

11

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я ☉ 77-16

Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасюк, Г.И.Сильвестров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
КОНТАКТОВ НА МЕГААМПЕРНЫЕ ТОКИ

Новосибирск

1977

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
КОНТАКТОВ НА МЕГААМПЕРНЫЕ ТОКИ

Г.С.Виллевалд, В.Н.Караск, Г.И.Сильвестров.

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе исследуется задача создания автоматически контролируемых контактных переходов на токи ~ МА и длительности импульсов ~ мс путем использования гидравлики высоких давлений (500 + 2000 атм.). Описываются варианты выполнения гидравлических контактных прижимов и технология изготовления основного их элемента - камер. Приводятся результаты ресурсных испытаний кольцевых контактных прижимов. Описывается конструкция изоляционных развязок на давление до 2000 атм. и другого вспомогательного оборудования.

Одной из существенных проблем, с которыми сталкиваются разработчики электрофизической аппаратуры с импульсными токами мегаамперного диапазона, является проблема контактов в токопроводах и рабочих элементах конструкций, приобретающая особую актуальность при необходимости надежной работы импульсных систем в течении миллионов циклов в труднодоступных и опасных (например, из-за повышенной радиации) для контроля местах. В отличие от контактов на постоянные токи, в импульсных системах развитие контактных поверхностей осуществляется путем увеличения размера токопровода в направлении, поперечном подводимому току, так как в продольном направлении нерационально развивать контактную поверхность до размера, существенно большего скин-слоя. Как правило, такие контакты осуществляются путем создания на одной из контактируемых поверхностей (плоской или цилиндрической) небольшого выступа шириной в несколько скин-слоев (контактного зуба), который с помощью болтов или клиньев прижимается к ответной поверхности с усилием, создающим близкие к пределу текучести одного из контактирующих материалов механические напряжения. Надежность контактов определяется стабильностью усилия, создаваемого болтами, которое чрезвычайно сложно обеспечить в условиях больших плотностей тока и вибраций, неизбежных при работе сильнопольных импульсных систем, особенно при ресурсе в сотни тысяч и миллионы циклов. Практически такие соединения требуют периодической подтяжки болтов для восстановления необходимого контактного давления, уменьшающегося в результате деформации материала в элементах контактного узла, что приводит вначале к эрозии контактных поверхностей, затем к искрению и быстрому сгоранию контактов.

В Институте ядерной физики СО АН СССР была поставлена задача по созданию автоматически контролируемых контактных переходов на токи \sim МА и длительности импульсов порядка миллисекунды, допускающих возможность дистанционного размыкания. Задача решалась путем использования гидравлики высоких давлений, позволяющей, в отличие от пневматики, получать большие механические усилия при размерах, близких к размерам болтовых соединений и в то же время дающей возможность обеспечить как надежный

контроль за давлением в контактах, так и дистанционное размыкание их после снятия гидравлического давления. С этой целью были разработаны специальные прижимы, которые при подаче в них гидравлического давления 500 – 2000 атмосфер обеспечивают необходимые контактные усилия.

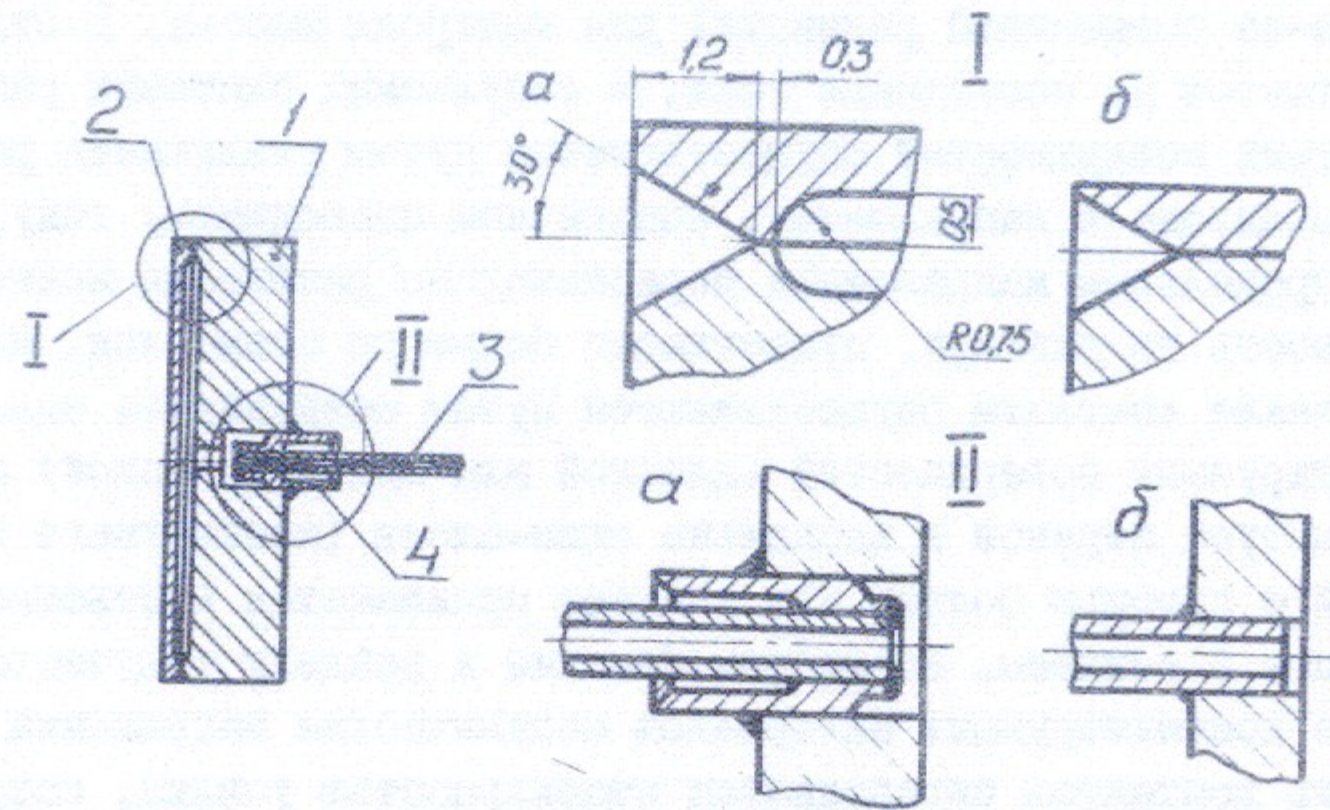


Рис.1. Гидравлическая камера.

I – корпус, 2 – мембрана, 3 – подводная жидкость трубка, 4 – развязывающая втулка.

КОНСТРУКЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИЖИМОВ

Основным элементом прижима является замкнутая камера (Рис.1), состоящая из корпуса I и приваренных к нему мембраны 2 и подводной трубки 3. Были проведены многочисленные эксперименты по отработке технологии сварки и пайки камер, изготовленных из нержавеющей стали и технического титана, показавшие, что наиболее работоспособными являются сварные камеры из нержавеющей стали. Работоспособность камер при циклических нагрузках и давлениях до 2000 атм. определяется качеством приварки мембраны, для которого недостаточна обычная разделка под сварку (выноска I, б), а требуется специальная разделка деталей (I, а), обеспечивающая четкую границу сварного шва, причем сварка ведется в два этапа: вначале аргоно-дуговая сварка для создания

плотного внутреннего шва, а затем – наплавка силового шва с присадкой. Для повышения виброустойчивости подводная трубка 3 сваривается не непосредственно в корпус (Рис.1, II, б), а через развязывающую втулку 4. Толщина мембраны выбирается в зависимости от размеров ее рабочей поверхности, величин предполагаемых перемещений и из соображений технологии изготовления. Толстые мембраны допускают большие перемещения до разрушения, но требуют больших давлений для обеспечения контактных усилий. Наибольшее распространение получили камеры шириной ~ 20 мм с толщиной мембраны 0,5 – 1 мм. Максимальные зазоры, которые могут выбрать такие мембраны без разрушения не должны превышать двух толщин мембран. Отбраковка камер производилась путем статического испытания давлением 1500 – 2500 атм. (в зависимости от их рабочего давления) в специальных оправках, препятствующих деформации мембраны и корпуса при повышенных давлениях.

На Рис.2. показаны простейшие варианты контактных переходов с применением гидравлических прижимов.

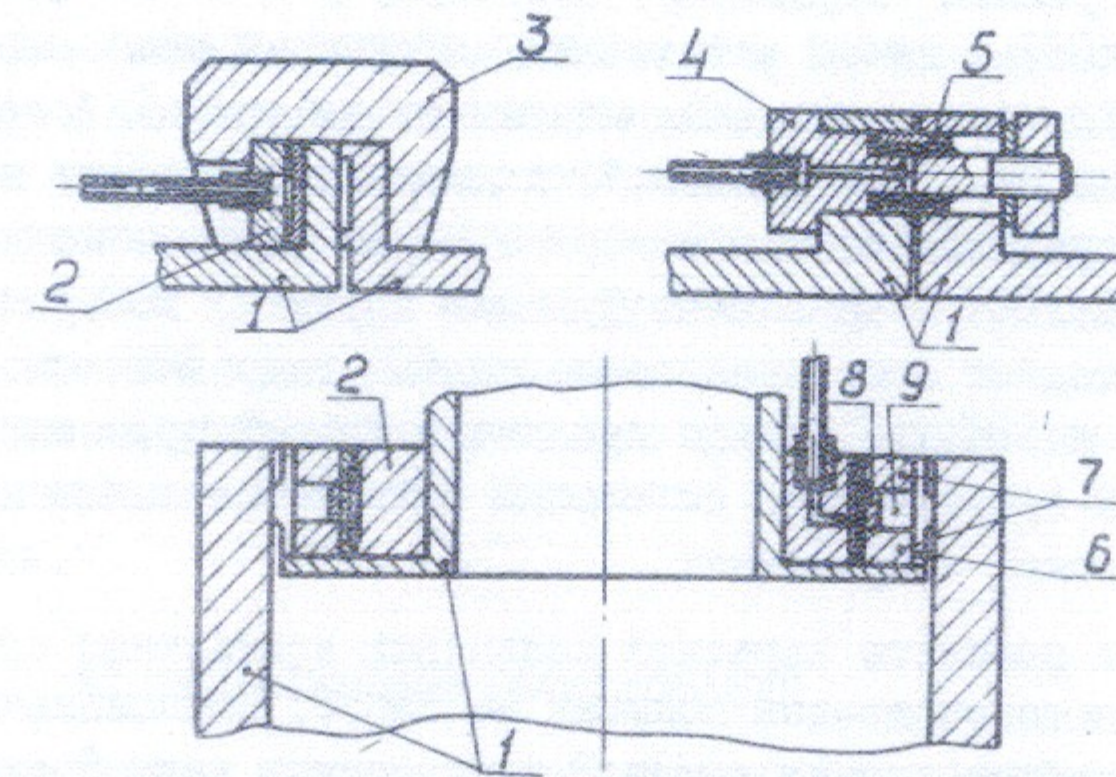


Рис.2. Гидравлические прижимы.

I – токоведущие шины, 2 – камера, 3 – силовая скоба, 4 – болт-камера, 5 – контактная втулка, 6 – цанга, 7 – упорные кольца, 8 – пружинное кольцо, 9 – сухарик

В камеру подается давление, которое должно обеспечивать необходимые контактные усилия и скомпенсировать усилия от давления магнитного поля на контактирующие шины при протекании импульса тока. Плоские прижимы (Рис.2, а) обеспечивают коммутацию плоских шин I с помощью камеры 2 и силовой скобы 3. Применение гидравлических болтов 4 (или шпилек) позволяет разделить функции компенсации механических усилий от магнитного поля и гидравлического давления (Рис.2, б). Медная контактная втулка 5 предотвращает протекание тока по мембране, имеющей значительное омическое сопротивление. Оба варианта прижимов могут использоваться как для коммутации тока в плоских, так и в цилиндрических шинах с контактными отбортовками. На Рис.2, "в" представлена схема контактного стыка наружной части токоподвода (ток течет по внутренней поверхности цилиндров), в котором давление мембраны передается на цангу 6 с контактным буртом. Основным преимуществом коаксиальных конструкций с кольцевыми камерами является простота их разборки и сборки, что позволяет легко осуществить дистанционное размыкание контактов. Однако после снятия давления разборка такого прижима затруднена, поскольку усилия на цангу не снимаются полностью из-за остаточных деформаций мембраны вдоль сварного шва. Для предотвращения названных деформаций устанавливаются жесткие стальные кольца 7, а давление на цангу передается только центральной частью мембраны через упругое кольцо 8 и сухарики 9. Кольцо 8 выполняет функцию пружины, возвращающей мембрану в исходное состояние после снятия гидравлического давления; в качестве материала кольца предпочтительней применять титан, допускающий сравнительно со сталью большие перемещения при тех же механических напряжениях.

Макет рабочего варианта кольцевых контактных прижимов для коаксиальных токоподводов показан на Рис.3. Коаксиальные шины I с помощью двухсторонних камер 2 и сдвоенных цанг 3 закорачиваются цилиндром 4. Использование сдвоенных цанг наряду с упрощением конструкции токоподводов позволяет в случае выхода из строя цанг производить замену только контактных узлов или его элементов без замены шин (см.Рис.2, в). На макете проводилась отработка конструкции цанг и элементов гидравлических камер при мегаамперных

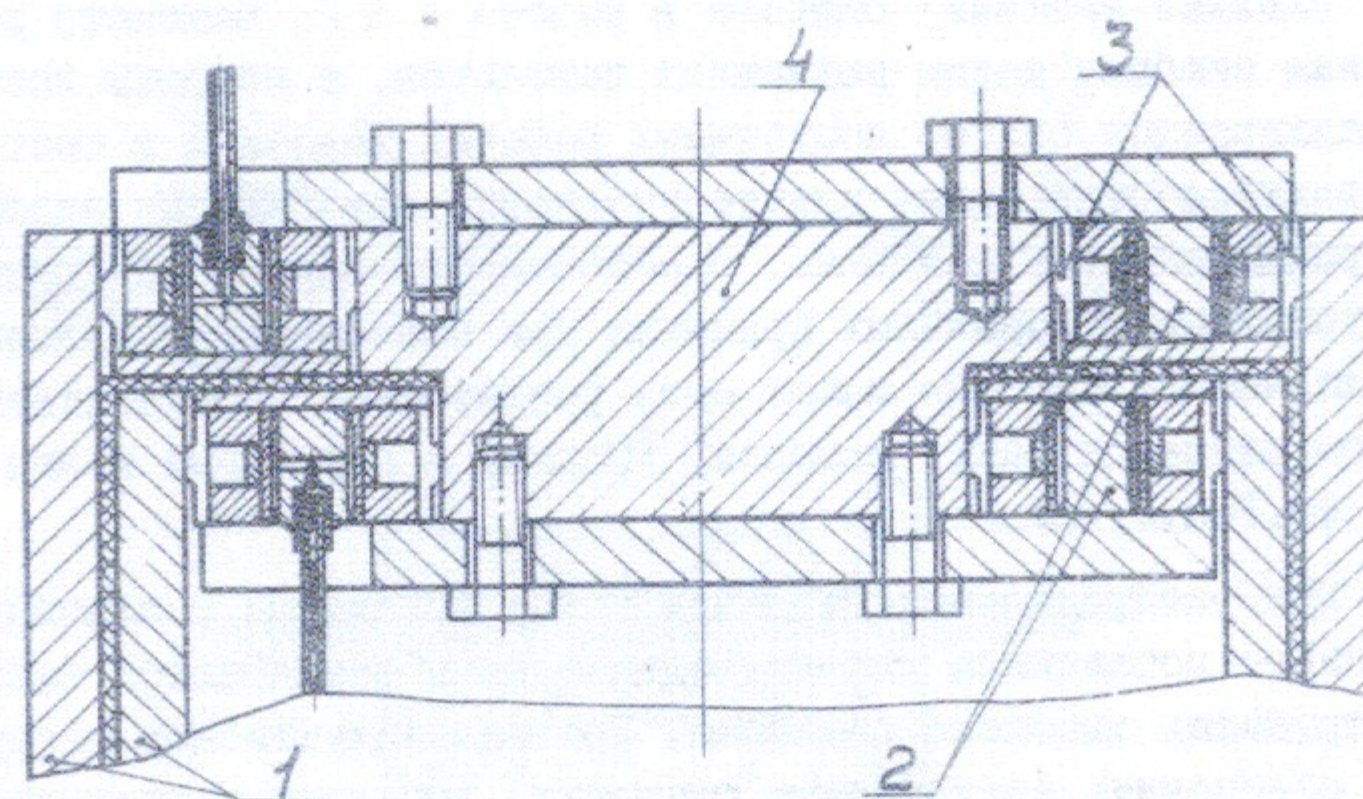


Рис.3. Кольцевые контактные прижимы.

I — токоведущие шины, 2 — двухсторонние гидравлические камеры, 3 — сдвоенная цанга, 4 — закорачивающий цилиндр.

токах. Окончательный вариант прижима был испытан 200 000 импульсов амплитудой 1 МА и длительностью 450 мкс, после чего он использовался для подключения сильноточной аппаратуры. В процессе испытаний различных сильноточных нагрузок контактный узел отработал: при токе 350 кА — 1,2 млн. импульсов, токе 650 кА — 700 тыс. импульсов, при 850 кА — 600 тыс. импульсов, при токе 1 МА — 150 тыс. импульсов. Длительность импульсов тока $\tau \sim 700$ мкс, рабочее давление в цангах ~ 800 атм. Испытания продолжаются в других режимах работы.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для получения высоких гидравлических давлений используется масляный насос, разработанный в Институте неорганической химии СО АН СССР под руководством к.т.н. Д.С. Миринского. Насос построен на базе насос-форсунки серии 80 (Ар 21А3). Номинальное давление насоса 2000 атм, максимальное — 2500 атм, габариты 430 x 320 x 350 мм, рабочая жидкость АМГ-10, веретенное или трансформаторное масло. Используемая аппаратура высокого давления (перепуск-

ные и сливные ventили) описана в работе [1]. Манометр рабочего давления снабжен рядом подвижных контактов, с помощью которых устанавливается сектор допустимых рабочих давлений в системе и производится отключение электроустановки при падении давления ниже установленной величины. Необходимость варьировать контактными усилиями в различных прижимах при постоянном давлении в гидравлической системе может быть реализована соответствующим выбором размеров цапг, мембран, упорных и пружинных колец прижимов (см. Рис. 2, в).

При распределении давления между прижимами различного электрического потенциала токоподводящие шины оказываются закороченными трубками высокого давления. При малоиндуктивных нагрузках можно обеспечить индуктивные развязки, выполнив подводящие трубки в виде соленоидов, однако в большинстве случаев необходима постановка изоляционных развязок. Поскольку выпускаемые промышленностью изоляционные материалы мало пригодны для этих целей, были разработаны специальные изоляторы на основе стеклонити, пропитанной эпоксидным компаундом под давлением ~1000 атм. Испытания показали, что аналогичные изоляторы, пропитанные способом "монолит" под давлением 20 - 40 атм, при давлениях ~500 атм фильтруют жидкость.

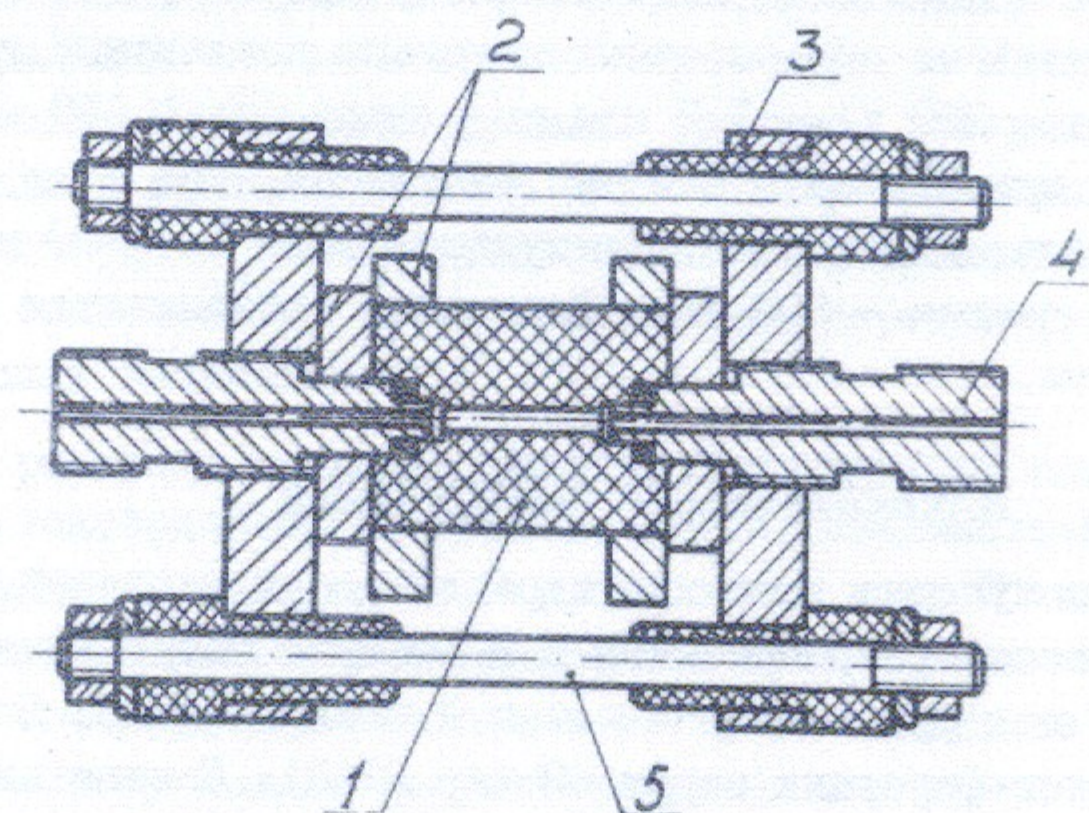


Рис. 4. Изоляционная развязка.

1 - изоляционный цилиндр, 2 - стальные кольца, 3 - стяжная шайба, 4 - вывод высокого давления, 5 - шпилька.

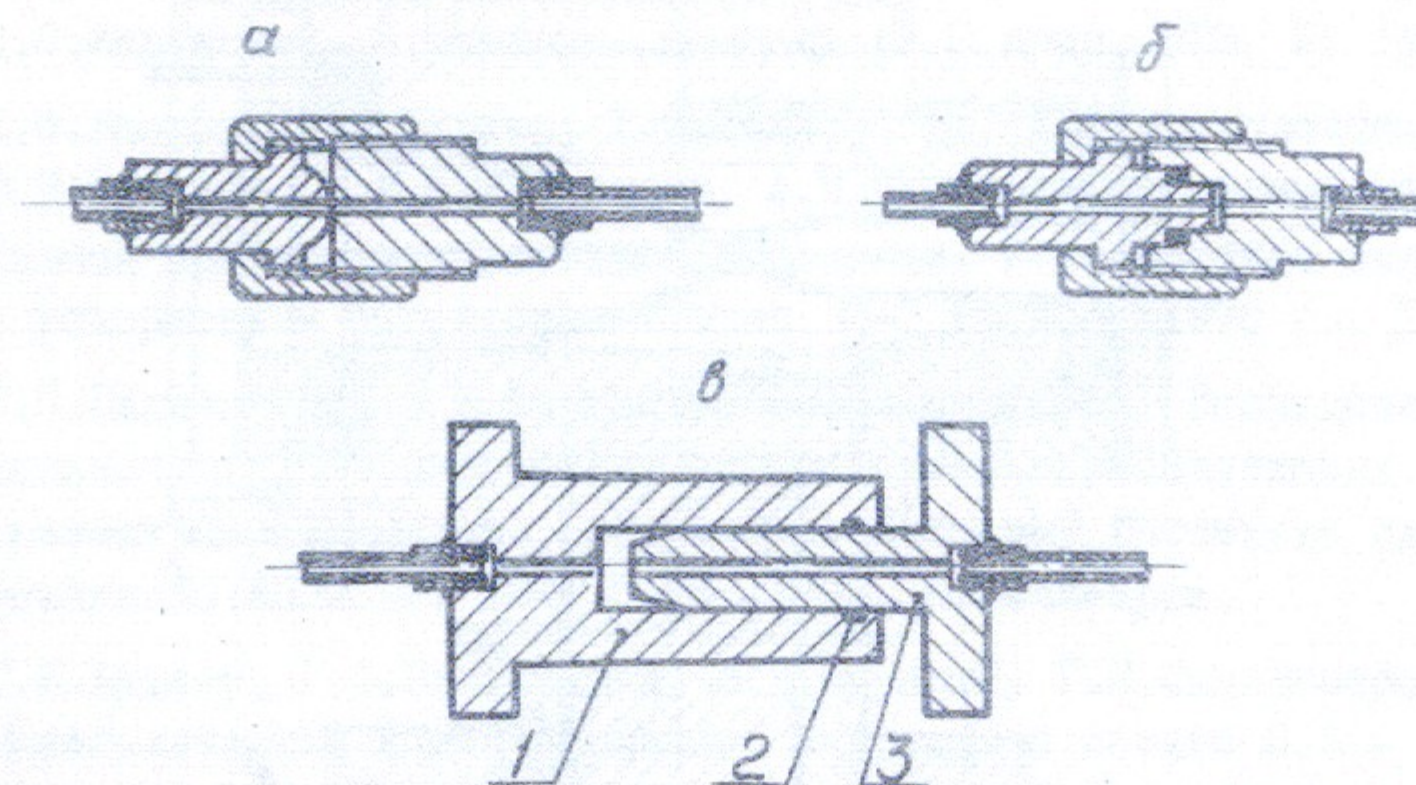


Рис. 5. Гидравлические разъемы.

1 - подвижный цилиндр, 2 - уплотнение, 3 - шток.

Конструкция развязок показана на Рис. 4. На торцах изоляционного цилиндра 1 устанавливаются стальные кольца 2, препятствующие деформации цилиндра в радиальном и продольном направлении в районе, ослабленном проточками под уплотнение. Стяжные шайбы 3 обеспечивают уплотнение выводов 4 с помощью изолированных шпилек 5. Перед постановкой в конструкцию развязки подвергались 10-минутному испытанию давлением от 1500 до 2500 атм, в зависимости от их рабочего давления.

Способы выполнения разъемов маслопроводов показаны на Рис. 5. Вариант "а" применяется для соединения гидравлических трубок. Разъем "б", требующий больших точностей в изготовлении, использовался на вводах в изоляционные развязки. Разъем "в", предназначенный для дистанционного размыкания маслопровода, представляет собой подвижный цилиндр 1, уплотняющийся с помощью отформованной резинки 2 на закрепленном штоке 3.

Описанную выше конструкцию дистанционно размыкаемых контактов предполагается использовать для подвода тока ко всем высокоточным элементам системы протон-антипротонной конверсии [2], в

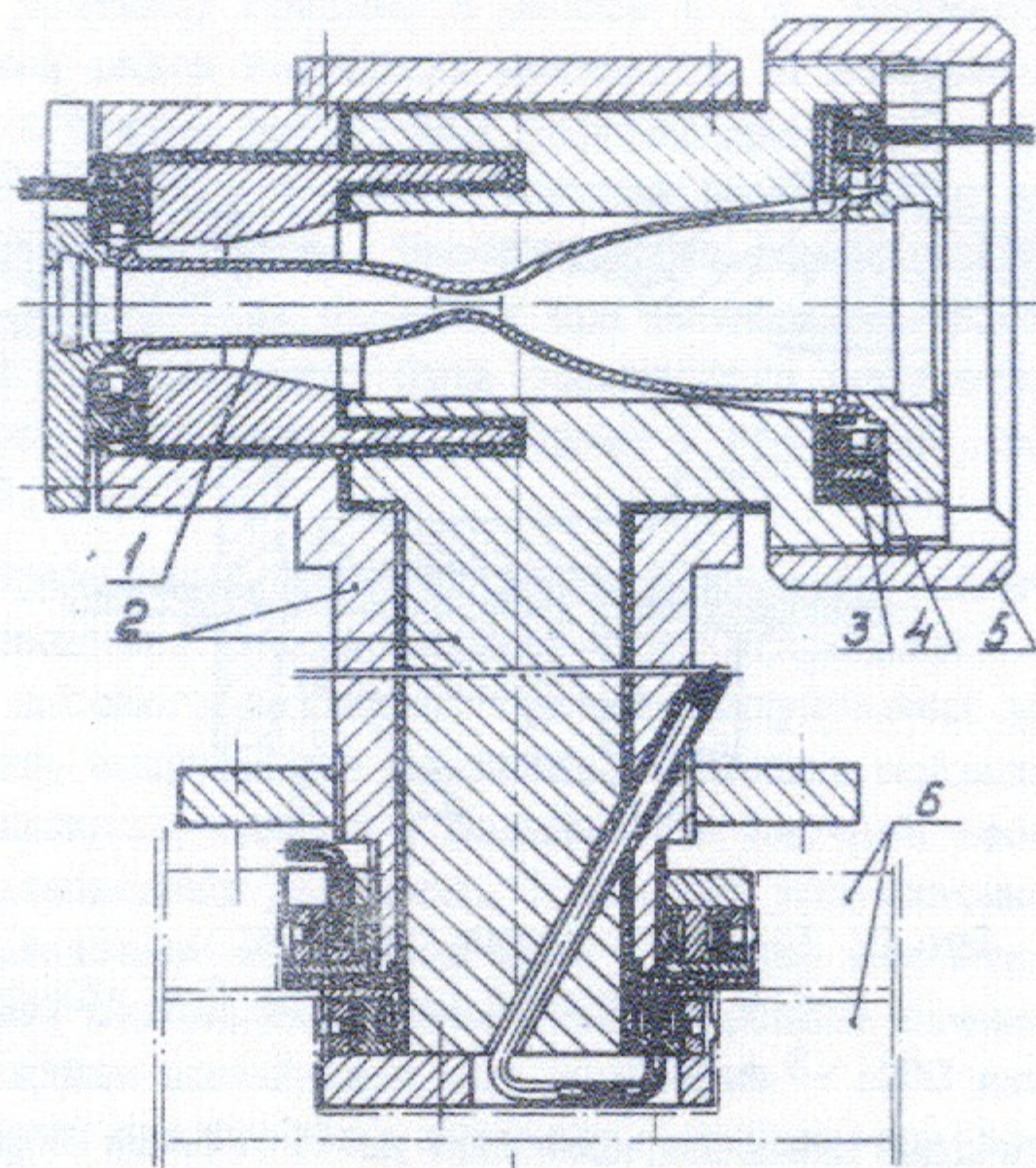


Рис.6. Ошиновка параболической линзы.

1 — линза, 2 — коаксиальный токоподвод,
3 — цанга, 4 — камера, 5 — байонетный
зажим, 6 — дистанционно размыкаемые
контакты.

которой высокие уровни остаточной радиации приводят к необходимости полностью автоматизированной замены любого элемента в случае его неисправности. В конструкции ошиновки параболической линзы на токи 600 кА для фокусировки антипротонов [3], показанной на Рис.6, используется четыре сдвоенные цанги диаметрами от 45 до 170 мм. Цанговые гидравлические прижимы меньших диаметров (~ 30 мм) использовались для коммутации токов амплитудой до 1,5 МА длительностью периода ~ 10 мкс при испытаниях взрывных параболических линз и линз-разрядников [4] при гидравлическом давлении в камерах 1800 атм.

Авторы выражают признательность Куклину Д.Е. за помощь в разработке технологии сварки гидравлических камер, Мурашеву С.Х. и Олейникову М.А. за активное участие в разработке и изготовлении изоляционных развязок.

Л и т е р а т у р а

1. Д.С.Миринский, Я.И.Шурин. Вентиль до 2 кбар. ПТЭ, 2, 1972.
2. Б.Ф.Баянов, Г.И.Будкер, Г.С.Виллевалд, Т.А.Всеволожская, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров, А.Н.Скринский. Система эффективной протон-антипротонной конверсии. У Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц, 5-7 октября 1976 г., Дубна.
3. Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров. Исследование механических характеристик сильноточных параболических линз в режимах динамического нагружения. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, ИЯФ 75-98, 1975, Новосибирск.
4. Г.И.Будкер, Г.С.Виллевалд, В.Н.Карасик, Г.И.Сильвестров. Параболические линзы взрывного действия с полями 0,3 - 1 МэВ. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, ИЯФ 76-58, 1976, Новосибирск.

Работа поступила - 22 декабря 1976 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ

Подписано к печати 10.11-1977г. МН 02645

Усл. 0,7 печ.л., 0,5 учетно-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно

Заказ № 16.

Отпечатано на ротапринтере ИЯФ СО АН СССР