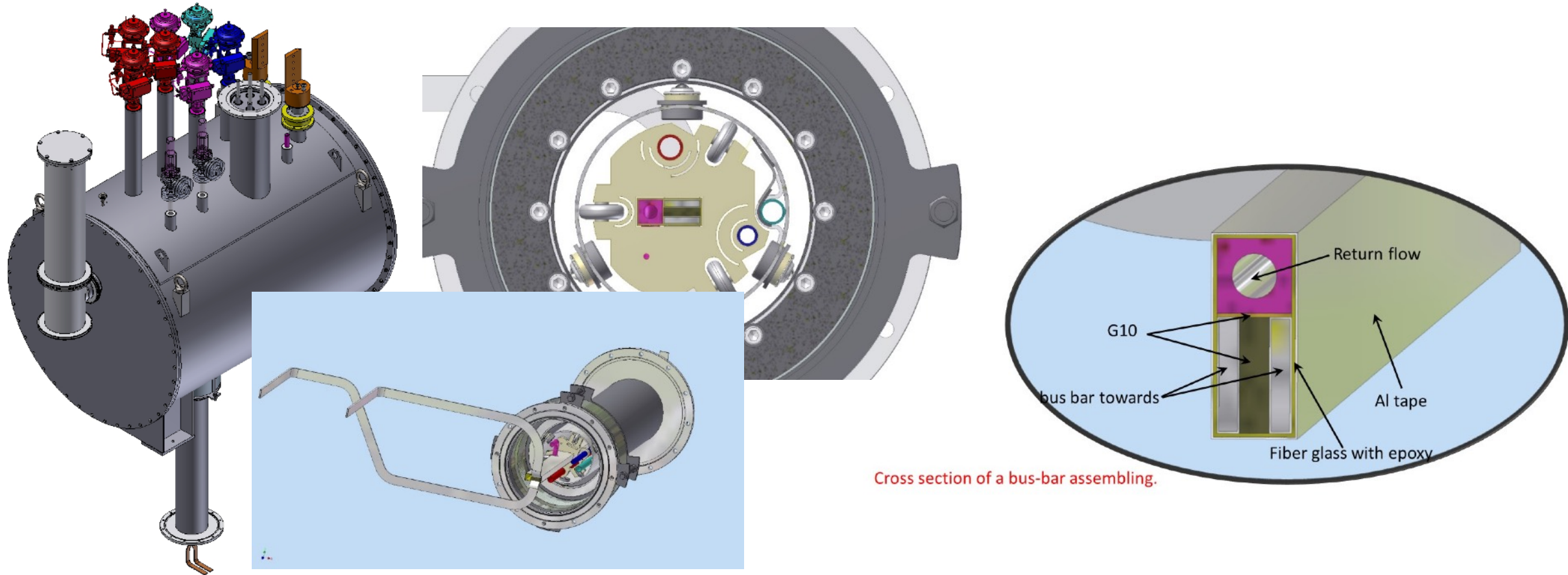
Figure 7. The stage 1.



Распределительный бокс для схемы с термосифонным охлаждением. Для ПАНДА в боксе находится сосуд с жидким гелием 300л максимум. Большой объем мы не смогли разместить из-за жестких требований внешних размеров бокса.



## SPD solenoid. Distribution box and transfer line



Cross section of a bus-bar assembling.

В качестве соединительных токовводов используется проводник соленоида АТЛАС размером 30×4,3mm и 12 стрендами. Количество сверхчистого алюминия достаточно чтобы температура не превышала 5,5К, но для надежности внутри трубопровода сборка токовводов охлаждается обратным потоком 4,5К.

## SPD solenoid

BINP suggest to use a superconducting NbTi/Cu wire based Rutherford cable co-extruded with a high purity aluminum-stabilizing matrix. This type of conductor was used for production larger detectors such as CELLO, CDF, TOPAZ, VENUS, ALEPH, DELPHI, CLEO, SDC, BELLE, ATLAS CS, ATLAS ECTs, ATLAS BT, CMS, Mu2e solenoids and PANDA.

The SPD solenoid is designed to operate at a current of 6,3 kA for vertical position of the conductor, i.e. about 32% of its critical current at 4.5 K and 2,0 T peak magnetic field.

The conductor is The insulated conductor dimensions at 4.5 K are 10.90 mm in width and 7.90 mm in height. The Rutherford cable is composed of 8 strands with a diameter of 1.40 mm and a Cu/SC ratio of 1.0. The critical current density of the superconductor at 4.2 K and 5 T shall be larger than 2800 A/mm<sup>2</sup> to ensure a temperature margin for quench well above 2.0 K. The same type of the conductor is produced in Russia and used for the PANDA solenoid, FAIR, Darmstadt.

At the case a horizontal position of the conductor a current is about of 8,3 kA and we need to use a Rutherford cable with 12 wires and the conductor dimensions should be at 4.5 K are 17,7 mm in width and 7.90 mm in height.

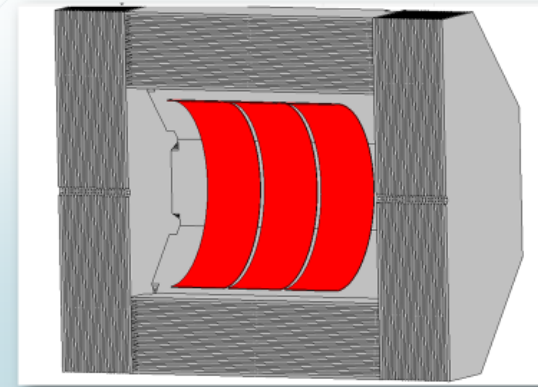
# SPD solenoid

## Common conditions.

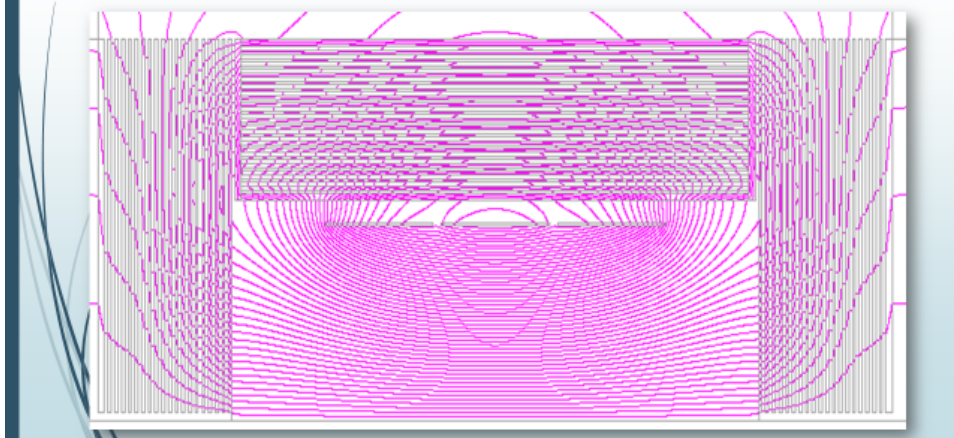
- soft- MERMAID (kGs)
- Type symmetry – axially symmetric model
- Coils – 3
- Size coils - 22.8 mm/250.
- Yoke material – Steel 3.

# Magnetic Analysis

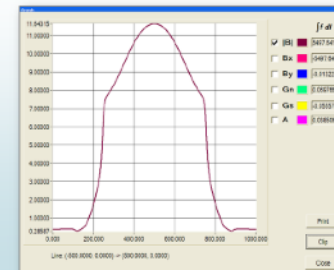
## Common view of the solenoid.



## View with magnetic field lines.

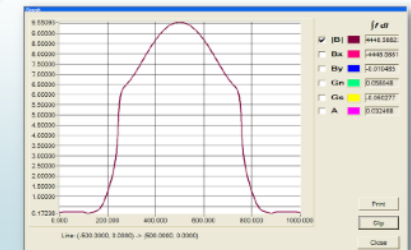


## Поле на оси для варианта 250 витков, 6300 А



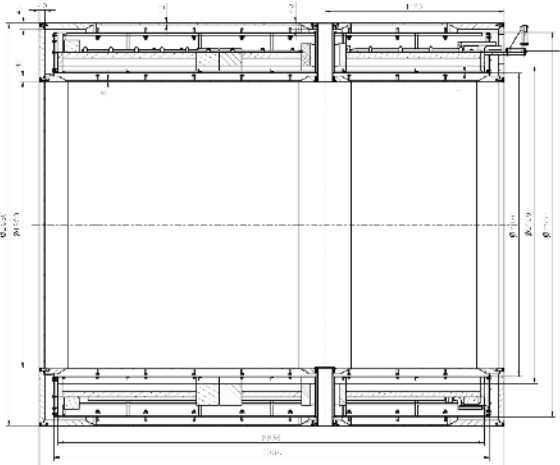
Maximal field in the coil is 2.0 T

## Поле на оси для варианта 250 витков, 5000 А

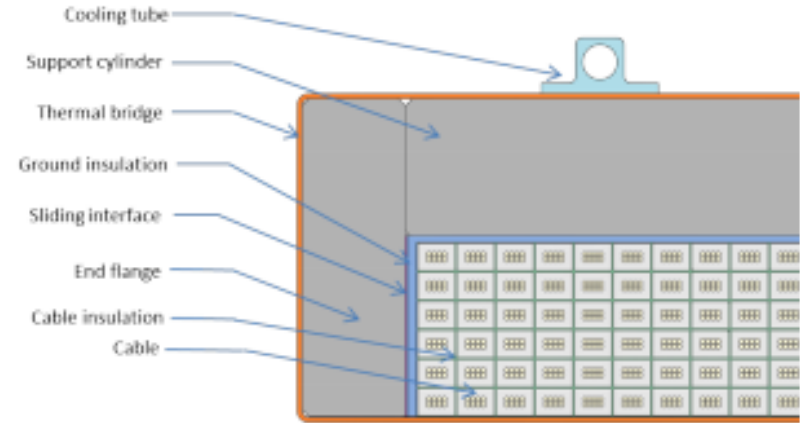


# PANDA conductor

Rutherford cable, 8 strands, extruded in Al matrix



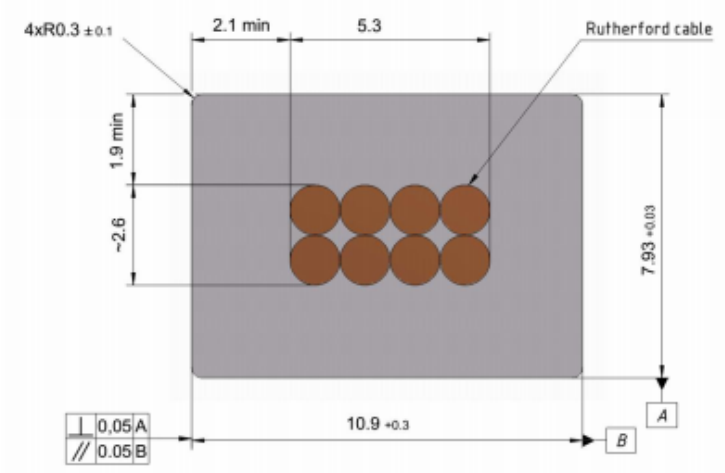
Longitudinal section of the cryostat with cold mass.



Cold mass cross-section.

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)		> 1000	
Al 0.2% yield strength at 300 K	MPa	> 30	

Conductor mechanical and electrical parameters.



Cross-section of the conductor.



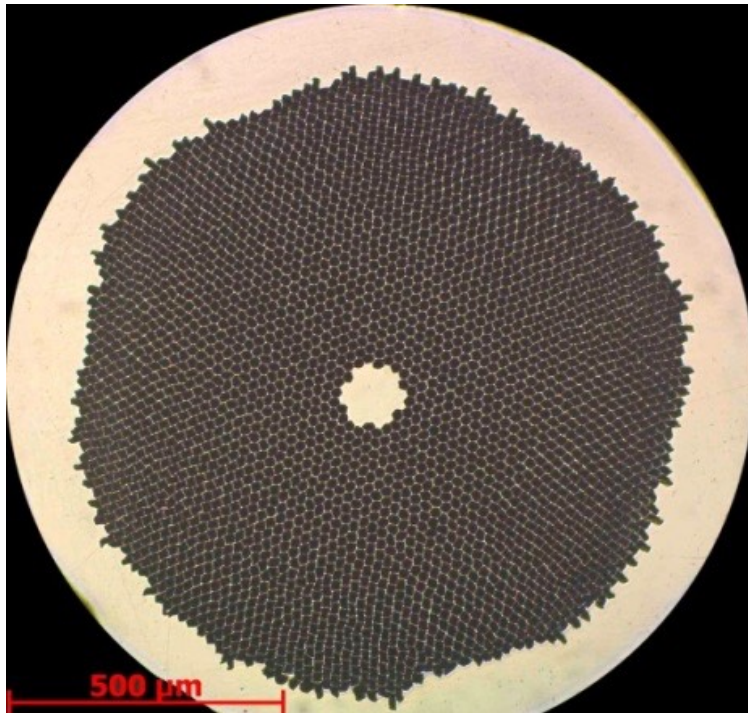
# Conductor.

## Production strands

Producer: "A.A. Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials" (JSC "VNIINM").

Protocol measurements 01-400/423 from 29.09.2021/18.10.2021

## Superconductive NbTi strand PANDA solenoid



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 <sup>2</sup>	> 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.

# Conductor.

## Production strands

Batch number / strand piece number	Diameter, mm (1,400 ± 0,005 mm)	Cu/SC ratio NbTi, %	Twist pitch		RRR
			begin	end	
1-C2-1P-1-21/1	1,4	0,5187	22	22	196
1-C2-1P-1-21/2-1-1-1	1,4	0,5140	21	22	207
1-C2-1P-1-21/2-1-1-2	1,4	0,5132	21	21	191
1-C2-1P-1-21/2-1-2	1,4	0,5126	22	22	205
1-C2-1P-1-21/2-2	1,4	0,5122	22	24	205

Table 2 Technical parameters

Batch number / strand piece number	Sample	Measurement	Mechanical properties	
			Ultimate resistance, MPa	Yield strength, MPa
1-C2-1P-1-21/1	1n	1	903	838
		2	897	836
		3	909	845

Table 3 Mechanical properties

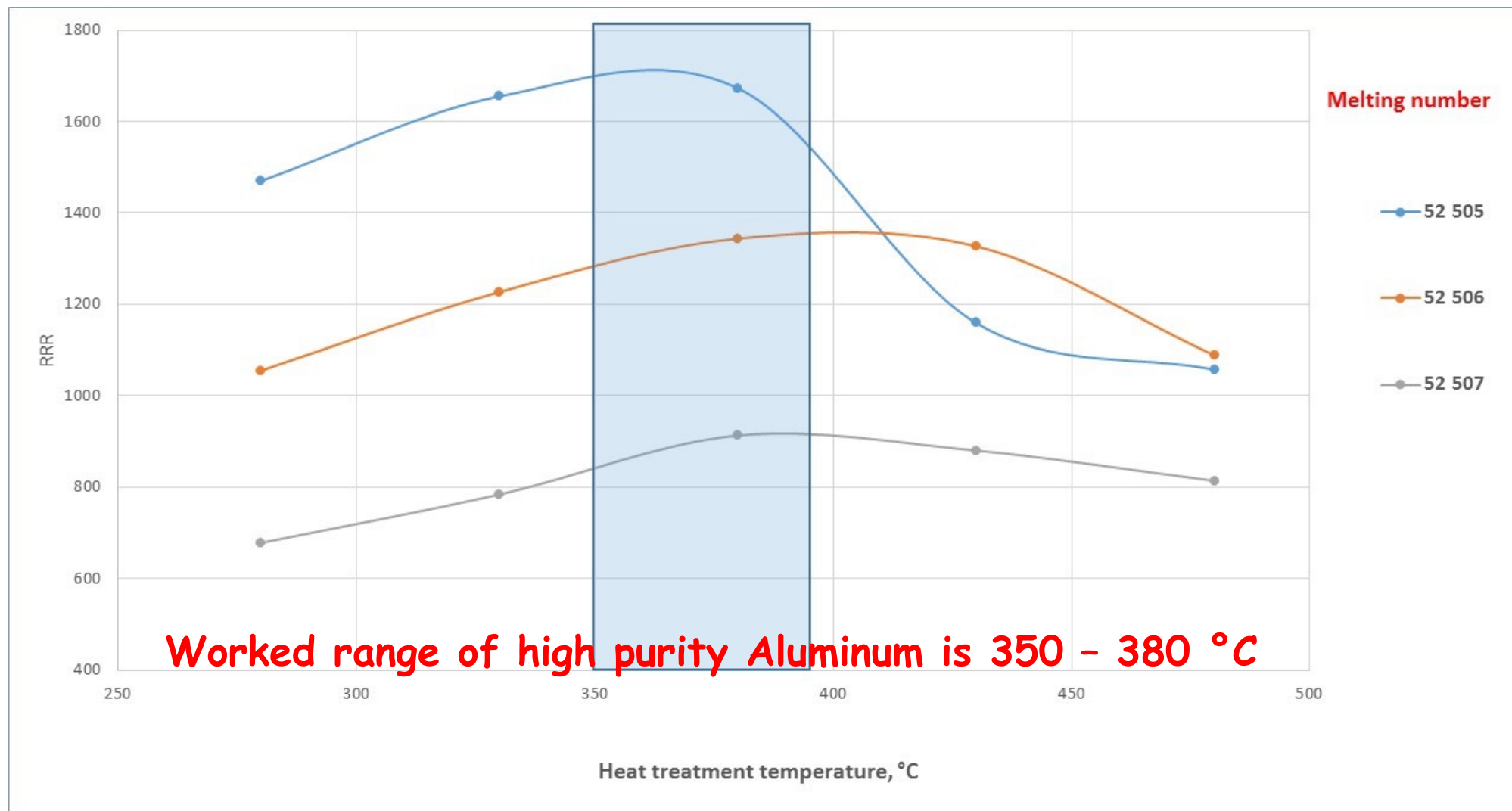
Batch number / strand piece number	Field, T	$I_c$ , A (4,2 K; 0,1 mkV/sm)	n-value
1-C2-1P-1-21/1	8	789	35
	7	1253	52
	6	1746	71
	5	2220 (calc.)	-
1-C2-1P-1-21/2-1-1-1	8	750	35
	7	1208	53
	6	1694	71
	5	2175 (calc.)	-
1-C2-1P-1-21/2-2	8	750	36
	7	1200	50
	6	-	-
	5	2165 (calc.)	-

Table 4 Critical current (at 4.2 K) and n-value (at 4.2 K) vs magnetic field.

# Conductor.

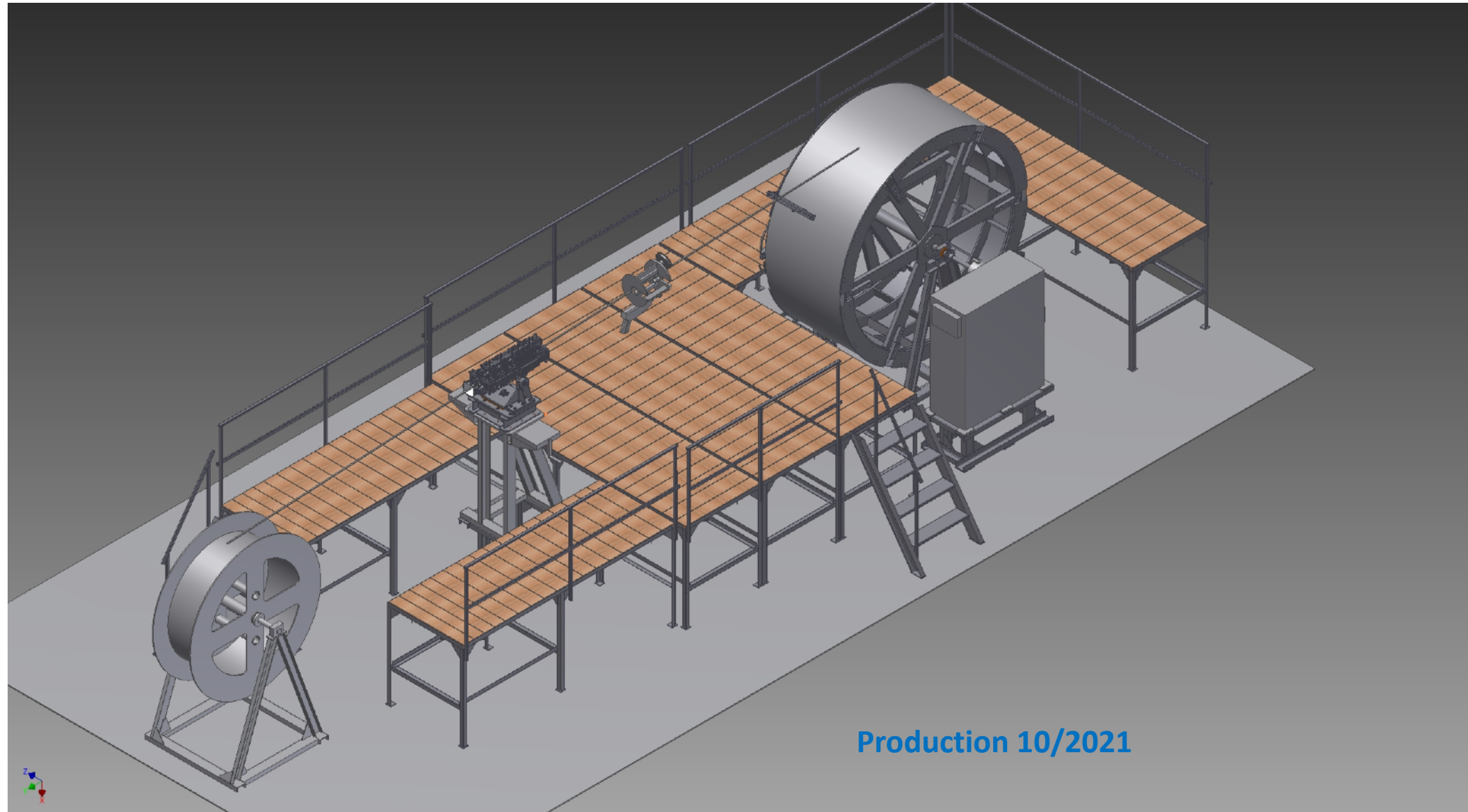
Status of the PANDA conductor development/ procurement

BINP/ VNIINM Bochvar/ VNIIKP/ Saransk cable optic (SarkO)



Worked range of high purity Aluminum is 350 - 380 °C

## Drawing of the Devices for winding coil (scheme).







Thank you for your attention