

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



K-772

29/12-79

P13 - 11862

Н.П.Кравчук, Й.Полах, А.И.Филиппов

5489/2-79

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ВЕЩЕСТВА

**1978**

P13 - 11862

Н.П.Кравчук, Й.Полах, А.И.Филиппов

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР  
С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ВЕЩЕСТВА

Кравчук Н.П., Полах И., Филиппов А.И.

P13 - 11862

Конструкция и технология изготовления цилиндрических и гиперболических пропорциональных камер с малой плотностью вещества

Описана конструкция ряда цилиндрических и гиперболических пропорциональных камер и технология их изготовления. Камеры предназначаются для использования их в качестве детекторов заряженных частиц с малым количеством вещества в рабочем объеме в многоцелевом спектрометре АРЕС (Анализатор редких событий). Использован метод намотки проволок камер на технологической опоре, которая затем удалялась из зоны рабочего объема, а нагрузка от натянутых проволок воспринималась внешней опорой. Намотка осуществлялась за счет последовательного вращения камеры вокруг вертикальной и горизонтальной осей с укладкой проволок на специальные шаблоны. Таким образом осуществлялось изготовление как одиночных, так и блоков из нескольких пропорциональных камер, цилиндрических и гиперболических. Описаны методы контроля за выполнением отдельных технологических операций.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Kravchuk N.P., Polakh I., Filipov A.I.

P13 - 11862

Design and Technology of Cylindrical and Hyperbolic Proportional Chambers with Low Density of Matter

Cylindrical and hyperbolic multiwire proportional chambers have been constructed at the JINR Laboratory of Nuclear Problems. The construction and technology are described. The wires were tightened by means of a special winding device.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В последние годы в практике физического эксперимента на ускорителях все шире используются многопроволочные пропорциональные и дрейфовые камеры, обладающие рядом преимуществ перед остальными видами детекторов заряженных частиц. Наряду с плоскими камерами начинают создаваться и использоваться также цилиндрические, гиперболические и геликоидальные пропорциональные камеры, которые, несмотря на сравнительно сложную конструкцию и технологию изготовления<sup>1-3/</sup>, позволяют создавать высокоэффективные установки благодаря большому телесному углу, присущему камерам такого типа.

В настоящем сообщении рассмотрен ряд вариантов конструкций цилиндрических и гиперболических многопроволочных, пропорциональных камер, а также технология их изготовления. Опыт, полученный при этих разработках, используется при проектировании и создании детектирующих камер установки АРЕС<sup>4/</sup>. Перед нами стояла цель - создать камеры с минимальным количеством вещества в рабочем объеме. Для этого монтаж камер выполнялся на технологической/центральной/ опоре, которая затем удалялась, а усилия от натянутых проволок воспринимались внешней опорой. При этих условиях и были разработаны рассмотренные ниже конструкции и технология изготовления таких камер.

Рассмотрим принципиальное устройство камер на примере цилиндрической /рис. 1а/. Два параллельно расположенных фланца 1 скреплены распорным элементом 2. На них, по образующей цилиндра, закрепляются проволочки, образующие три коаксиальных слоя камеры

3,4. Наружный и внутренний являются высоковольтными электродами, а центральный - информационным. В случае необходимости распорный элемент может быть удален. Для этого один из фланцев закрепляют на наружном каркасе 5 /рис. 1б/, путем приложения осевого усилия ко второму фланцу переносят нагрузку от натянутых проволок на наружный каркас и удаляют распорный элемент. При этой операции расстояние между фланцами камеры дополнительно увеличивается на 0,1 - 0,2 мм.

Фланцы камеры собираются в процессе ее изготовления из коаксиальных колец, изготовленных из стеклотекстолита марки СТЭФ. Для восприятия нагрузки кольца снабжены упорами и при монтаже, кроме этого, склеиваются эпоксидным клеем.

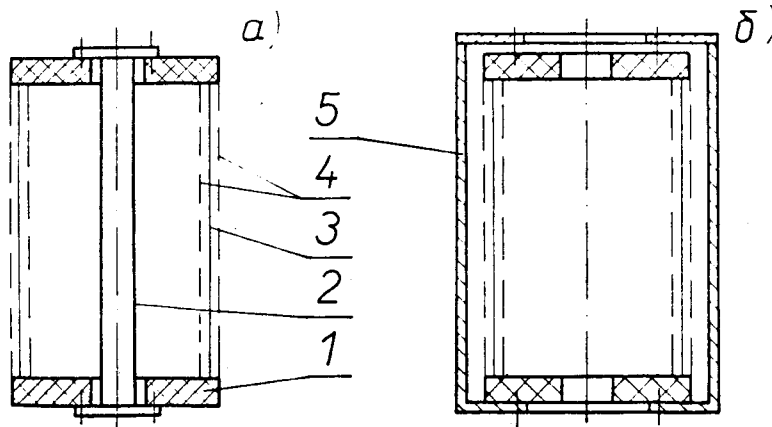


Рис.1. Схема камеры / а - на технологической оснастке, б - в рабочем положении/. 1 - фланцы камеры; 2 - распорный элемент; 3 - информационные проволочки; 4 - высоковольтные проволочки; 5 - внешний каркас.

Высоковольтные электроды изготавливаются из проволоки бериллиевой бронзы БрБ2 диаметром 100 мкм с шагом 2 мм или из проволоки диаметром 50 мкм с шагом 1 мм. Информационные электроды - из вольфрамовой золоченой проволоки диаметром 20 мкм с шагом 2 мм. Натяжение проволочек - 150, 75 и 45 г, соответственно. Как видно из рис. 2, величины этих нагрузок не создают

неупругих деформаций проволоки. Сила натяжения проволочек снизу ограничена соображениями устойчивости проволочек под действием силы тяжести, электрического поля, учтены возможные ослабления натяжения проволочек при изменении температуры, деформации фланцев и другие причины. Натяжение проволочек с запасом нецелесообразно, так как это требует увеличения жесткости фланцев, распорных и поддерживающих элементов конструкции.

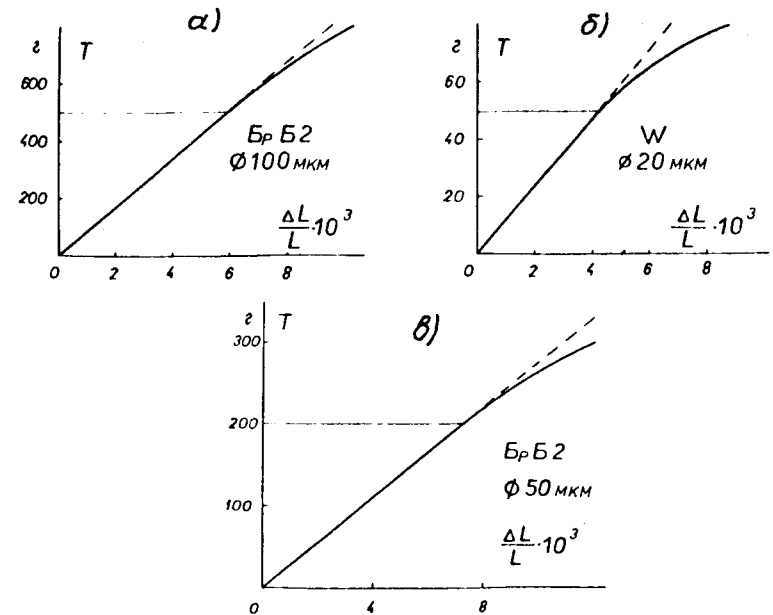


Рис.2. Относительное удлинение проволоки в зависимости от усилия натяжения. а - бериллиевая бронза БрБ2, φ 100 мкм; б - золоченый вольфрам, φ 20 мкм; в - бериллиевая бронза БрБ2, φ 50 мкм.

Первоначально для изготовления поверхности вращения на фланцах по окружности сверлились отверстия, в которые продевались проволочки. Натяжение каждой проволочки обеспечивалось пружинкой, к которой припаивался один конец проволочки. Данная технология малопродуктивна, трудоемка и сложна, поэтому мы

перешли к более удобному закреплению проволочек на фланцах в натянутом состоянии, при этом проволочки укладываются в выфрезерованные на фланцах пазы, задающие расстояние между ними.

Дальнейшим развитием этой технологии является применяемый сейчас способ изготовления проволоочной поверхности вращения методом непрерывной намотки. Остановимся подробнее на этом способе. К фланцам, соединенным распорным элементом, снаружи привинчиваются полуоси, на которые одеваются шаблоны, позволяющие избавиться от трудоемкой операции нарезания пазов на стеклотекстолитовых фланцах. Шаблоны выполнены в виде дисков с пазами треугольной или прямоугольной формы, расположенными по наружному диаметру /рис. 3/. Диаметр шаблонов по дну пазов соответствует

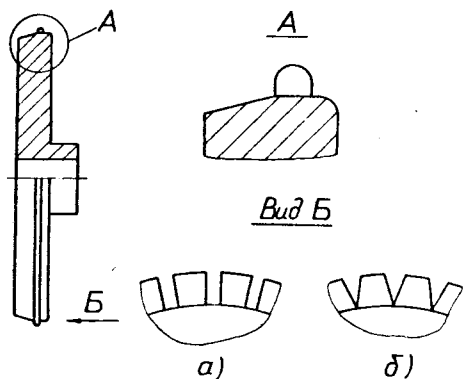


Рис.3. Шаблон для намотки проволочек /а - с прямоугольными пазами; б - с треугольными пазами/.

диаметру изготавливаемой камеры. Глубина пазов - 2 мм /ширина прямоугольных - обычно 0,2 мм, допустима и большая, но тогда проволочки необходимо прижимать к одной стороне паза/. При пазах треугольной формы проволочки автоматически центрируются, что улучшает условия укладывания их в пазы. Опытным путем выбран наиболее целесообразный угол паза, он лежит в пределах  $45^\circ - 90^\circ$ . С наружной стороны шаблоны скругляются для предотвращения обрыва проволочек. Выполненная на оси

шаблона ступица позволяет при намотке огибать проволокой полуоси с сохранением заданного натяжения.

После закрепления шаблонов на полуосях сборка размещается на поворотной вилке намоточного устройства, позволяющего вращать ее вокруг вертикальной и горизонтальной осей /рис. 4/. Начало проволочки закрепляется на шаблоне. Затем путем последовательных поворотов сборки согласно этапам, изображенным на рисунке 4а, б, в, г, и укладывания при этом проволочек

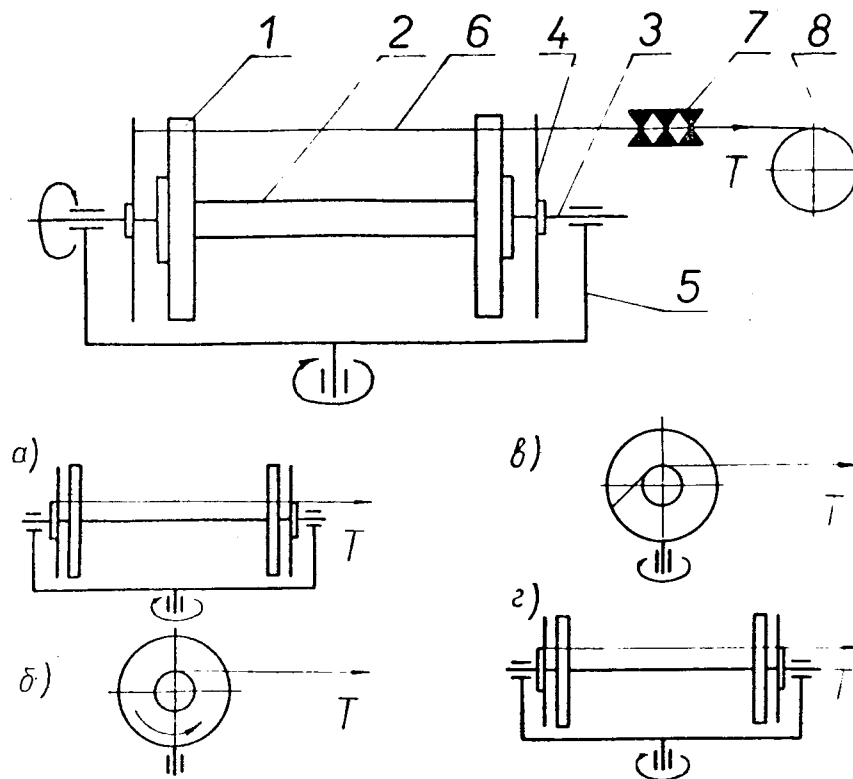


Рис.4. Схема устройства для намотки камер. 1 - фланец камеры; 2 - распорный элемент; 3 - полуось; 4 - шаблон; 5 - поворотная вилка; 6 - проволочка; 7 - устройство для очистки проволоки; 8 - bobина с проволочкой и натяжное устройство. а, б, в, г - последовательность операций намотки проволочек.

в пазы шаблона производится намотка всего слоя. Проволока поступает из натяжного устройства, и производится очистка ее поверхности при прохождении через паролон, смоченный спиртом. Заданное натяжение создается грузом или специальным мотором с постоянным моментом. После намотки всего слоя конец проволоки закрепляется и можно производить распайку слоя.

При изготовлении гиперболических камер диаметр шаблона должен быть больше диаметра фланцев настолько, чтобы проволочка, расположенная под углом к оси камеры, касалась шаблона и фланцев одновременно, а при намотке /между этапами а и б, рис. 4/ необходимо выполнить дополнительный поворот сборки на угол  $\phi$  вокруг горизонтальной оси /рис. 5/.

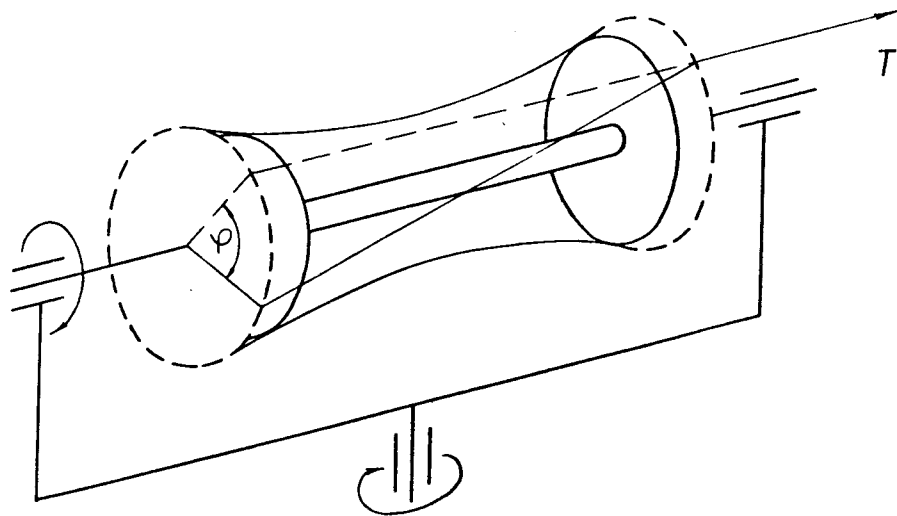


Рис. 5. Схема намотки гиперболической камеры.

Намотка высоковольтных и информационного слоев отличается только величиной силы натяжения проволочек, способом их закрепления и повышенной аккуратностью при работе с 20-мк проволокой.

На рис. 6 изображено несколько вариантов конструкций фланцев камеры. Комплект колец для одного фланца

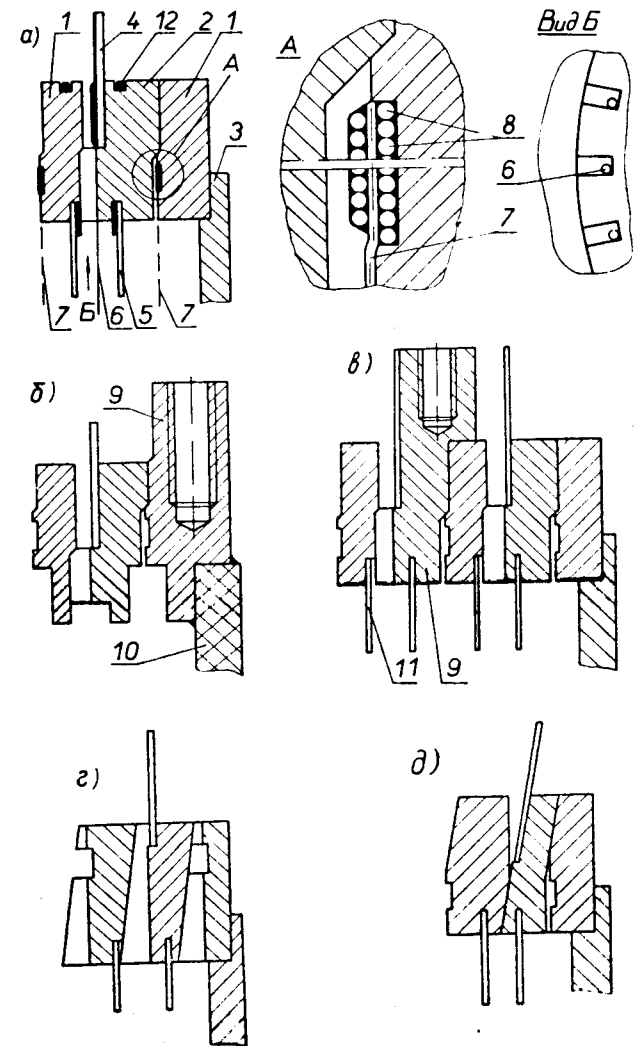


Рис. 6. Конструкции фланцев камер. 1 - кольцо для высоковольтного электрода; 2 - кольцо для информационных проволочек; 3 - распорный элемент; 4 - платы для распайки информационных проволочек; 5 - активный охранный электрод; 6 - информационная проволочка; 7 - высоковольтная проволочка; 8 - поясok для подпайки высоковольтных проволочек; 9 - усиленное кольцо для растягивания камеры; 10 - пенопластовый распорный элемент; 11 - пассивный охранный электрод.

камеры состоит из двух колец для высоковольтных слоев и одного - для информационного. Профили колец обусловлены необходимостью точной центровки колец относительно друг друга, обеспечения упора и заданного расстояния между электродами /~ 6 мм/.

Для уменьшения токов утечки на фланцах имеются дополнительные выступы - охранные электроды /активные - с проводящим заземленным участком или пассивные - просто увеличивающие поверхность/. Охранные электроды выполняются в виде вклеенных эпоксидным клеем полос стеклотекстолита толщиной 0,8 мм и высотой 10 мм /рис. 6а, поз. 5; рис. 6в, поз. 11/ или - дополнительного выточенного выступа на фланце /рис. 6б/. Активные охранные электроды могут быть и снаружи камеры, тогда они выполняются в виде облуженного медного провода диаметром 1 мм, уложенного в канавку /рис. 6а, поз. 12/ и тоже заземленного.

Кольца для высоковольтного слоя на наружной цилиндрической поверхности имеют проточку глубиной 0,3 мм и шириной 3 мм, в которую наматывается виток к витку с натяжением 1 кг проволока БрБ2 диаметром 0,2 мм, затем она облуживается и получается несущий пояс, который служит для закрепления проволочек слоя. Диаметр несущего пояса гарантированно меньше диаметра цилиндрической части кольца, задающей размер слоя. После намотки высоковольтного слоя проволочки прижимаются к несущему пояску на кольце несколькими витками проволоки и припаиваются. С наружной стороны пайки лишние участки проволочек обрезаются. Таким способом получается пайка прочная, аккуратная и сравнительно небольшая по длине и высоте. Несущие пояски имеют вывод наружу через кольцо для подачи высокого напряжения.

После изготовления высоковольтного слоя сборка промывается в ацетоне и эпоксидным клеем приклеивается следующее кольцо, на котором монтируются информационные проволочки, каждая из которых должна иметь вывод наружу камеры. Поэтому конструкция кольца здесь другая. Для закрепления проволочек к кольцу приклеивается дополнительное кольцо /рис. 6а, поз 4/ из 0,6-мм фольгированного стеклотекстолита с вырав-

ленными контактными площадками /1,2x18 мм<sup>2</sup>/. Напротив контактных площадок на кольце имеются пазы, в которые укладываются проволочки, и после намотки всего слоя они припаиваются к контактными площадкам на длине 8-10 мм. Наружные концы проволочек обрезаются, и с одной стороны камеры припаиваются выводы с информационных проволочек.

На изготовленную часть камеры, после промывки в ацетоне, монтируются кольца внешнего высоковольтного слоя. По такой схеме может быть изготовлено любое количество камер в одном блоке /рис. 6в/. Некоторые фланцы имеют утолщения, в которые ввинчиваются шпильки, с помощью которых камера крепится на внешнем каркасе /после чего можно удалить технологический распорный элемент/.

Изготовленная таким способом камера неразборна, и ремонт ее труден. Наиболее частая неисправность камеры - это обрыв сигнальной проволочки или необходимость ее замены. В единичных случаях это производится так: во фланцах, на месте дефектной проволочки, сверлятся отверстия диаметром 0,5 мм, через них удаляется старая проволочка, продевается новая и припаивается к контактными площадкам. Этот способ трудоемок, требует высокой квалификации исполнителя и все же не гарантирует качества.

Относительно просто выполняется ремонт полуразборных камер. Для этого при изготовлении камеры внешние кольца не приклеиваются, а прижимаются вспомогательными деталями, которые удаляются после изготовления слоя, а кольца держатся за счет стягивающей силы проволочек. При ремонте внешний высоковольтный слой удаляется вместе с кольцами, производится ремонт и заново изготавливается высоковольтный слой. Таким образом сравнительно легко можно отремонтировать камеры с одним информационным слоем или наружный информационный слой многослойных камер. Растягивание такой камеры при удалении распорного элемента надо производить за внутреннее кольцо.

В случае гиперболической камеры на фланцы действует касательная составляющая силы натяжения проволо-

чек. Поэтому распорный элемент в этом случае должен обладать повышенной жесткостью на скручивание, а кольца при изготовлении камеры без склейки необходимо фиксировать от проворота. В остальном конструкция колец для гиперболических камер не отличается от конструкции для цилиндрических камер.

Первоначально кольца имели форму, показанную на рис. 62. Направляющие пазы выполнялись на всех кольцах. /Как уже говорилось, использование шаблонов позволило упростить конструкцию колец/. Посадка одного кольца на другой по конусу с малым углом обеспечивает их хорошую центровку, но в случае несклеенных колец скольжение наружного кольца по внутреннему вызывает ослабление натяжения проволочек, поэтому необходимо иметь фиксированный упор для наружного кольца.

С целью упрощения изготовления колец была проверена конструкция камеры с фланцами без прорезей /рис. 6д/. Посадка кольца высоковольтного слоя производилась по смазанной эпоксидным клеем конусной части кольца, на которой лежали сигнальные проволочки. Недостатки этой конструкции в том, что посадка кольца по информационным проволочкам увеличивает вероятность их обрыва, изменения натяжения проволочек и расстояний между ними, исключает разборность камеры, а также создает трудности в изготовлении печатных плат для распайки проволочек /контактные площадки плат должны располагаться на конусной поверхности/. Оптимальным оказался вариант конструкции камеры, когда пазы выполняются только на кольцах для информационных проволочек /рис. 6 а, б, в/.

Для облегчения установки камеры на рабочее место с удалением распорного элемента и переносом нагрузки на наружный каркас проверялась работоспособность камеры, у которой фланцы соединяются предварительно напряженным пенопластовым цилиндром толщиной 5 мм /рис. 6б/. После изготовления такой камеры проволочки находятся в полунатянутом состоянии. При установке такой камеры на рабочее место нужное натяжение проволочек создается растягиванием камеры снаружи за фланцы. В этом случае в рабочую зону камеры дополнительно вносится  $5 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^2$  вещества.

Рабочие характеристики камер /ширина плато, количество шумовых импульсов и др./ во многом зависят от качества и культуры проведения работ по их изготовлению. Наиболее жесткие требования предъявляются к расстоянию между слоями проволочек, к шагу между информационными проволочками, к радиальным смещениям отдельных проволочек, качеству поверхности проволочек и т.п. Точность выполнения этих размеров определяется точностью изготовления колец, тщательностью их подготовки к монтажу и при диаметрах камер от 100 до 300 мм составляет  $\pm 0,1$  мм. При изготовлении камер принимались специальные меры по обеспечению чистоты на всех операциях технологического процесса. Кроме этого проводился контроль качества выполнения отдельных этапов сборки камеры /электрической прочности охранных электродов, наличия контакта и отсутствия замыкания соседних информационных проволочек, натяжения проволочек и др./. Измерение величины натяжения проволочек проводилось по прогибу  $h$  натянутой проволочки под действием заданной поперечной нагрузки  $P$ . По величине прогиба определялось натяжение проволочки с помощью калибровочных кривых /рис. 7/. Прогиб в центре пролета измерялся оптическим методом. Точность определения натяжения составляла  $\pm 3\%$  при натяжении 150 г /для БрБ2,  $\phi$  100 мкм/ и  $\pm 5\%$  при натяжении 50 г /для W,  $\phi$  20 мкм/. Достоинством данного способа измерения натяжения является то, что он позволяет измерять натяжение проволочки в процессе изготовления камеры независимо от наличия соседних проволочек и их соединения между собой. Однако таким методом нельзя измерить натяжение проволочек, расположенных вертикально или находящихся в закрытых объемах. В этих случаях будет использоваться метод определения натяжения проволочек по резонансной частоте их колебаний.

Расстояние между проволочками и слоями измерялось оптическим способом с точностью 0,05 мм.

Очень эффективной является проверка качества изготовления камер по характеру свечения коронного разряда вокруг сигнальных проволочек<sup>5/</sup>. Хорошо работаю-



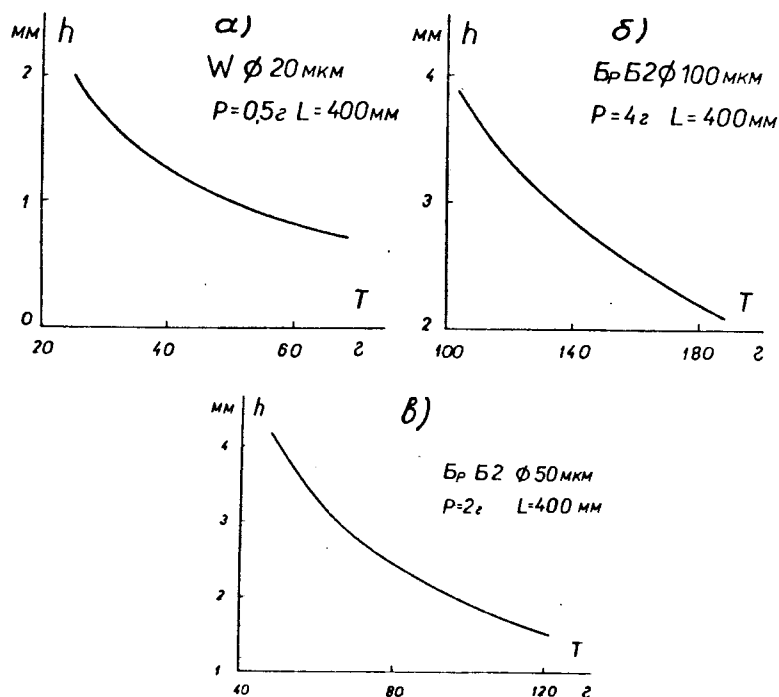


Рис.7. Калибровочные кривые для определения величины натяжения проволоки в зависимости от прогиба. а/ для вольфрама,  $\phi$  20 мкм,  $P=0,5$  г; б/ для бериллиевой бронзы БрБ2,  $\phi$  100 мкм,  $P=4$  г; в/ для бериллиевой бронзы БрБ2,  $\phi$  50 мкм,  $P=2$  г.

щая камера при напряжении на ней  $\sim 5$  кВ и заземленных информационных проволочках /на воздухе в темноте/ начинает равномерно светиться. По характеру свечения можно судить о некоторых дефектах камеры. Так, при отсутствии контакта информационной проволочки с землей соседние с ней проволочки начинают раньше других ярко светиться. При отклонении проволочек от правильного геометрического расположения /в расстоянии между электродами и шаге информационных проволочек/ зоны, где имеются эти отклонения, начинают светиться раньше. По произвольно расположенным ярко светящимся точкам можно судить о поверхностных де-

фектах проволочек или их загрязнении. В случае загрязнения поверхностей фланцев на них видны светящиеся точки и дорожки. Причиной появления периодически возникающего свечения на отдельных проволочках /преимущественно в центре камеры/ может служить колебание проволочки вследствие ослабления натяжения.

По описанной технологии было изготовлено несколько типов цилиндрических и гиперболических пропорциональных камер длиной от 400 до 600 мм и диаметром от 100 до 300 мм. Изготавливались также блоки камер /с количеством камер до пяти/ в различных комбинациях /как с общим катодом, рис. 6в, так и с отдельными/. Об исследовании работы таких камер сообщалось ранее<sup>6,7/</sup>.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.В.Заневскому, С.М.Коренченко и К.Г.Некрасову за плодотворные дискуссии и постоянный интерес к работе, А.С.Моисеенко за участие в обсуждениях и проведение измерений на камерах. Мы признательны Т.С.Тихоновой, Е.М.Мельничук и А.П.Фурсову за помощь и участие в изготовлении камер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Criegee L. et al. В сб.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975, с. 76.
2. Jeanjean J. et al. NIM, 1974, 117, p. 349.
3. Sadoulet V. В сб.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975, с. 55.
4. Коренченко С.М. и др. ОИЯИ, Р13-9542, Дубна, 1976.
5. Evans W.M. В сб.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975, с. 103.
6. Кравчук Н.П. и др. Там же, с. 71.
7. Калинин А.А. и др. В сб.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с. 75.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 сентября 1978 года.