



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 97-29  
ОУНК

А.М. Кивер, К.Г. Мирзоев, С.Е. Порошков, В.И. Сокольский

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ  
И УСТАНОВКИ В МАГНИТЫ  
ВАКУУМНЫХ КАМЕР УНК-600**

Протвино 1997

**Аннотация**

Кивер А.М. и др. Разработка методики испытаний и установки в магниты вакуумных камер УНК-600: Препринт ИФВЭ 97-29. – Протвино, 1997. – 9 с., 5 рис., библиогр.: 4.

Описаны результаты испытаний камер и разработки метода вакуумной осадки при установке камер в магниты, что сохраняет поверхность камер от повреждений и значительно улучшает вакуумные параметры. Определено оптимальное расстояние между центрами камер и дипольных магнитов, одинаковое для всех магнитов каждой стены туннеля.

**Abstract**

Kiver A.M. et al. The Development of Test Procedure and Installation of Vacuum Chambers of UNK-600 into the Magnets.: IHEP Preprint 97-29. – Protvino, 1997. – p. 9, figs. 5, refs.: 4.

The results of testing the chambers test and development of vacuum compression technique during the chambers installation into the magnet have been described. This method keep to protect the chambers surface from mechanical damages and considerably improves vacuum parameters. The optimum distance between the centres of the chambers and dipole magnets equal for all the magnets of each wall of the tunnel is determined.

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 зажаты 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  $500^{\circ}\text{C}$  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.

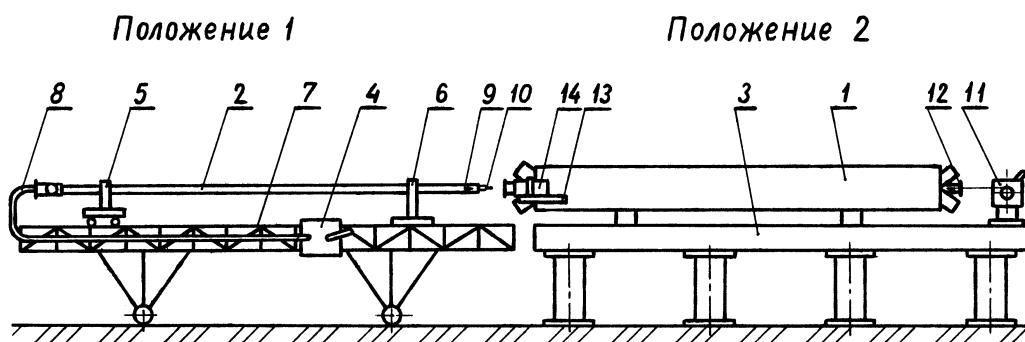


Рис. 1. Схема ступени стенда установки камер в магниты: 1 — дипольный магнит; 2 — вакуумная камера; 3 — контрольно-сборочный стол; 4 — гидронасос; 5 — каретка; 6 — опора; 7 — передвижная тележка; 8 — дюритовые шланги; 9 — проушина; 10 — приспособление для осадки; 11 — лебедка; 12 — второй фланец камеры;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

По методике, разработанной НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, монтаж камеры производится в следующей последовательности. Внутри камеры (поз.2) вводится приспособление для осадки 10, камера осаждается 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 [2], соединяемый с камерой металлическим уплотнением. Затем к камере подсоединяется передвижной откачной пост 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.

Принципиальная схема вакуумной установки для испытаний и очистки камер показана на рис.2.

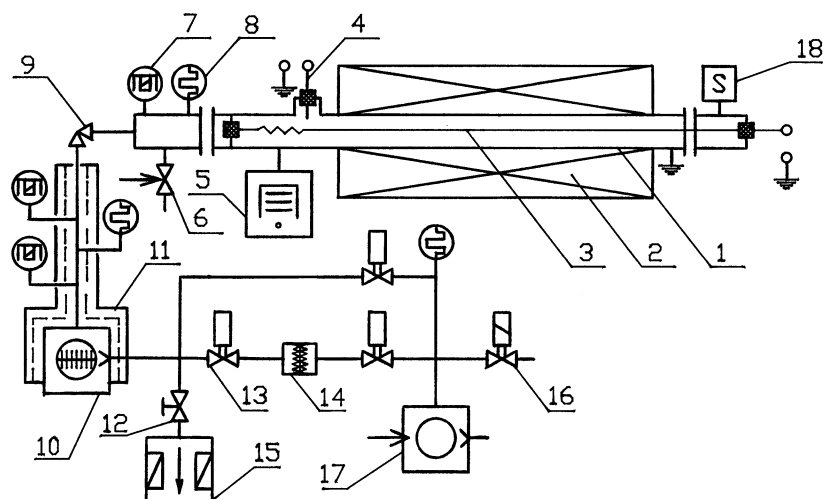


Рис. 2. Схема вакуумной системы для испытаний и обработки камер магнитов: 1 — вакуумная камера; 2 — дипольный магнит; 3 — нить для очистки камеры с устройством натяжения; 4 — высоковольтный ввод с керамическим изолятором; 5 — насос ПВИГ-100; 6 — нагреватель для напуска аргона; 7 — магниторазрядный манометр ПММ-46; 8 — терморезисторный манометр ПМТ-6-3Ф; 9 — угловой вентиль Ду-50; 10 — турбомолекулярный насос 01АБ-450-003; 11 — система прогрева с кожухом; 12 — вентиль ручной Ду-25; 13 — пневмоклапан Ду-25; 14 — адсорбционная ловушка; 15 — гелиевый течеискатель ТИ1-14; 16 — клапан для напуска воздуха; 17 — форвакуумный насос 2НВР-5ДМ; 18 — омегатронный датчик РМО-4С (устанавливается при контрольных измерениях).

Откачка камеры производится турбомолекулярным насосом 01АБ-450-003 до давления  $10^{-6} \div 10^{-5}$  мм рт.ст., поиск течей — масспектрометрическим гелиевым течеискателем ТИ1-14 при чувствительности не хуже  $5 \cdot 10^{-11}$  л·мм рт.ст./с, что

обеспечивает проектный уровень герметичности камер. После ликвидации обнаруженных течей внутренняя поверхность камер обрабатывается разрядом в аргоне при давлении  $1,8 \div 3,0 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст. подачей на нить напряжения 7 кВ от источника с падающей вольтамперной характеристикой в течение  $20 \div 30$  минут. При зажигании разряда напряжение падает до  $300 \div 400$  В при токе разряда 1,2 А. При такой обработке 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 [3]. Затем включается магниторазрядный насос и обрабатывается аргонem при давлении  $10^{-4}$  мм рт.ст. 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.3 (кривая 1).

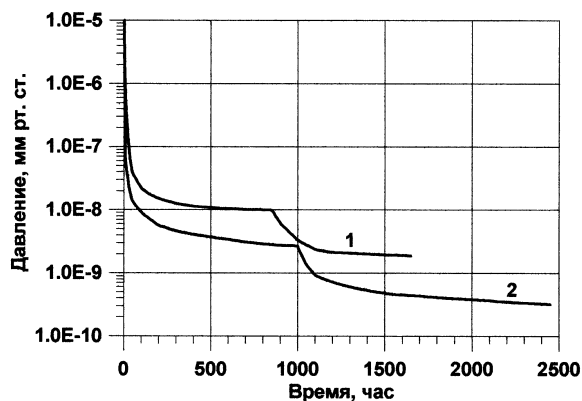


Рис. 3. Зависимость предельного давления в камерах от времени их откачки для одной из контрольных камер после установки в магнит с помощью механического приспособления (кривая 1) и для камер, в которые не устанавливалось приспособление (кривая 2).

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.3 приведена кривая 2, отражающая (без учета напусков атмосферы) процесс откачки периода[2], камеры которого прошли аналогичную обработку, но без использования приспособления для осадки камер.

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, приведенные на рис.4 для случая камер магнитов МА.

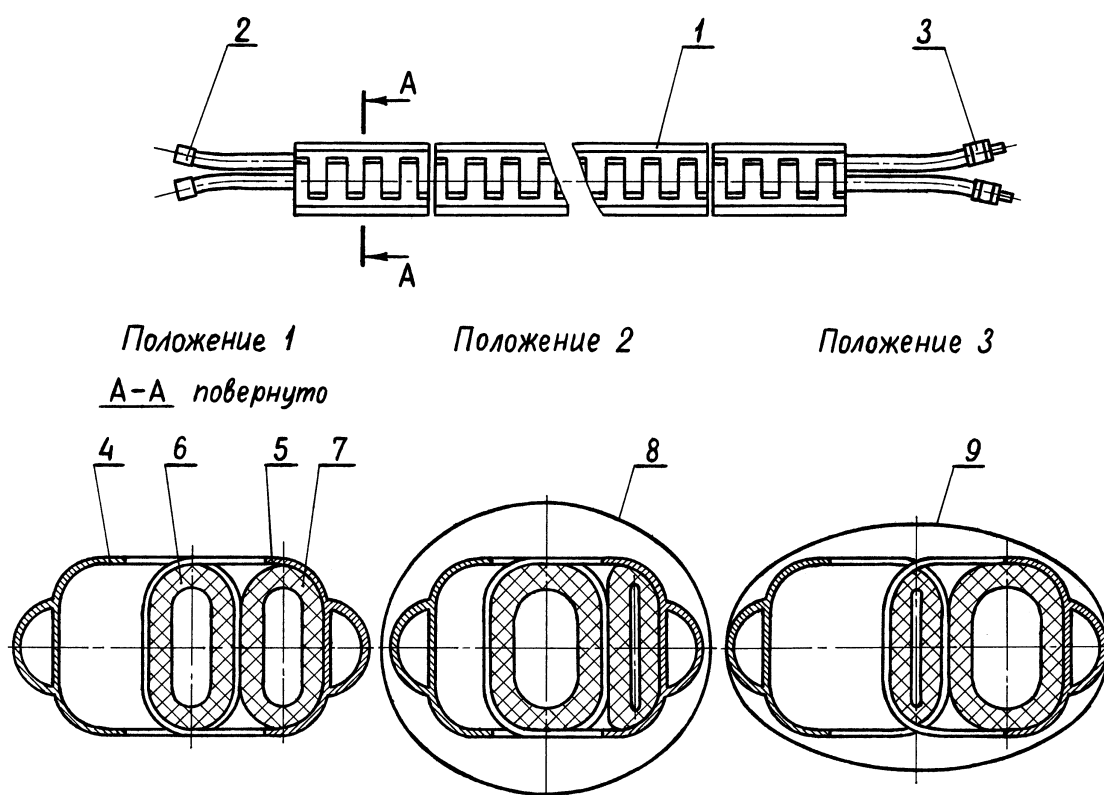


Рис. 4. Приспособление для осадки камер дипольных магнитов: 1 — приспособление в сборе; 2 — наконечник с заглушкой; 3 — гидроразъем; 4 — полукассета левая; 5 — полукассета правая; 6 — рукав дюритовый левый; 7 — рукав дюритовый правый; 8 — камера типа МА до осадки; 9 — камера МА, осажённая для установки в магнит.

Приспособление состоит из 17 кассет замкового типа, которые связаны между собой двумя дюритовыми шлангами Ду-20, сжатыми в правой и левой полукассетах по горизонтали до половины сечения при начальном положении 1 приспособления вне камеры. При работе приспособления усилия направлены по большой оси эллипса

камеры. На первом этапе давление до 40 ати, достигаемое с помощью гидронасоса, подается в левый шланг 6, при этом шланг 7 сжимается, горизонтальный размер приспособления становится минимальным и оно заводится внутрь камеры (положение 2). Затем давление в шланге 6 снимается и подается в правый шланг 7, при этом механические усилия растягивают камеру в горизонтальном направлении и уменьшают ее вертикальный размер до величины менее 64 мм (положение 3).

В растянутом состоянии камера вместе с приспособлением вводится в зазор магнита с помощью лебедки с тросом и выставляется в требуемое положение, после чего снимается давление в шланге 7, подается в шланг 6 и приспособление выводится из камеры. 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 описанный выше 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.

Поэтому 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 ( $0,2 \div 0,3$  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  $64,1 \div 64,2$  мм и  $48,1 \div 48,2$  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, снабженной редуктором с передаточным числом 5.

Таким образом удастся сохранить внутреннюю поверхность камеры неповрежденной. Тем не менее описанное выше приспособление 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.

В связи с тем, что установка камер должна производиться после измерения характеристик дипольных магнитов, имеются определенные проблемы в монтаже и расстановке соответствующих камер. Одним из главных параметров при монтаже является регулярно повторяющееся расстояние между центрами двух последовательно расположенных квадрупольных линз, то есть длина полупериода магнитной структуры. Все камеры дипольных магнитов имеют одинаковую длину равную 6,4 м и сумма длин камер магнитов и камер других узлов полупериода регулярной части равна 45,9 м. Однако длина полупериода по замкнутой орбите зависит от расположения данного участка на внешней или внутренней стене тоннеля и отличается от указанной величины на  $\Delta = \pm 21,7$  мм, а расстояние между центрами двух соседних дипольных магнитов отличается от длины камеры на величину  $\varepsilon = \pm 3,1$  мм соответственно. Эта разница, очевидно, должна быть скомпенсирована путем растяжения или сжатия сильфонных развязок, расположенных с одной стороны каждой камеры.

Особенностью конструкции камер квадрупольных линз является их жесткая привязка к торцам железа линз, связанная с расположением в этих местах датчиков диагностики пучка, которые устанавливаются на торцах при помощи специальных стаканов. Если бы длина всех линз была одинакова, то никаких трудностей не возникало бы. Однако из-за разницы в характеристиках разных партий железа линзы могут отличаться между собой по длине до 11 мм и если эти отличия у двух соседних линз направлены в разные стороны, то могут появляться значительные сдвиги цепочки камер в пределах полупериода. Это приводит к необходимости предварительного подбора и расстановки линз до расстановки дипольных магнитов, в результате чего магнитные измерения дипольных магнитов и линз оказываются связанными между собой. Указанные сдвиги также могут быть исправлены только сильфонными развязками. За счет тех же развязок должны быть установлены прокладки быстроразъемных соединений и скомпенсирована разница в длинах камер и других элементов как в пределах допусков изготовления, так и из-за случайных отклонений. Кроме того, должна быть обеспечена возможность соединения камер лайнерами при монтаже, для чего сильфоны в развязках необхо-



димо сжимать. Ввиду ограниченной возможности сильфонов ранее предполагалось равномерно распределить между всеми сильфонами полупериода ту разницу в длинах, которую возможно учесть до установки камеры в каждый магнит, поскольку после установки камера жестко зафиксирована в магните. Положение камеры в диполе удобно определять расстоянием  $a$  от его центра до первого по ходу пучка торца камеры.

Исходя из указанного выше условия одинаковости растяжения или сжатия сильфонов полупериода, можно получить следующее соотношение, связывающее между собой расстояние  $a_i$  для  $i$ -го по счету диполя с  $l_j$  и  $l_{j+1}$  — длинами линз начала и конца  $j$ -го полупериода:

$$a_{ij} = A - B - \frac{l_j}{2} - (m + i - 1) \frac{d}{k} + \frac{i + 1}{n} [d - \frac{1}{2}(l_{j+1} - l_j)] \pm \left\{ (i - 1)\varepsilon - \frac{i + 1}{n} \Delta \right\},$$

где  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ;  $A$  — расстояние между центрами  $j$ -ой линзы и 1-го диполя полупериода;  $B$  и  $m$  — сумма длин всех узлов и количество сильфонов между камерами  $j$ -ой линзы и 1-го диполя соответственно;  $k$  и  $n$  — число прокладок и сильфонов, а  $d$  — сумма толщин всех прокладок в полупериоде соответственно;  $\varepsilon$  и  $\Delta$  имеют указанные выше значения без учета знака, а знак минуса перед фигурной скобкой относится к случаю внутренней стены туннеля. Отсюда следует, что каждая камера дипольного магнита должна иметь заранее выбранное индивидуальное значение величины  $a_{ij}$ , зависящее от выбора соседней пары квадрупольных линз.

Установка камер в магниты может производиться только после накопления не менее 8 измеренных магнитов обоих типов, чтобы обеспечить возможность их оптимальной расстановки шестерками в нормальных периодах и парами на специальных участках магнитной структуры [4]. В дальнейшем не должно происходить каких-либо уточнений и изменений ввиду индивидуальности установки каждой камеры в каждый магнит. Однако после получения с заводов-изготовителей всех квадрупольных линз и камер регулярной части УНК-600 были измерены реальные длины линз и камер, что позволило провести более тщательную проработку вопроса о расстановке камер.

Результаты этой проработки схематически представлены на рис.5 для случая полупериода у внешней стены. Цифры около сильфонных развязок обозначают ожидаемую величину в миллиметрах растяжения (+) или сжатия (–) каждого из 8 сильфонов полупериода для трех случаев: средний ряд цифр при проектной длине обеих линз  $l_{расч}$ , верхний и нижний ряды — для случая линз максимальной  $l_{max}$  или минимальной  $l_{min}$  длины с каждой стороны, что включает в себя случаи линз промежуточной длины. Как показано на схеме, пять сильфонных развязок между магнитами могут быть растянуты одинаково и компенсировать величину  $\varepsilon$ , а разница в длинах линз для всех (за исключением одной линзы) компенсируется двумя сильфонами в левом и одним сильфоном в правом промежутке между линзой и дипольным магнитом. При этом различия в деформации сильфонов незначительны

(особенно для случая у внешней стены) и находятся в пределах возможностей сильфонных развязок. Указанные цифры обеспечиваются автоматически за счет выбора двух различных оптимальных значений величин  $a$  для периодов, расположенных у внутренней и у внешней стен тоннеля.

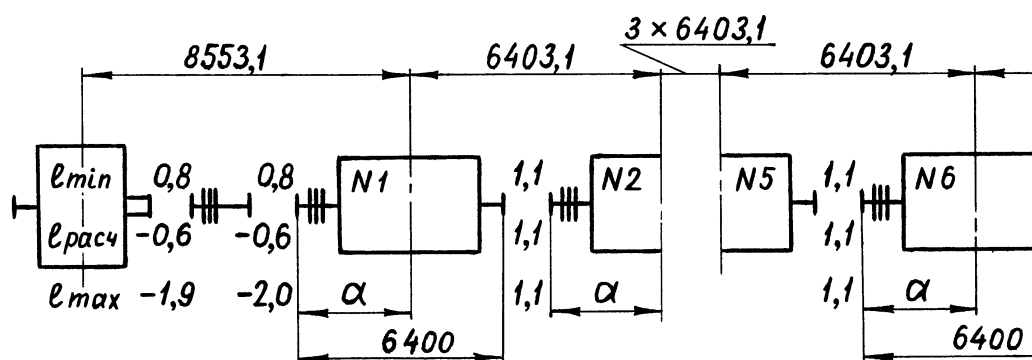


Рис. 5. Схема половины нормального периода магнитной структуры для внешней стены тоннеля: № 1 ÷ № 6 — дипольные магниты;  $l_{расч}$ ,  $l_{min}$ ,  $l_{max}$  — соответственно проектная, минимальная и максимальная длины квадрупольных линз; цифры у сильфонных развязок указывают деформацию сильфона в миллиметрах.

Такая же величина  $a$  выбрана для камер магнитов специальных участков согласования дисперсии и выравнивания длин орбит, расположенных на соответствующей стене тоннеля. Одинаковость этой величины позволила обезличить камеры магнитов, что в принципе делает возможным внесение в расстановку магнитов с вставленными камерами некоторых изменений и уточнений (с заменой соответствующих лайнеров между камерами) до монтажа диполей в тоннеле, а также упрощает измерения, документацию и учет при установке камер.

По описанной методике в настоящее время производится установка камер в дипольные магниты одновременно на трех стапелях стенда. Таким образом, основные результаты, полученные в настоящей работе, следующие:

1. Разработан, испытан и внедрен на практике метод вакуумной осадки камер, позволяющий улучшить предельно достижимый вакуум в камере на порядок по сравнению с проектным.
2. Определено и принято оптимальное расположение камеры в дипольном магните, унификация которого позволяет отказаться от ограничений в выборе соседних линз и развязать между собой процессы установки камер в диполи и расстановки диполей и линз по участкам магнитной структуры.

В заключение считаем своим долгом выразить благодарность К.П. Мызникову, Ю.С. Федотову и В.Г. Рогозинскому за постоянную поддержку и интерес к работе, а также В.А. Важенину и П.Н. Чиркову за плодотворное сотрудничество.

## 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.
- [3] Mathewson A.G., CERN-LEP-VA/87–63, Geneva, 1987.
- [4] Петренко И.И. и др. В кн.: Труды XIV Совецания по ускорителям заряженных частиц. – Протвино, 1994, т.4, стр.64–69.

*Рукопись поступила 29 апреля 1997 г.*

А.М. Кивер и др.

Разработка методики испытаний и установки в магниты вакуумных камер  
УНК-600.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 12.05.97. Формат  $60 \times 84/8$ .      Офсетная печать.

Печ.л. 1,12.    Уч.-изд.л. 0,9.    Тираж 180.    Заказ 1037.    Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

