

С 344.1и

П-34

20/xii-67

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 3570



А.Ф. Писарев, В.М. Шешунов

ИМПУЛЬСНЫЕ РАЗРЯДНИКИ
С РАЗЛИЧНЫМИ ПОДЖИГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

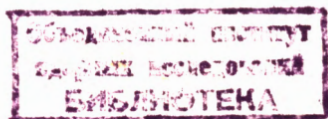
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1967.

P13 - 3570

А.Ф. Писарев, В.М. Шешунов

ИМПУЛЬСНЫЕ РАЗРЯДНИКИ
С РАЗЛИЧНЫМИ ПОДЖИГАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ



5494/1 ч.

Быстрое развитие методики искровых камер и их широкое применение в экспериментах с частицами вызвало необходимость проведения различных исследований сильноточных импульсных разрядников для питания камер. Целью таких исследований явилось создание достаточно простых и надежных в работе высоковольтных разрядников, характеризующихся большим сроком службы, малым временем срабатывания и быстрым нарастанием тока. К настоящему времени в литературе предложено несколько вариантов газонаполненных импульсных разрядников. Однако наиболее употребительными в схемах питания камер стали четыре типа разрядников, отличающихся вариантами поджига разряда в приборе. В каждом из этих разрядников основной разряд в газе инициируется вспомогательным разрядом, который формируется соответственно центральным или боковым игольчатым электродом, закрытым электродом и открытым электродом.

Несмотря на широкое использование разрядников в схемах импульсного питания камер литературные сведения об их основных характеристиках скудны и чрезвычайно разрознены. Это обстоятельство в значительной степени затрудняет обоснованный выбор разрядников для питания экспериментальных установок с искровыми камерами.

В данной работе в одинаковых условиях проведено исследование характеристик разрядников с центральной, открытой и закрытой системами поджига и разрядника с кольцевой системой поджига, являющегося усовершенствованной конструкцией разрядника с боковым игольчатым поджигом. Были выполнены измерения времени нарастания импульса и величины тока в импульсе, времени задержки включения и частоты срабатывания. Сделана также сравнительная оценка "долговечности" каждого типа разрядника. Эти исследования дают возможность провести четкое сравнение достоинств различных разрядников и сделать определенные выводы относительно их использования.

Устройство и принцип действия разрядников

Аноды всех разрядников выполнялись из нержавеющей стали и имели сферическую форму с радиусом кривизны 8 мм. Катоды изготовлялись также из нержавеющей стали, но их формы были различными в зависимости от выбранного способа поджига. Электроды монтировались в стеклянном или плексигласовом баллоне, что позволяло наблюдать особенности в характере развития разряда на поджигающем электроде. Конструкция разрядников допускала возможность плавной регулировки зазора между анодом и катодом в процессе эксперимента.

Приведенные в данной статье характеристики разрядников получены при их работе в условиях свободного контакта электродов с атмосферой. При таком режиме работы звуковые волны в разряде способствовали интенсивному обмену воздуха в разрядном промежутке.

Устройство систем катод-поджигающий электрод показано на рис. 1. Поджигающий электрод в игольчатой системе сделан из никелевой проволоки 0,3 мм. При подаче импульсного напряжения на этот электрод в зазоре игла-катод возникает коронный разряд, который инициирует основной разряд в газе между анодом и катодом.

В системе закрытого типа, рассмотренной в работе /1/, поджигающий электрод, как показано на рис. 1б, отделен от катода диэлектрической прослойкой. Этот слой в момент подачи импульса напряжения на поджигающий электрод способствует резкому усилению электрического поля на остром краю катода, соприкасающегося с поверхностью слоя. В точках соприкосновения возникают начальные разряды, которые порождают пробой газа в разряднике между анодом и катодом. В качестве диэлектрического слоя использовались титанат-бариевые пластинки толщиной 0,3–0,7 мм и листки из слюды толщиной около 0,1 мм.

В следующей системе поджига, изображенной на рис. 1в, поджигающий электрод также отделен от катода диэлектрическим слоем, но поджигающая игла этого электрода открыта со стороны рабочего промежутка разрядника. Между иглой и острым краем катода в момент подачи импульсного напряжения на поджигающий электрод возникает скользящий разряд на поверхности диэлектрической пластинки. Этот разряд, как и в предыдущих двух системах, дает начало электрическому пробую газа в основном промежутке разрядника, т.е. между анодом и катодом. В качестве диэлектрических сред испытывались стеклянные шайбы толщиной 3 мм и пластинки из слюды толщиной около 0,3 мм.

Наконец, в разряднике с кольцевой системой поджига, представленном на рис. 1г, поджигающий электрод выполнен в виде тонкого плоского диска с отверстием в центре. Симметричность расположения этого диска относительно катода обеспечивает равномерность зазора, в котором формируется начальный разряд. Основной же разряд, как и в рассмотренных случаях, происходит между анодом и катодом.

Как следует из краткого рассмотрения разрядников, их основное различие заключается в способах формирования начального иницирующего разряда. Коммутация же этого разряда на основной промежуток у них происходит одинаковым образом за счет электронов и ультрафиолетовой радиации, инжектируемых системой поджига.

Схема измерения характеристик

Для исследования основных параметров разрядников: частоты срабатывания, времени запаздывания разряда, крутизны фронта выходных импульсов и тока в импульсе использовалась специальная установка, блок-схема которой показана на рис. 2. Измерительным элементом в этой схеме служило калиброванное сопротивление, выполненное из отрезка марганцовой проволоки с сопротивлением 0,02 ом и индуктивностью около 10^{-9} гн. Накопительная емкость имела величину 2,2 пф. Величина тока в разряде определялась по амплитуде импульса напряжения, возникающего на калиброванном элементе. Измерения проводились широкополосным осциллографом. С помощью этого же осциллографа определялись время нарастания тока в импульсе (τ_{ϕ}) и его задержка ($\tau_{з}$), измеряемая промежутком времени от начала действия поджигающего импульса до начала появления тока в нагрузке разрядника. Частота следования поджигающих импульсов задавалась генератором. Число срабатываний разрядника измерялось пересчетным устройством, имевшим связь с разрядником.

Результаты измерений и их обсуждение

Во всех измерениях расстояние между анодом и катодом у разрядников устанавливалось одинаковым и составляло 4 мм. Величина этого зазора соответствовала самопроизвольному пробое разрядников при напряжении на аноде

выше 12 кв. Электрическая прочность на пробой в постоянном поле поджигающего промежутка у разрядников игольчатого типа составляла 1,4 кв, у закрытого типа - 2,3-3 кв, открытого типа - 2,7 кв и с кольцевой системой поджига - 500 в. Входная емкость по поджигающему электроду у исследованных разрядников составляла 10-15 пф.

Полученная в опытах зависимость времени запаздывания срабатывания разрядников от величины амплитуды поджигающего импульса и значения анодного напряжения представлена графиками на рис. 3. Из хода кривых, показанных на рис. 3а, следует, что при значениях амплитуды поджигающего импульса до 4 кв минимальным временем τ_3 обладает разрядник с игольчатой системой поджига. Несколько большим значением τ_3 характеризуются разрядники с кольцевой и закрытой системами поджига (кривые 6,2 и 3, соответственно), и еще большую величину τ_3 имеют разрядники с открытой системой поджига (поджиг с помощью скользящего разряда, кривые 4 и 5). Возрастание τ_3 при переходе от разрядников игольчатого типа к разрядникам закрытого и открытого типов при работе с небольшими входными импульсами можно объяснить одновременным действием различных причин:

- а) различием диэлектрических проницаемостей в зазорах катод-поджиг;
- б) различной степенью зарядки поверхностным и объемным зарядом диэлектрика;
- в) нетождественностью условий инициирования начальных электронов у иглы и краев поджигающего промежутка и
- г) различной топографией поля в зазоре катод-анод в окрестности поджигающего электрода. Доминирующую причину из них выбрать трудно. При значениях $U_n \geq 5$ кв время запаздывания разряда у всех типов разрядников выравнивается и становится равным 50 нсек, что объясняется большой степенью перенапряжения электрического поля в промежутке катод-поджиг.

Чувствительность скорости формирования пробоя в разряднике в зависимости от величины анодного напряжения при постоянном значении амплитуды поджигающего импульса хорошо иллюстрируется кривыми на рис. 3б. Из анализа этих кривых следует, что наиболее быстро пробой формируется в разряднике с игольчатой и кольцевой системами поджига (кривые 1 и 6, медленнее - с открытой системой поджига (кривые 4 и 5) и еще медленнее - с закрытой системой поджига (кривые 2 и 3).

Измерение силы тока в импульсе производилось при напряжении на аноде 11,5 кв и амплитуде поджигающего импульса 5 кв. Нагрузкой для разрядников служили лишь калиброванный элемент и соединительные провода схемы испытания. Таким образом, основным сопротивлением, ограничивающим ток разряда, следует считать сопротивление канала разряда и индуктивность контура разряда. Измерения величины тока показали, что в разряднике с игольчатой системой поджига ток в импульсе был равен ~ 5 ка, а в остальных разрядниках — ~ 3 ка.

Экспериментальная оценка времени нарастания тока в импульсе показала, что во всех типах исследованных разрядников $t_{\phi} \leq 20$ нсек.

В опытах с разрядниками была получена также информация о предельной частоте их срабатывания. Выяснилось, что разрядники закрытого и открытого типа могут срабатывать не чаще 15 раз в секунду, а игольчатые и кольцевые — более 100 раз. Низкая частота срабатывания разрядников с диэлектрической средой в поджигающем электроде объясняется, по-видимому, зарядкой диэлектрика и конечной скоростью его разрядки. Этот процесс при увеличении частоты срабатывания разрядника приводит к блокированию поджигающего импульса.

Исследовалась также долговечность указанных разрядников. Было установлено, что разрядники с открытой и закрытой системами поджига после 100 тысяч срабатываний имели сильное разрушение в поджигающем электроде и практически переставали работать после 100–200 тысяч включений. Разрядники игольчатого типа могли срабатывать 400–500 тысяч раз, после чего их запуск становился неустойчивым. Разборка этих разрядников и осмотр их элементов показал, что после указанного количества включений у разрядников с титанат-бариевыми пластинками поверхности пластинок были сильно изрыллены и покрыты налетом металла. Аналогичный характер повреждения, но в несколько меньшей степени, имели и другие разрядники с диэлектрическими прослойками. У разрядников с игольчатой системой поджига промежуток между иглой и катодом был сильно загрязнен различными окислами, которые интенсивно образуются в каналах разряда. Эти окислы создавали проводящие мостики между иглой и катодом, что нарушало нормальную работу системы поджига.

Наиболее удачным оказался разрядник последнего типа — с кольцевой системой поджига. В отличие от предыдущих разрядников для него не удалось устано-

вить предельного числа срабатываний, так как после 3-4 миллионов включений разрядник продолжал устойчиво работать без каких-либо заметных изменений. Последнее объясняется, по-видимому, следующими причинами. Во-первых, в этом типе разрядника зазор между плоским поджигающим электродом и сферическим катодом открыт с двух сторон, что облегчает естественное удаление осадков из этого промежутка звуковой волной, идущей из канала основного разряда. Во-вторых, при кольцевой системе поджига места возникновения поджигающих разрядов непрерывно изменяются по периметру кольца, что предохраняет край поджигающего электрода от быстрого разрушения. И, наконец, в-третьих, при соответствующей полярности напряжения на электродах: катод на "земле", анод на "плюсе" ("минусе") и поджигающий электрод на "плюсе" ("минусе") основной разряд возникает всякий раз только между анодом и катодом и никогда - между анодом и поджигающим электродом, что также положительно сказывается на сохранности поджигающего электрода.

Конструкция разрядника с кольцевой системой поджига показана на рис. 4. Здесь уместно отметить простоту конструкции этого разрядника и легкость его изготовления и настройки в работе.

Наконец, следует отметить, что в данной работе проверялась чувствительность срабатывания разрядников к амплитуде поджигающего импульса. Установлено, что максимальной чувствительностью обладают разрядники с закрытой системой поджига. Минимальная амплитуда поджига для них составляет около 500 в. Разрядники с открытой системой поджига имеют порог срабатывания около 3,5 кв. Разрядники игольчатого типа поджигаются импульсами с амплитудой 1,5 кв, а с кольцевой системой поджига - 2,2 кв.

В заключение на основании обсуждения полученных результатов можно сделать следующие краткие выводы, важные для практического использования разрядников:

а) По надежности в работе, малому времени запаздывания разряда, большой частоте срабатывания и долговечности лучшим следует считать разрядник с кольцевой системой поджига. По совокупности этих параметров несколько худшим является разрядник игольчатого типа.

б) Использование разрядников с системами поджига закрытого и открытого типа для питания импульсных схем можно рекомендовать в тех случаях, когда возникает необходимость в запуске разрядника импульсами небольшой амплитуды

(сотни вольт), но не требуется большой частоты срабатывания и продолжительного срока службы.

Авторы благодарят В.Ф. Писарева за помощь в разработке конструкции разрядников.

Л и т е р а т у р а

1. Г.М. Городнянский, Е.А. Дамаскинский, А.С. Денисов, М.П. Константинова, К.М. Круглов, Н.П. Мокровский. ПТЭ, 2, 88 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1967 г.

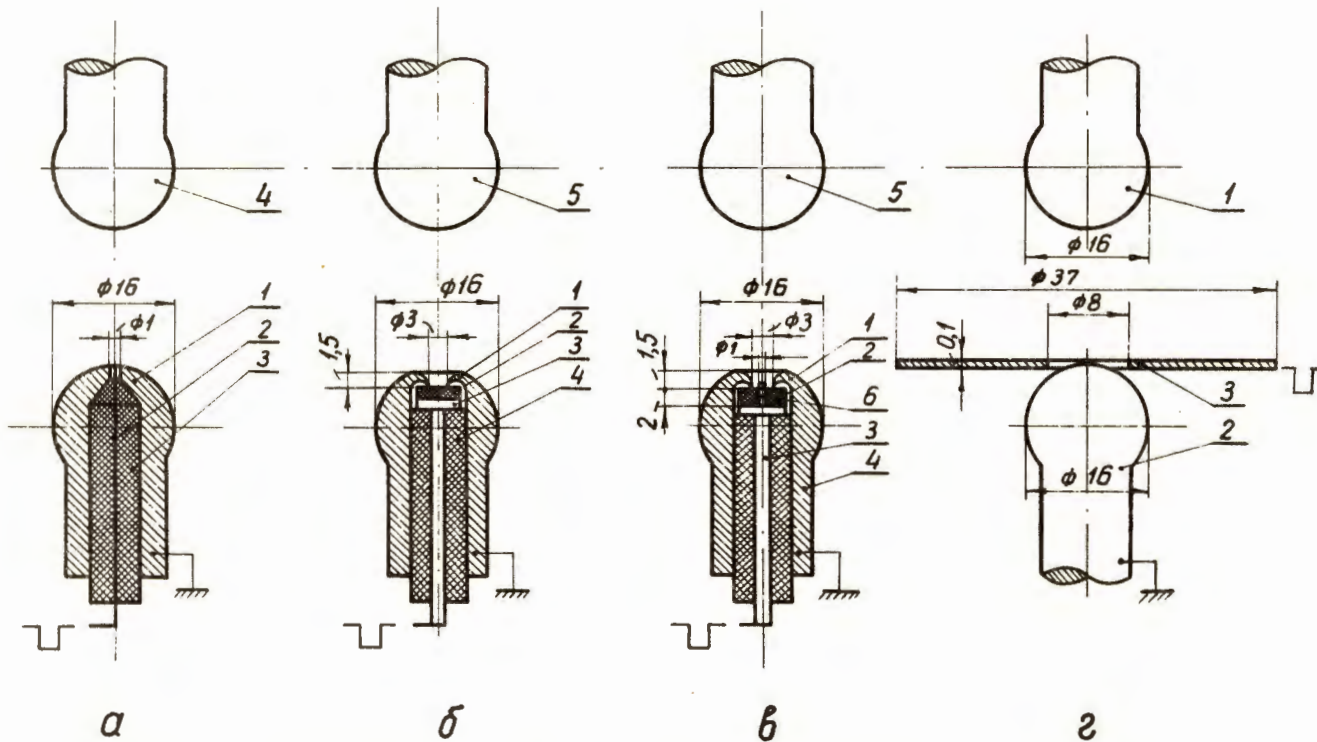


Рис. 1. Конструкции поджигающего электрода и катода. а) Игольчатая система. 1 - катод, 2 - поджигающий электрод, 3 - изолятор, 4 - анод. б) Закрытая система. 1 - катод, 2 - диэлектрическая пластинка, 3 - поджигающий электрод, 4 - изолятор, 5 - анод. в) Открытая система. 6 - поджигающая игла, г) Плоско-кольцевая система. 1 - анод, 2 - катод, 3 - поджигающий электрод.

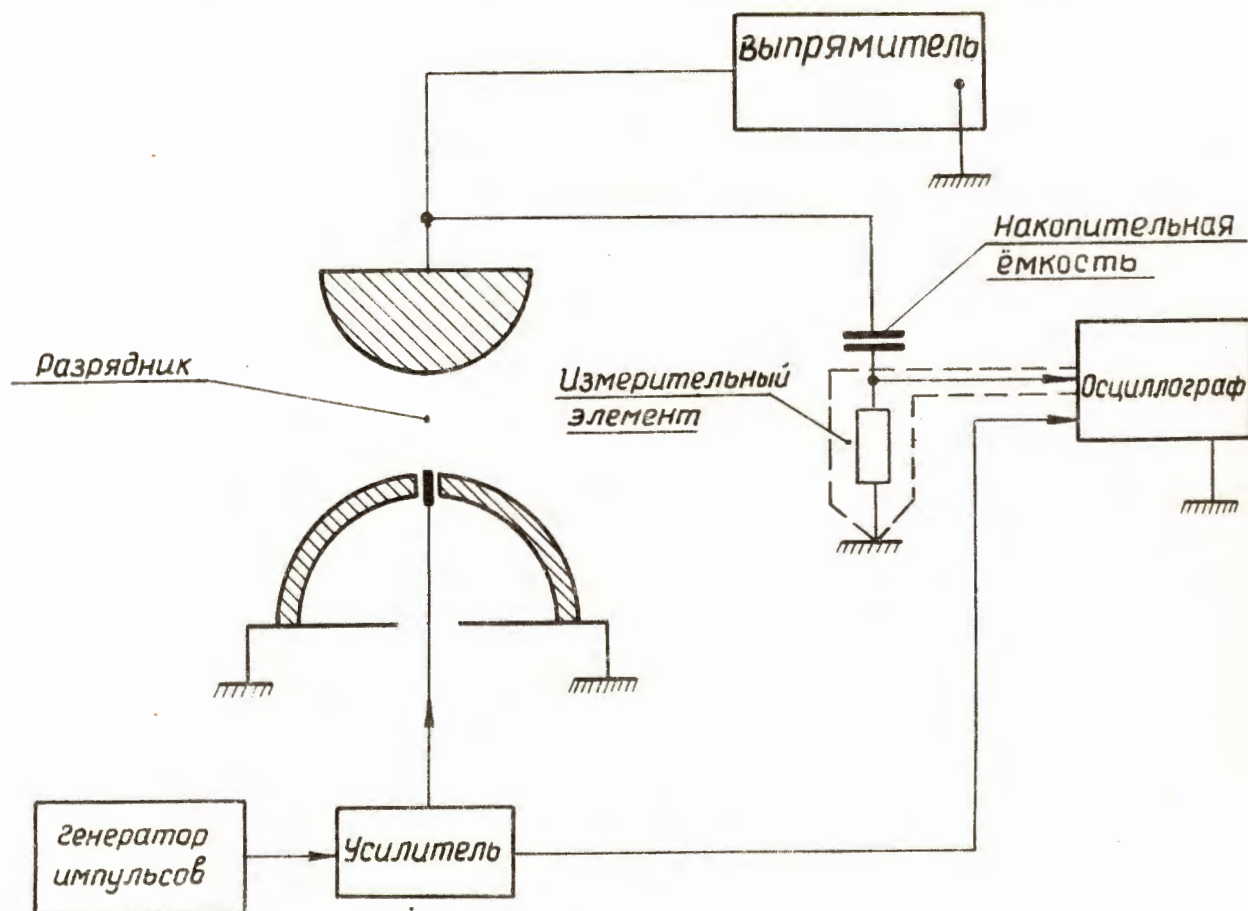


Рис. 2. Блок-схема испытания разрядников.

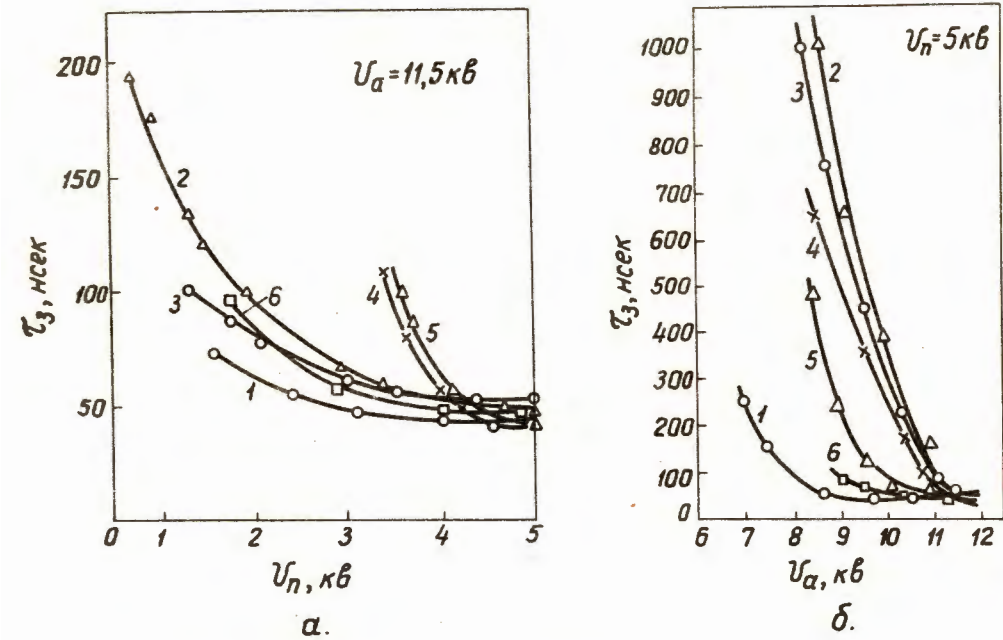


Рис. 3. Зависимость времени запаздывания срабатывания τ_z разрядника от напряжения питания U_a и амплитуды поджигающего импульса U_n . а) Зависимость τ_z от амплитуды поджигающего импульса при постоянном напряжении на аноде. 1 - игольчатая система поджига, 2 - поджиг через титанат-бариевую пластинку, 3 - поджиг через слюдяную пластинку, 4 - открытый поджиг по поверхности слюды, 5 - по поверхности стеклянной шайбы, 6 - кольцевая система поджига. б) Зависимость τ_z от величины анодного напряжения при постоянной амплитуде поджигающего импульса.

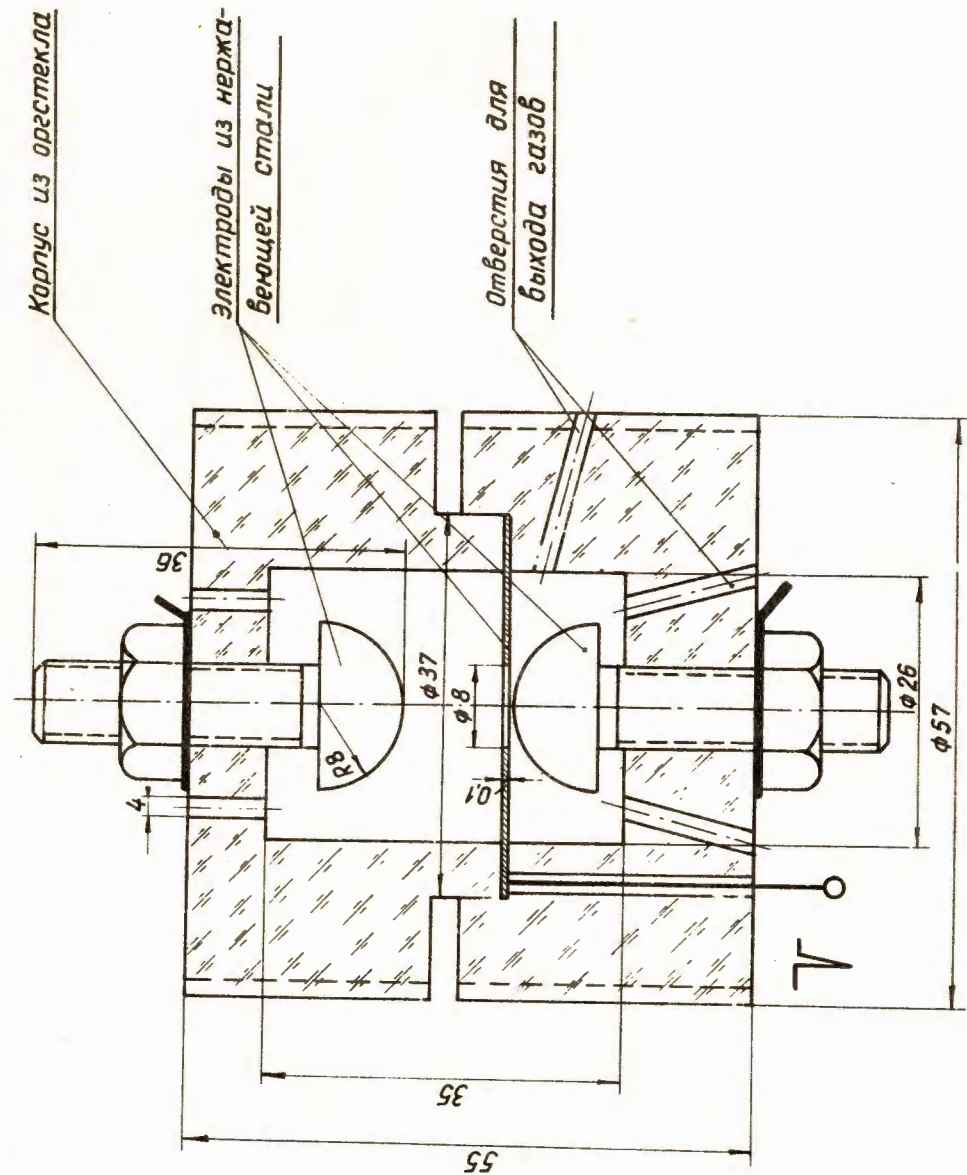


Рис. 4. Устройство разрядника с кольцевой системой поджига