

Б-188

III/II-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 4191



К.А.Байчер, Ю.Н.Зыкин, В.И.Никаноров,
И.Х.Ноздрин, А.Ф.Писарев, В.Ф.Писарев,
Н.С.Толстой, В.Н.Филиппов, В.М.Шешунов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

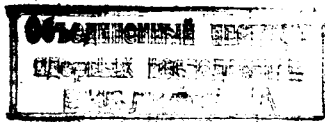
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКРОВЫХ КАМЕР
БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ И СИЛЬНОТОЧНЫХ
ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИХ ПИТАНИЯ

1968

P13 - 4191

4646/2 mp
К.А.Байчер, Ю.Н.Зыкин, В.И.Никаноров,
И.Х.Ноздрин, А.Ф.Писарев, В.Ф.Писарев,
Н.С.Толстой, В.Н.Филиппов, В.М.Шешунов

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИСКРОВЫХ КАМЕР
БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ И СИЛЬНОТОЧНЫХ
ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИХ ПИТАНИЯ



В в е д е н и е

Развитие методики искровых камер сопровождается увеличением их размеров и усложнением требований, которым они должны удовлетворять. Так, современные камеры, используемые на ускорителях частиц большой энергии, имеют размеры по периметру до 1,5 x 1,5 м. Такие камеры, наряду с хорошей механической прочностью и высокими оптическими и изоляционными качествами стенок, должны обладать, как правило, способностью работать в сильных магнитных полях и выдерживать изменение температуры окружающей среды на 10–20°. Изготовление больших искровых камер, удовлетворяющих этим условиям, представляет собой сложную техническую задачу. Проблема эта особенно усложняется в тех случаях, когда по условиям физического опыта электроды камер должны содержать малое количество вещества. Это обстоятельство приводит к необходимости выполнять электроды комбинированными: рабочую часть делать из тонкой металлической фольги и закреплять ее в натянутом состоянии на несущем жестком каркасе. Места сочленения элементов в таких электродах должны быть высоковакуумными и не иметь острых углов или кромок, способных инициировать ложные разряды.

Практика разработки однопромежуточных камер (модулей) большого размера показала, что основные характеристики таких камер получаются удовлетворительными только при соблюдении следующих условий их изготовления и подготовки к работе: полоски стекол, из которых склеива-

ются рамки камер, должны иметь по всей длине одинаковую ширину (разница не должна превышать $\pm 0,2$ мм); фольга должна иметь равномерное радиально-симметричное натяжение; места склейки отдельных частей электродов должны предварительно подвергаться специальной механической и химической обработке; поверхность стола, на котором производится склейка камеры, не должна иметь перекосы или отклонения от плоскости больше чем на $\pm 0,5$ мм, и, наконец, рабочий газ, наполняющий камеру, не должен содержать примесей многоатомных газов. Выполнение этих требований немислимо без использования специального оборудования или приспособления. К ним относятся, главным образом, станок для натяжения фольги и наклеивания ее на жесткое основание электрода; вакуумный бокс с системой откачки и наполнения камер рабочим газом.

Нами разработаны простые устройства, позволяющие в лабораторных условиях изготавливать камеры размером $1,50 \times 1,50$ м² и более и наполнять их рабочим газом в чистых условиях. Ниже дается описание этих устройств.

В работе рассматриваются также конструкции и технология изготовления высоковольтного импульсного генератора для питания искровых камер большого размера, т.е. камер, обладающих большой собственной емкостью. В этом генераторе осуществлена новая система коммутации разряда, обеспечивающая высокую надежность генератора в работе и большую его долговечность, исчисляемую десятками миллионов срабатываний без перенастройки или замены отдельных элементов.

1. Конструкция модуля искровой камеры

На рис. 1 изображена типичная конструкция модуля большой искровой камеры, содержащей малое количество рассеивающего вещества на пути регистрируемых частиц. Как видно из рисунка, электроды модуля выполнены комбинированными. Основания электродов сделаны из листового дюралюминия твердой марки толщиной 3 мм, что обеспечивает всей конструкции модуля хорошую жесткость. В основаниях электродов имеются окна, заклеенные натянутой алюминиевой фольгой толщиной 50 мкм.

Диаметр окна может быть любым. В данном варианте модуля он составляет 60 см. Боковые стенки модуля выполнены из полосок стекла, толщина которых подбиралась экспериментально. При этом было установлено, что удовлетворительная жесткость и механическая прочность модуля размером $150 \times 150 \text{ см}^2$ и высотой 2 см и более обеспечиваются при толщине стенок 10–12 мм. Такие стенки можно делать как из цельного стекла, так и слоеными, например, из двух слоев витринного стекла толщиной 7 мм.

Свободный край электродов выступает за размеры боковых стенок модуля на 1,5 см. Опытным путем было найдено, что такая величина свободного края модулей с зазором от 1,5 до 7 см достаточна, чтобы не вызывать ложный электрический пробой по стенке из-за краевого искажения поля.

Клеммы для подключения импульсного напряжения к модулю выполнены из дюралюминия. Их конструкция и способ крепления к электродам показаны на рис. 1 (Б). На том же рисунке (А) изображена конструкция и показан способ сочленения элементов узла вакуумного ввода. Места их сочленения проклеены эпоксидной смолой.

2. Изготовление модуля

а) Подготовка основания электрода к склеиванию

Из-за разности температурных коэффициентов расширения стекла и дюралюминия клеевые соединения на их стыке нередко отслаиваются. Этому способствует также обычно слабое сцепление клея с поверхностью дюралюминия. Для устранения этого недостатка в основании электрода вдоль линии склеивания предварительно насверливаются отверстия диаметром ≈ 3 и шагом ≈ 100 мм. Клей, заполимеризовавшийся в этих отверстиях, выполняет в последующем роль "заклепок", соединяющих торец стеклянной рамки с поверхностью электрода (см. рис. 1 (Г)). В целях улучшения условий сцепления клея с поверхностью металла листы

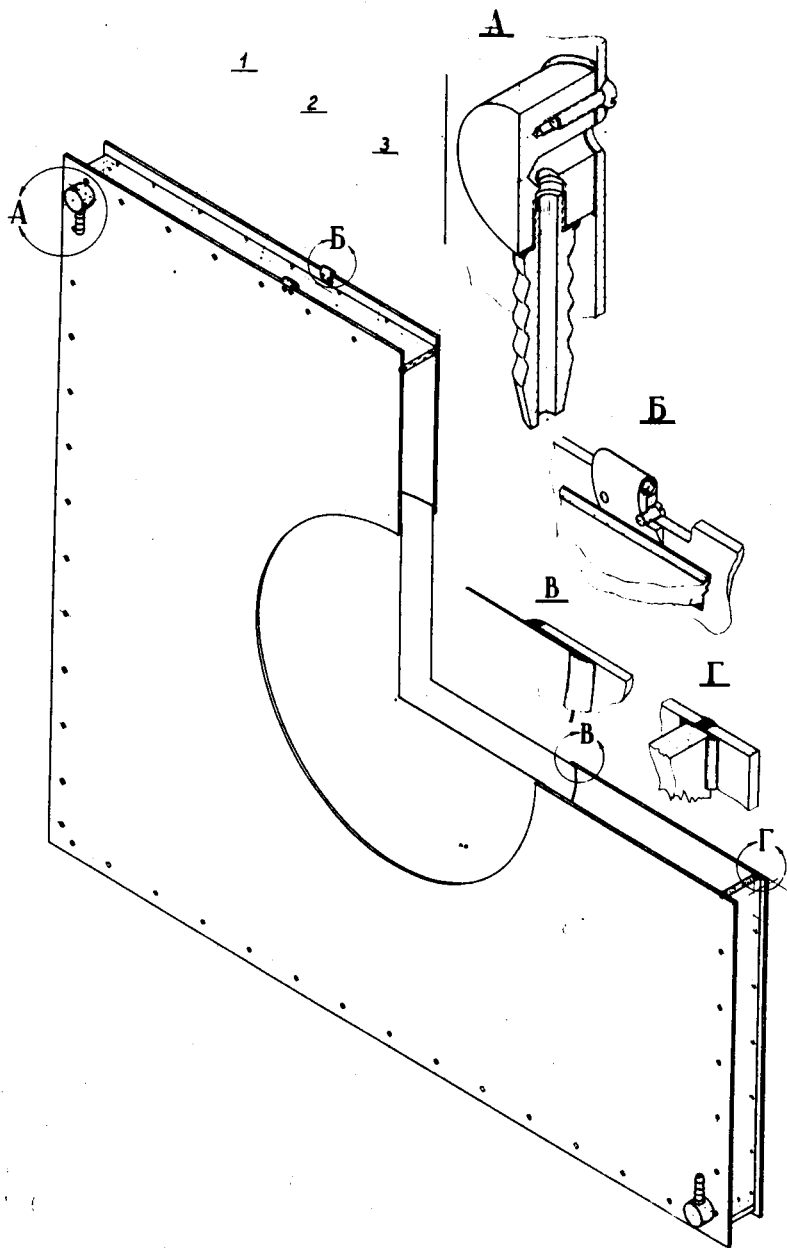


Рис. 1. Конструкция модуля. 1 - основание электрода; 2 - боковая стенка; 3 - окно электрода, заклеенное фольгой.

дюралюминия после механической обработки подвергаются химическому травлению в электролитической ванне в 10%-ом растворе едкого натра и затем промываются горячей и холодной водой. Этой операцией достигается хорошая очистка поверхностного слоя металла от окислов металла и масляного налета. После химической обработки на поверхность металла, подлежащую склеиванию, наносится гравировка с помощью ручной электродрели, заправленной сверлом диаметром ~ 3 мм. Шероховатость поверхности металла способствует прочному сцеплению с ним клея при полимеризации. И, наконец, непосредственно перед склеиванием вся поверхность основания электрода тщательно протирается бензином и этиловым спиртом.

б) Натяжение и подклеивание фольги

На рис. 2 изображена конструкция устройства для натяжения и подклеивания фольги к основанию электрода. Названия отдельных элементов этого устройства и необходимые пояснения к их назначению даны в тексте под рисунком. Как видно из рисунка, натяжение фольги производится путем выдвижения пуансона 16 из матрицы 15.

В натянутом состоянии вся поверхность фольги протирается бензином и спиртом, а места, подлежащие склеиванию, дополнительно обрабатываются тонкой наждачной бумагой. По месту склейки основание электрода и фольга плотно прижимаются друг к другу с помощью кольца 11. После полимеризации эпоксидной смолы электрод переворачивается и закрепляется по центру устройства. К кольцу 11 крепится нож (на рисунке он не показан), с помощью которого фольга обрезается на радиусе, большем радиуса окна электрода на 2 см. Затем излишки клея и фольги с электрода счищаются, и край фольги дополнительно покрывается тонким слоем эпоксидной смолы. Последнее необходимо делать для увеличения электрической прочности межэлектродного зазора модуля. В окончательном виде место склеивания основания электрода с фольгой имеет вид, показанный на рис. 1 пункт В.

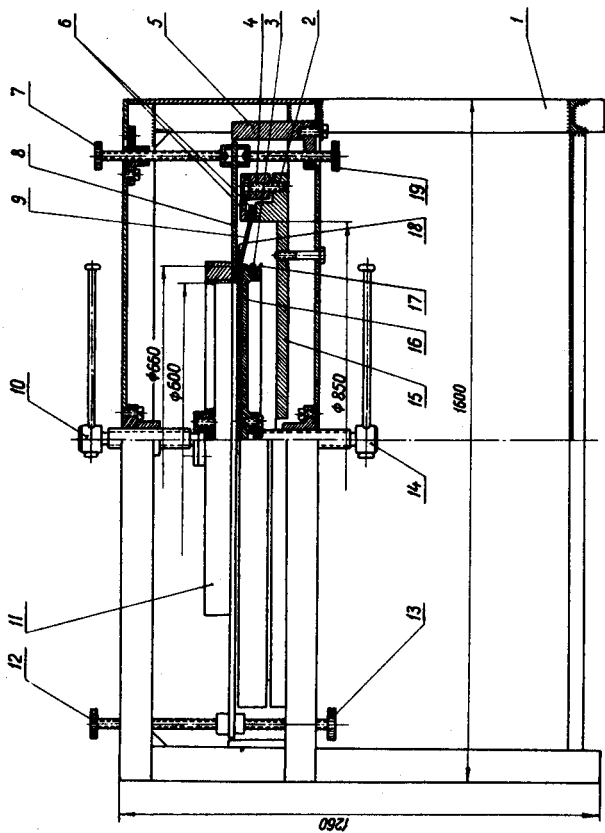


Рис. 2. Устройство для натяжения фольги. 1 - станина; 2 - натяжной винт; 3 - резиновый шнур, крепящий прокладку из полиэтиленовой пленки 17; 4 - прижимное кольцо; 5 - контрольные уголки для центрирования электрода 8; 6 - резиновые прокладки для защемления края фольги 8; 7, 12, 13, 19 - регулировочные винты для установки положения и фиксации электрода по центру устройства; 10 - упорный винт; 11 - прижимное кольцо; 14 - винт для подтягивания пуансона 16; 15 - матрица; 18 - слой эпоксидной смолы.

Как уже упоминалось, для окончательной сборки модуля необходим стол с хорошо выровненной поверхностью. Конструкция такого стола показана на рис. 3. Склеивание модуля производится в следующей последовательности. На стол настилается полиэтиленовая пленка, на которую кладется электрод. На его поверхность по всему периметру награвированной дорожки наносится тонкий слой эпоксидной смолы шириной больше, чем толщина стенки модуля на 10 мм. Затем стеклянные пластины, протертые нашатырным спиртом, устанавливаются на этот клей и прижимаются к электроду линейками 2. Углы в стеклянной рамке также промазываются эпоксидной смолой. После полимеризации клея готовая часть модуля переворачивается и наклеивается, как и в первом случае, на второй электрод. В окончательном виде место склеивания электрода с боковой стенкой имеет вид, показанный на выносной части рис. 3 и рис. 1 (Г). Увеличение ширины клеевой дорожки по сравнению с толщиной стенки на 10 мм необходимо для усиления прочности склеивания и удлинения пути электрического пробоя по поверхности стенки.

Модули, склеенные по этой технологии, успешно выдержали испытание при изменении температуры окружающей среды от + 12 до +34°C.

3. Устройство для резки стекла

Устройство сконструировано на базе горизонтально-фрезерного станка марки ГЭФС. Общий вид этого устройства показан на рис. 4. Разрез стекла на полоски производится с помощью металлических дисков с алмазной кромкой. Одновременно могут отрезаться 5 пластин толщиной до 20 мм. Длина одного разреза составляет 750 мм, далее стол передвигается по направляющим рейкам в новое положение и разрез удлиняется еще на 750 мм. Ширина отрезаемых полосок задается установочными шайбами 2, которые ставятся на шпиндель станка между режущими дисками. Точность ширины отрезаемых полосок по всей длине составляет $\pm 0,15$ мм.

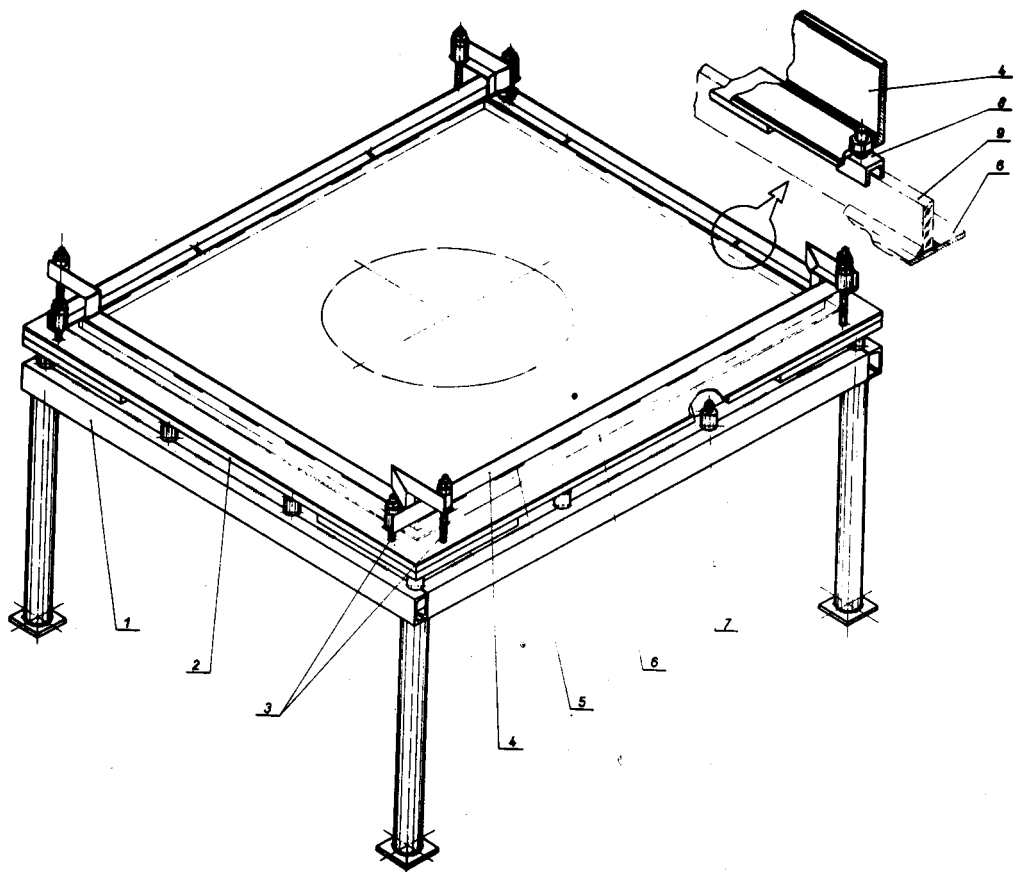


Рис. 3. Стол для сборки модуля. 1 - основание; 2 - установочная плита; 3 - болты для крепления прижимных линеек; 4,5 - резиновые прокладки; 6 - электрод; 7 - юстировочные винты для выравнивания плоскости установочной плиты 2; 8 - направляющие вилки; 9 - полоска стекла.

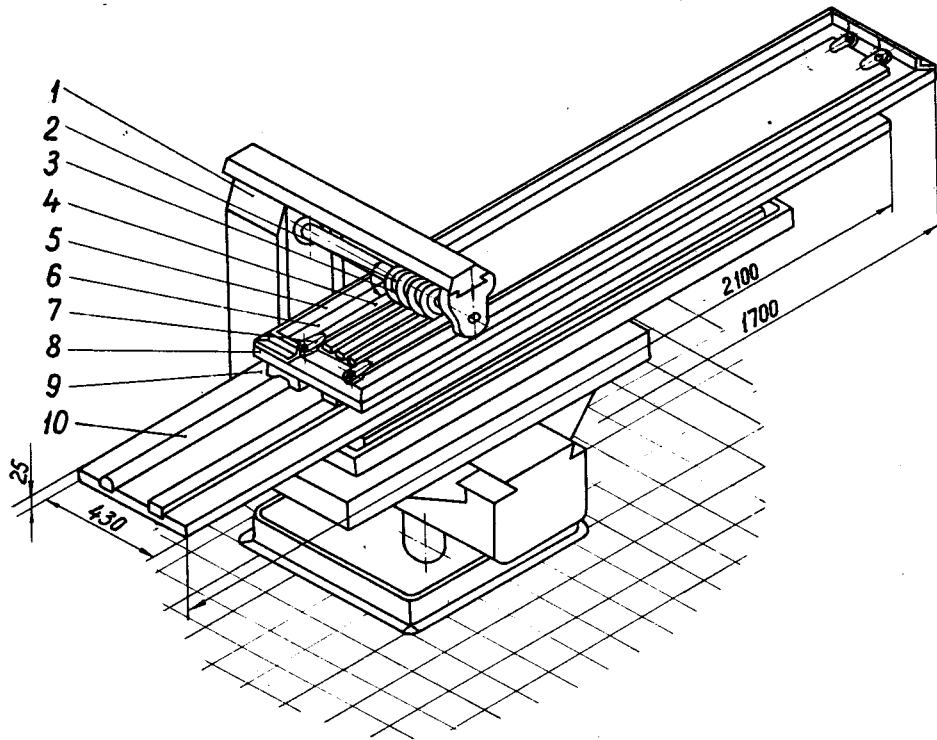


Рис. 4. Устройство для резки стекла. 1 - станина фрезерного станка; 2 - установочные шайбы; 3 - алмазные диски; 4 - стеклозаготовка; 5 - противовес для эмульсии; 6 - подкладка из хлорвинила толщиной 3-4 мм. Подкладка предохраняет алмазные диски от вибрации при выходе их из стекла; 7 - прижимы для фиксации стекла; 8 - верхний передвижной стол с направляющими рейками; 9 - нижний стол с направляющими рейками 10, установленный на столе станка.

4. Система откачки и наполнения модуля рабочим газом

Наполнение искровых камер большого размера рабочим газом можно производить, как известно, либо методом продува газа, либо в вакуумном боксе. В первом случае операция по наполнению камер является простой и ее можно осуществлять при атмосферном давлении. Однако при этом непроизводительно расходуется большое количество рабочего газа и наполнение получается нечистым. Наполнение же камер по второму методу сложнее и требует применения специальной вакуумной системы. Однако эти сложности окупаются гарантированной чистотой наполнения и большой экономией рабочего газа. Разработанная нами система наполнения изображена на рис. 5. Принцип действия этой системы хорошо виден из рисунка. Во время откачки трубка 6 служит для эвакуации воздуха из бокса и модуля, а трубки 10 и 11 - для измерения разности давлений газа в этих объемах с помощью чувствительного дифференциального манометра 9. Основным элементом этого манометра является диафрагма 8, выполненная из тонкой резины. Разница давлений в 2 мм рт. ст. вызывает "выпучивание" диафрагмы на 2 см.

С помощью вентиля 18 производится регулировка скорости откачки воздуха из бокса, а вентиля 19 - из модуля. Вентиль 17 в это время закрыт. Скорости откачки подбираются такими, чтобы разность давлений в объемах бокса и модуля не выходила за допустимые пределы (обычно 2 мм рт.ст.). При наполнении модуля вентиль 18 закрыт. С помощью вентиля 19 регулируется скорость подачи газа в объем модуля, а вентилей 2 и 17 - скорость впуска воздуха в объем бокса. При этом разность давлений в объемах в течение всего времени наполнения поддерживается в заданных пределах. Наполнение модуля и бокса ведется до атмосферного давления.

5. Импульсный генератор

К настоящему времени в литературе опубликована обширная информация о различных разработках высоковольтных импульсных генераторов на большие токи, работающих в атмосфере воздуха. Однако, если интересоваться

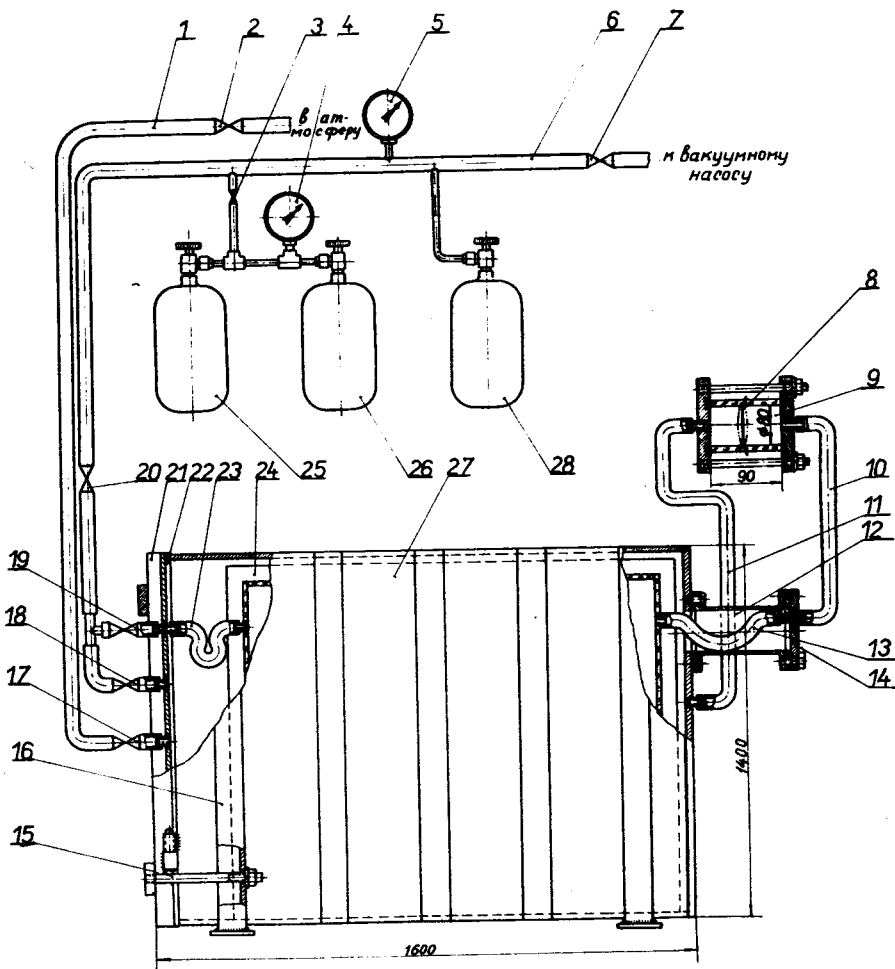
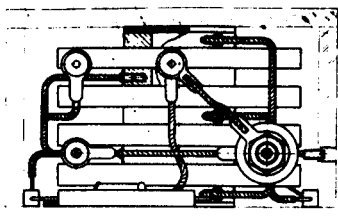
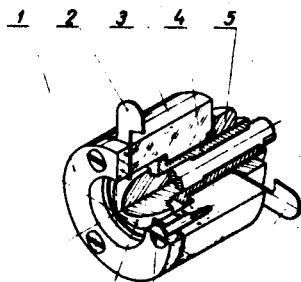


Рис. 5. Система откачки и наполнения модуля рабочим газом. 1,6,10, 11 - вакуумные трубки; 2,3,7,17,18,19,20 - вентили; 4,5 - манометры; 8 - диафрагма дифференциального манометра 9; 13,23 - гибкие шланги; 14 - крышка с оливкой; 15 - шпильки для поджатия дверцы 21 к боксу; 16 - швеллер, обеспечивающий боксу боковую жесткость; 22 - резиновая прокладка для вакуумного уплотнения дверцы; 24 - модуль; 25,26,28 - баллоны с рабочим газом; 27 - бокс, сваренный из листовой стали толщиной 10мм.

1 2 3 4

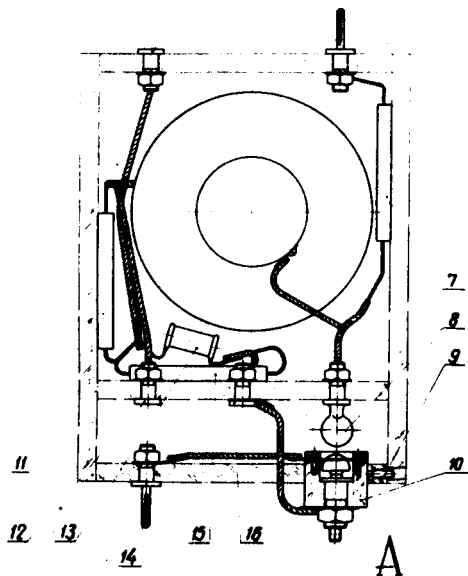


5 6



6 7 8

Б



7

8

9

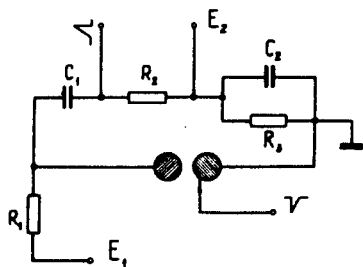
11

12 13

14

15 16

А



В

Рис. 6. Импульсный генератор. А - конструкция, В - принципиальная схема генератора. 1 - каркас из оргстекла; 2 - конденсаторы C_1 ; 3 - контактные шайбы; 4 - прокладка из маслястой резины; 5 - ввод для очищающего напряжения E_2 , необходимого для камеры; 6 - ввод для высокого напряжения E_1 ; 7 - сопротивление зарядки R_1 ; 8 - анод, выполненный из нержавеющей стали; 9 - стопорный винт; 10 - втулка из оргстекла; 11 - сопротивление; 12 - вывод для импульса; 13 - емкость C_2 ; 14 - ввод для импульса "поджига"; 15 - сопротивление R_2 ; 16 - клемма "земля". Б - конструкция системы поджигающего электрод-катод. 1 - прижимная шайба из оргстекла; 2 - поджигающий электрод; 3 - втулка из оргстекла; 4 - втулка из латуни; 5 - контргайка; 6 - катод; 7 - винты; 8 - вводная клемма к катоду.

ся только генераторами, которые работают при малых амплитудах поджигающих импульсов, не превышающих несколько киловольт, то круг сведений о генераторах такого класса резко сужается. Мы провели испытания практически всех схем таких генераторов, известных по литературе, и исследовали их на надежность и долговечность^{1/}. Мы нашли, что слабым узлом в силовых генераторах является система поджига. Из всех известных генераторов рассматриваемого класса наибольшим числом срабатываний характеризуются лишь генераторы игольчатого типа с центральной юстировкой. Однако и для этих генераторов общее число срабатываний не превышает 500 тысяч, после чего поджигающий электрод необходимо очищать от окислов и дополнительно юстировать. Нами разработана новая система поджига кольцевого типа, которая допускает десятки миллионов включений генератора.

Конструкция системы поджига, состоящая из поджигающего электрода и катода, показана на рис. 6 (А и Б).

В качестве поджигающего электрода в этой системе используется мембрана, выполненная из листовой нержавеющей стали толщиной 0,1 мм. Катод сделан также из нержавеющей стали. Юстировка зазора между катодом и поджигающим электродом осуществляется путем перемещения катода по резьбовой втулке.

Используя кольцевую систему поджига, мы разработали компактный импульсный генератор. Его конструкция и принципиальная схема показаны на рис. 6 (А и В). Время коммутации тока в этом генераторе составляет 10–15 нсек. При этом амплитуда поджигающего импульса составляет 3–5 кв, а величина коммутирующего тока достигает 10 ка при напряжении на аноде 20–30 кв. В качестве рабочих емкостей в генераторе используются плоские керамические конденсаторы типа КВИ на 10 нф и напряжение 30 кв. Все радиотехнические элементы генератора – емкости и сопротивления – монтируются в каркасе из оргстекла и заливаются трансформаторным маслом. Трансформаторное масло, наряду с изоляционными функциями, выполняет роль упругого демпфера для конденсаторов. При больших токовых нагрузках конденсаторы за счет электроstriction испытывают сильные ультразвуковые колебания. Если генератор ра-

ботаает без масла, то эти колебания приводят к быстрому разрушению конденсаторов, в масле же их срок службы заметно увеличивается.

Из рис. 6 видно, что точка анодного подключения находится в масле, а катодного - в воздухе. Такое расположение электродов позволяет легко осуществлять регулировку рабочего зазора в генераторе под напряжением путем перемещения в целом системы катод - поджигающий электрод. Нормальным включением для генератора являются: положительное (отрицательное) напряжение на аноде, нулевое - на катоде и положительное (отрицательное) - на поджигающем электроде.

6. Краткое заключение

В работе дано комплексное решение технологической задачи по изготовлению искровых камер большого размера, их откачке и наполнению. Найдено также новое решение проблемы создания надежных высоковольтных и сильноточных импульсных генераторов для питания таких камер.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.А.Тяпкина, И.М.Василевского, В.В.Вишнякова и А.И.Миرونчуева за ценные советы и помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. А.Ф.Писарев, В.М.Шешунов, Препринт ОИЯИ Р13-3570, Дубна 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

10 декабря 1968 года.