

# Разработка методики испытаний и установки в магниты вакуумных камер УНК–600

А.М. Кивер, К.Г. Мирзоев

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

В периодах магнитной структуры ускорительно-накопительного комплекса УНК–600 [1] используются отклоняющие дипольные магниты с замкнутым ярмом двух типов — МА и МВ — с расстоянием между полюсами по вертикали 64 и 48 мм соответственно. Вакуумные камеры должны находиться в магнитах без зазоров по вертикали и быть плотно зажатыми между полюсами. Вместе с тем камеры должны свободно входить в магниты при монтаже. Для выполнения этих условий камеры, поставляемые заводом-изготовителем, имеют эллипсные сечения с осями  $70 \times 66$  и  $92 \times 50$  мм<sup>2</sup> соответственно для МА и МВ диполей, а перед установкой в магниты производится механическая осадка камер по вертикали. Использование приспособления для механической осадки привело к ухудшению вакуумных параметров камер. Целью настоящей работы является разработка методики установки камер, позволяющей избежать этого ухудшения.

Камеры выполнены из нержавеющей стали 09Х18Н10Т толщиной 1 мм. В процессе их изготовления проводилась электрохимическая полировка внутренней поверхности и отжиг в вакуумной печи при температуре 500°С в течение 5 часов при давлении  $10^{-4}$  мм рт.ст. Камеры поставляются с одним приваренным фланцем, второй фланец приваривается после монтажа камеры в диполь. Установка камер в магниты, или так называемый “верхний монтаж”, производится на стенде, состоящем из трех ступеней, принципиальная схема одного из которых приведена на рис. 1.

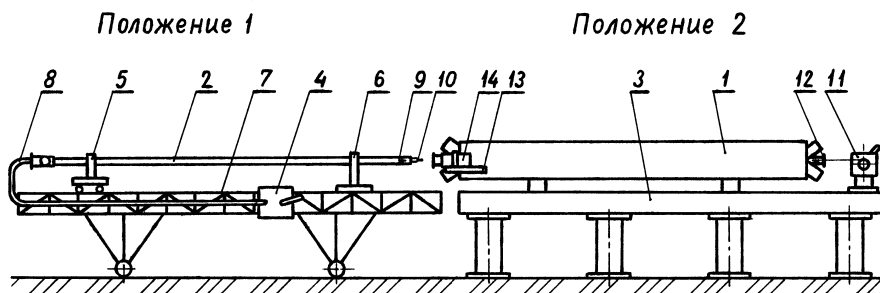


Рис. 1: Схема ступени стенда установки камер в магниты: 1 — дипольный магнит; 2 — вакуумная камера; 3 — контрольно-сборочный стол; 4 — гидронасос; 5 — каретка; 6 — опора; 7 — передвижная тележка; 8 — дюритовые шланги; 9 — проушина; 10 — приспособление для осадки; 11 — лебедка; 12 — второй фланец камеры; 13 — кронштейн для крепления насоса; 14 — насос ПВИГ–100.

По методике, разработанной НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, монтаж камеры производится в следующей последовательности. Внутрь камеры (поз.2) вводится приспособление для осадки 10, камера осаживается с помощью гидронасоса 4 и дюритовых шлангов 8. Затем камера устанавливается на передвижной тележке 7 с помощью опоры 6 и подвижной каретки 5 (положение 1) и вводится между полюсов дипольного магнита 1, установленного на контрольно-сборочном столе 3 (положение 2). Требуемое положение камеры контролируется штангенциркулем, в поперечном направлении камера фиксируется стеклотекстолитовыми кольцами, приспособление для осадки вынимается и к камере приваривается фланец 12. После этого на магнит монтируется комбинированный ионно-геттерный насос ПВИГ–100

(поз.14), соединяемый с камерой металлическим уплотнением. Затем к камере подсоединяется передвижной откачной пост с турбомолекулярным насосом 01АБ-450-003 для проведения вакуумных испытаний, в процессе которых осуществляется также очистка внутренней поверхности камеры от загрязнений тлеющим разрядом в аргоне. С этой целью по оси камеры устанавливается проволочный электрод в виде нити, натянутой между высоковольтным вводом и изолятором на противоположном конце камеры. После обработки суммарная доза ионов аргона на единицу внутренней поверхности камеры составляет около  $5 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, что является оптимальной величиной при очистке камер электро-физических установок. Затем включается магниторазрядный насос и обрабатывается аргонном для очистки и обезгаживания, после чего пост предварительной откачки перекрывается, и дальнейшая вакуумная тренировка камеры осуществляется только сверхвысоковакуумным насосом.

По окончании тренировки замеряются величины предельного давления, суммарного потока газовыделения и натекания в камеру и производится консервация камеры: в неё напускается сухой азот до небольшого избыточного давления, камера заглушается с обеих сторон временными заглушками, насос закрепляется хомутом на кронштейне для транспортировки, и магнит с камерой направляется к месту накопления для опускания в шахту и монтажа в тоннеле ускорителя.

Для контрольных испытаний на камеры устанавливался омегатронный датчик измерителя парциальных давлений, и откачка проводилась в течение более 1500 часов, тогда как при массовых типовых испытаниях камер откачка проводится в течение нескольких десятков часов и состав компонентов остаточного газа не контролируется.

Результаты контрольных испытаний одной из камер приведены на рис. 2 (кривая 1). Несмотря на длительную откачку в течение 850 часов и неоднократные обработки разрядом, не удалось получить давление ниже  $10^{-8}$  мм рт.ст. После распыления титана в сублимационной части насоса (резкий спад на кривой 1) и откачки в течение еще 800 часов установилось давление  $2 \cdot 10^{-9}$  мм рт.ст. Для сравнения на рис. 2 приведена кривая 2, отражающая (без учета напусков атмосферы) процесс откачки периода [2], камеры которого прошли аналогичную обработку, но без использования приспособления для осадки камер.

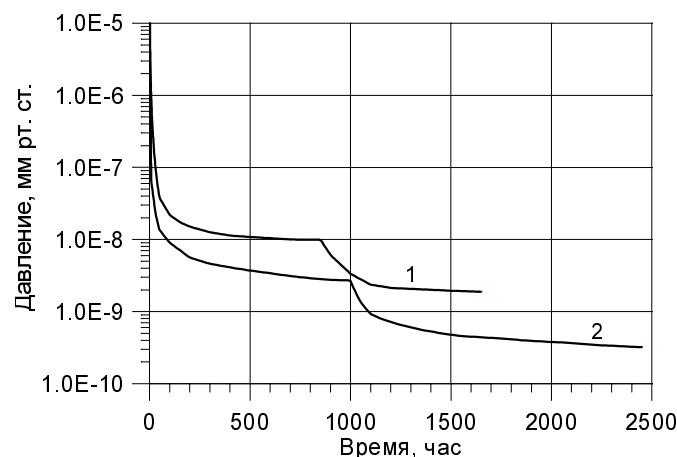


Рис. 2: Зависимость предельного давления в камерах от времени их откачки для одной из контрольных камер после установки в магнит с помощью механического приспособления (кривая 1) и для камер, в которые не устанавливалось приспособление (кривая 2).

Как видно из графика, соответствующие значения давления составляют  $2,5 \cdot 10^{-9}$  мм рт.ст. без распыления и  $3 \cdot 10^{-10}$  мм рт.ст. после распыления титана при сравнимых временах

откачки, что почти на порядок ниже. В то же время доля углеводородов в спектре масс остаточного газа составляла 2% в случае периода [2], а для камер, исследованных в настоящей работе, сумма парциальных давлений углеводородов и двуокиси углерода, являющейся продуктом распада углеводородов, превосходила 20% от общего давления. Эту долю удалось снизить до нескольких процентов только после многократных очисток разрядом в аргоне.

Таким образом, использование приспособления для осадки камер существенно снижает их вакуумные качества. Причиной этого являются особенности конструкции приспособления, которое должно растягивать камеру в горизонтальном направлении и уменьшать её вертикальный размер повышением давления в шлангах (поз.8, рис. 1) с помощью гидронасоса. Вследствие трения большого количества металлических деталей при деформации камеры, вводе и выводе приспособления, на внутренней поверхности камеры появляются многочисленные царапины, риски и задиры, в которых застревает металлическая пыль, частицы, осыпающиеся с поверхности шлангов при работе приспособления, а также волокна от бязи при последующей протирке. Эти загрязнения практически невозможно удалить при дальнейшей тщательной промывке и протирке камеры растворителями, что и приводит к появлению паров органических соединений при откачке и ухудшению предельного вакуума в камере почти на порядок. Кроме того, из-за возможного разрыва шлангов под давлением, камера может застрять в зазоре в промежуточном положении, и в нее попадет рабочая жидкость гидронасоса (спирто-глицериновая смесь). Поэтому такой технологический процесс осадки камер является неприемлемым при массовом их монтаже. К тому же желательно сохранить возможность получения давления ниже  $10^{-9}$  мм рт.ст. в достаточно хорошо изготовленных и чистых сверхвысоковакуумных камерах дипольных магнитов, имея в виду возможное использование УНК-600 для накопления протонов в режиме встречных пучков.

В качестве альтернативного метода осадки камер без повреждения их внутренней поверхности разработан способ осадки под вакуумом, применяющийся в настоящее время. Этот способ заключается в установке камеры в магнит под вакуумом путем предварительной откачки камеры форвакуумным насосом с использованием заглушки специальной конструкции, не выступающей за пределы торца камеры. При откачке под действием внешнего атмосферного давления происходит осадка камеры из-за её эллиптического сечения, вследствие чего результирующие силы приложены к камере в вертикальном направлении. Высота камеры контролируется на поверочном столе штангенциркулем по всей длине, и каждая камера подгоняется до нужного размера путем рихтовки под вакуумом, что позволяет деформировать камеру при относительно небольших усилиях рихтовки.

Данная методика отработана на нескольких десятках камер обоих типов. Камеры типа МВ имели средний размер 50,1 мм и после откачки осаживались в среднем на 2 мм, что соответствует проектным расчетам. При этом рихтовке подвергались лишь отдельные камеры большего размера. В случае камер МА осадка после откачки значительно меньше (0,2÷0,3 мм) ввиду небольшой разницы между размерами осей эллипса, поэтому подгонять рихтовкой приходится почти все камеры. При подгонке достаточно трудно добиться одинакового размера по всей длине камеры. Это вызвано неодинаковостью температуры по длине вакуумных печей при отжиге камер на заводе-изготовителе, что приводит к разной жесткости камер из-за различия в величине модуля упругости и разбросу в размерах после откачки. Тем не менее камеры МА и МВ в результате рихтовки достигают под вакуумом размера 64,1 ÷ 64,2 мм и 48,1 ÷ 48,2 мм соответственно, что обеспечивает жесткую фиксацию камер в магнитах. Протаскивание камеры в зазоре магнита даже под вакуумом требует значительных усилий. Для этого по бокам камеры привариваются две проушины, и камера втаскивается тросом ручной лебедкой (поз.11, рис. 1), снабженной редуктором с передаточным числом 5.

С помощью метода вакуумной осадки удается сохранить внутреннюю поверхность камеры неповрежденной. Тем не менее приспособление для механической осадки может быть использовано, если по какой-либо причине камеру нужно вынуть из магнита после её монтажа или при заклинивании камеры в магните в процессе её установки.

Таким образом, разработан, испытан и внедрен на практике процесс установки камер в магниты, позволяющий улучшить предельно достижимый вакуум в камере на порядок по сравнению с проектным.

### **Список литературы**

- [1] Ускорительно-накопительный комплекс на энергию 3000 ГэВ. (Физическое обоснование): Препринт ИФВЭ 93–27, Протвино, 1993.
- [2] Антонов С.С. и др. – Препринт ИФВЭ 91–102, Протвино, 1991.