

ИСПЫТАНИЯ СОЛЕНОИДА ДЕТЕКТОРА MPD В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА NICA В МЕЖДУНАРОДНОМ НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ ОИЯИ (ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ), г. ДУБНА

TESTS OF THE SOLENOID OF THE MPD DETECTOR WITHIN THE FRAMEWORK OF THE NICA PROJECT AT THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CENTER OF JINR (JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH), DUBNA

*С.Б. Нестеров³, Е.В. Жировов¹, К.А. Мухин², В.А. Кобзев¹, И.А. Лозанов¹,
А.М. Зверев¹, К.В. Сметанин¹, И.И. Машаров¹*

**S.B.Nesterov, E.V.Zhirovov, K.A.Mukhin, V.A.Kobzev, I.A.Lozanov, A.M.Zverev,
K.V.Smetanin, I.I.Masharov**

¹АО Криогенмонтаж»

²ОИЯИ, г.Дубна

³РНТВО им. академика С.А.Векшинского

Специалистами АО «Криогенмонтаж» совместно с коллегами из ОИЯИ осуществлялась сборка и оптимизация работы вакуумной системы соленоида, проведение тестирования целостности соленоида после транспортировки и установки в магнитопровод, фланцев ввода термометрии и сверхпроводящего кабеля. Также выполнялась проверка контура азотного экрана и жидко гелиевого контура охлаждения самого сверхпроводящего кабеля. Учитывая стадийность работы, а также технологию сборки соленоида, проверка на прочность и герметичность выполняется несколько раз.

Ключевые слова: ОИЯИ г.Дубна, проект "Комплекс NICA", соленоид, криостат.

Specialists of Cryogenmontazh JSC, together with colleagues from JINR, assembled and optimized the operation of the solenoid vacuum system, tested the integrity of the solenoid after transportation and installation in the magnetic circuit, the thermometry input flanges and the superconducting cable. The nitrogen shield circuit and the liquid-helium cooling circuit of the superconducting cable itself were also checked. Taking into account the staging of work, as well as the solenoid assembly technology, the strength and tightness test is performed several times.

Keywords: JINR Dubna, project "NICA Complex", solenoid, cryostat.

В Международном научном центре ОИЯИ (Объединенный Институт Ядерных Исследований), г. Дубна, завершается реализация проекта NICA – создание уникального отечественного сверхпроводящего коллайдера протонов и тяжелых ионов (рис.1).



Рис. 1. Комплекс NICA.

Целью проекта «Комплекс NICA» является создание на территории Российской Федерации экспериментальной базы мирового уровня для проведения фундаментальных исследований по ряду наиболее актуальных вопросов современной физики высоких энергий и выполнения прикладных исследовательских работ для развития микроэлектроники и решения ряда медико-биологических и материаловедческих задач, обеспечение участия в этих исследованиях ученых из научных организаций стран-участниц мега-проекта.

В проекте участвуют ученые из 26 стран. Отличие от Большого адронного коллайдера в том, что в ускорителе будут сталкиваться не протоны, а пучки тяжелых ионов. Главная задача установки - исследования кварк-глюонной плазмы - состояния вещества, существовавшего, по мнению ученых, в первые мгновения после Большого взрыва и прикладные исследования.

В большом кольце коллайдера предусмотрено две точки, где летящие в противоположные стороны тяжелые ядра будут сталкиваться, в них будут установлены два главных детектора: MPD (MultiPurpose Detector — «многоцелевой детектор») и SPD (Spin Physics Detector — «детектор для изучения спиновой физики») (рис. 2).



Рис. 2. Схема «Комплекс NICA».

Главный элемент детектора MPD – криостат (стальной вакуумный сосуд) со сверхпроводящим соленоидом внутри. Сверхпроводящий магнит будет работать при температуре жидкого гелия - $+4^0$ К. Его главная задача обеспечить однородное магнитное поле, ориентированное точно по оси детектора. Криостат представляет собой цилиндр диаметром более 5м и длиной 8 м. Внутри встроены два контура – гелиевый и азотный, а также сверхпроводящий кабель. В мире существуют только две компании, итальянская и японская, способные изготавливать подобное оборудование (рисунок № 3).

Итальянская компания ASG Superconductors специализируется на производстве мощных сверхпроводящих магнитов, именно здесь делали значительную часть магнитов как для Большого адронного коллайдера и его детекторов CMS и ATLAS, так и для его предшественника – электрон-позитронного коллайдера LEP.

Магнит для детектора MPD устроен примерно так же, как магнит детектора CMS. Это два вложенных друг в друга цилиндра из нержавеющей стали диаметром 5,4 метра и 4,6 метра. Торцы закрыты фланцами. В пространстве между ними – катушка с намотанным на нее сверхпроводящим кабелем общей длиной 27 километров и массой 6,4 тонны, трубки системы охлаждения, датчики температуры и напряжения. В пространстве между цилиндрами должен поддерживаться вакуум 10^{-5} Торр.

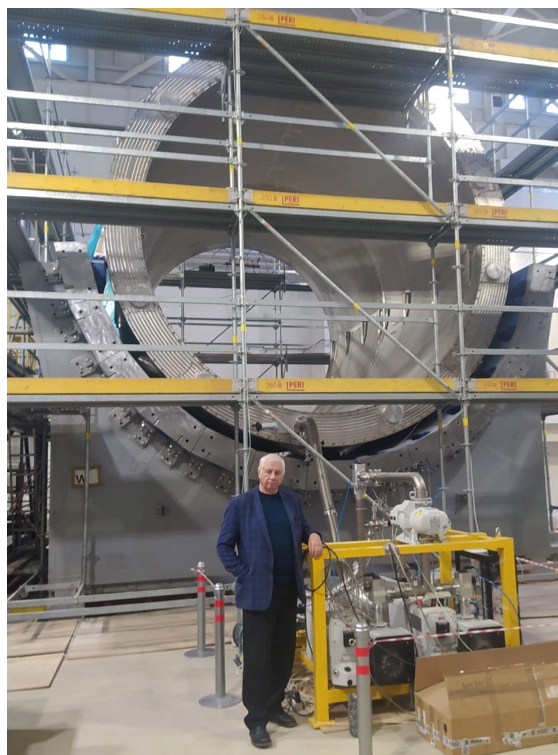


Рис. 3. Сверхпроводящий магнит и вакуумный стенд.

Задачей специалистов АО «Криогенмонтаж» совместно с коллегами из ОИЯИ является сборка и оптимизация работы вакуумной системы соленоида, проведение тестирования целостности соленоида после транспортировки и установки в магнитопровод, фланцев ввода термометрии и сверхпроводящего кабеля. Также важной задачей является проверка контура азотного экрана и жидко гелиевого контура охлаждения самого сверхпроводящего кабеля. Учитывая стадийность работы, а также технологию сборки соленоида, проверка на прочность и герметичность выполняется несколько раз.

Заводом изготовителем ASG Superconductors, АО «Криогенмонтаж» и заказчиком ОИЯИ были разработана схема проверки, основные параметры и методика для каждого

из узлов (рис. 4). Так, для проверки целостности корпуса соленоида был выбран вакуумный метод с обдувом сварных швов, в также разъемных соединений и вводов термометрии, снаружи газообразным гелием, а для повышения чувствительности метода швы и узлы соединений накрывались пакетами. Проверка выполнялась следующим образом. Из вакуумной полости откачивался воздух до давления 10^{-4} мбар, при этом фон течеискателя при пропускании полного потока составлял не более $2 \cdot 10^{-8}$ мбарл/с. При проверке на герметичность азотного и гелиевого контуров, внутрь каждого из них подается гелий давлением 10 и 25 бар соответственно. В случае течи гелий также попадет в откачиваемый объем и течь будет обнаружена. Стоит отметить, что давление испытаний превышает рабочее в 1.5 раза, что говорит о дополнительном запасе прочности изделия.

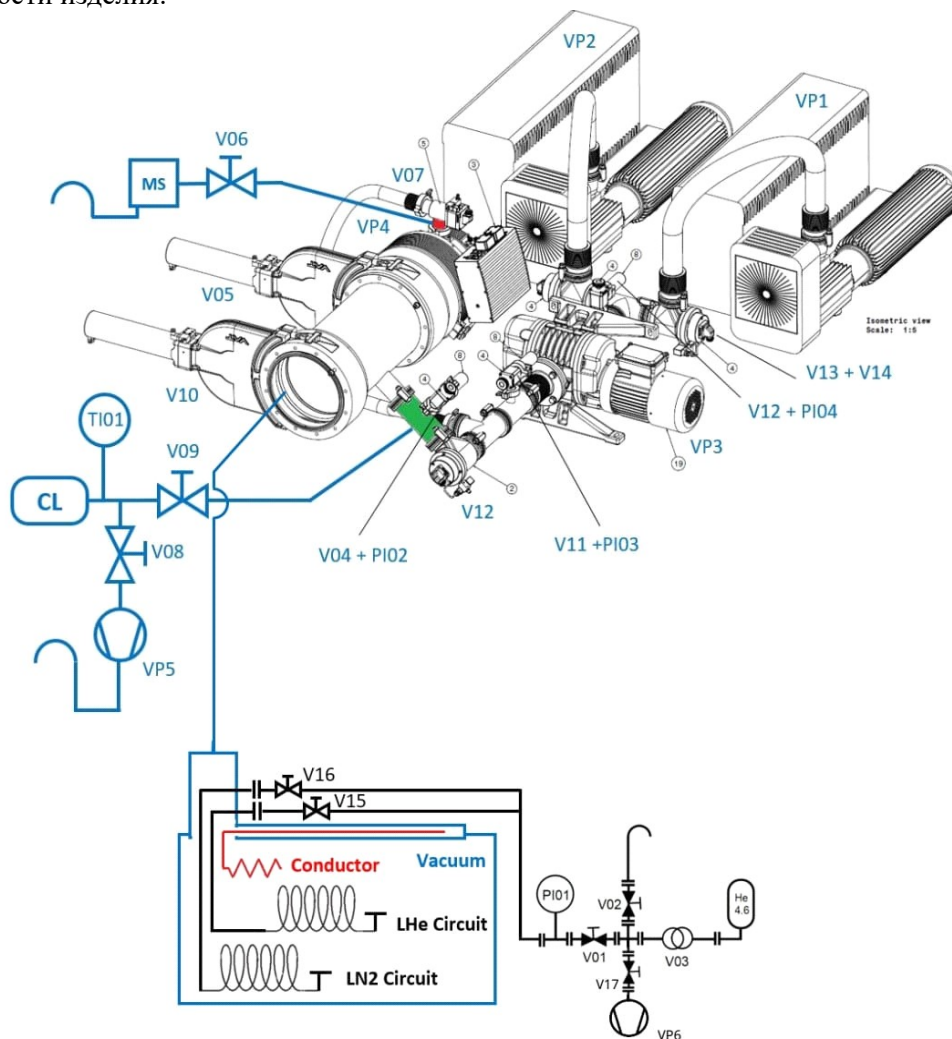


Рис.4. Стенд для вакуумирования криостата и проведения испытаний на вакуумную герметичность.

VP1, VP2 - Насосы вакуумные пластинчато-роторные SOGEVAC SV 300 B; VP3 – насос вакуумный двухроторный WSU 251; VP4 - насос высоковакуумный турбомолекулярный TURBOVAC MAG W 2200 iP; VP5, VP6 - насос вакуумный спиральный; V04 - V14 – вакуумная запорная арматура; MS – течеискатель гелиевый; CL – калиброванная течь гелит-1; TI01 – температурный датчик; PL02-PL04 – преобразователи манометрические комбинированные (контроль вакуума); PL-01 – манометр для контроля давления пробного газа; V01-V03, V15-V17 – запорная арматура высокого давления; LN2 – азотный контур теплового экрана; LHe – гелиевый контур соленоида.

По результатам испытаний было установлено, что вакуумный объем и установленные на торцах фланцы герметичны, также тест на утечку успешно прошел и гелиевый контур. Однако азотный контур испытания не прошел. При проверке герметичности азотного контура рабочим давлением 10 бар, была выявлена утечка пробного газа. Величина утечки составила порядка 1×10^{-5} мбар л/с, что является недопустимым дефектом. Проанализировав параметры утечки и конструкцию контура, были определены предполагаемые места дефекта. Дефект был выявлен последовательным контролем каждого миллиметра сварных швов масс-спектрометрическим методом, способом «щупа». В результате поиска, течь была обнаружена на тройнике, в месте пайки медного трубопровода. Совместно, специалистами ASG, Криогенмонтаж и ОИЯИ была разработана и согласована программа ремонта течи. В последствие, течь был отремонтирована, а повторные испытания показали герметичность контура в пределах заданных параметров 2×10^{-8} мбарл/с (рис. 5).

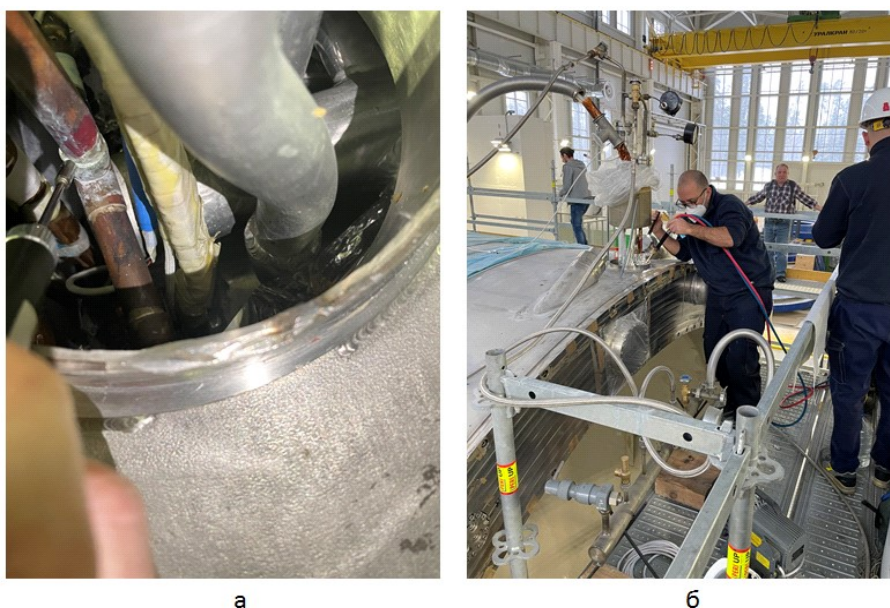


Рис. 5. Локализация (а) и ремонт (б) азотного контура теплового экрана соленоида.

Несмотря на сходство с магнитами для Большого адронного коллайдера, магнит для MPD – штучное изделие. Только для того, чтобы создать инструменты и оснастку для постройки, понадобилось два года. Пришлось повозиться и со сверхпроводящим кабелем. «Первоначально планировалось заказать его компании из Бразилии, но кабель был забракован, потом из Америки — тоже не пошел. В конце концов японский вариант подошел. Только работа с кабелем заняла полтора года».

Сверхпроводящий кабель сделан из собственно сверхпроводящего провода (сплав ниобия и титана), и матрицы из сверхчистого алюминия, в которую он внедрен. Для того, чтобы намотать получившийся кабель на катушку, потребовалась построить намоточную машину высотой с трехэтажный дом, — сложное инженерное сооружение, с электромоторами, точной подачей, с контролем намотки. После намотки катушку залили густой жидкостью на базе эпоксидной смолы и запекли в специально построенной печи. «Нельзя было допустить, чтобы даже один пузырек воздуха остался в этой смоле. Пришлось бы все делать заново».

Соленоид с системой труб системы охлаждения поместили в вакуумный криостат и примерно год испытывали и проверяли. Затем магнит уложили в специально построенный семиметровый саркофаг, оснащенный датчиками ускорений, и 18 сентября

отправили морем из Генуи в Петербург. Всего постройка магнита заняла почти пять лет — переговоры российских физиков с подрядчиками начались еще в 2014 году, а формальный контракт подписан в 2016 году.

Следует отметить, что работы по сборке и проверкам соленоида будут продолжены по мере сборки, также будет необходимо установить вакуумную систему в рабочее положение и провести тестовую откачку с выводом работы системы на заводские параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуумная техника. Справочник. Под общ. ред. К.Е.Демикова, Ю.В.Панфилова, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009
2. СТП 2082-653-2006. Контроль неразрушающий. Испытания вакуумные манометрическим методом.
3. Документация по монтажу и испытаниям завода-изготовителя.