

В 345 Н

Г-57

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1729



Го Ци-цянь, Г. Индреаш, А.С. Пасюк,
Ю.П. Третьяков

ПОЛУЧЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ ВОДОРОДА
ИЗ ДУГОВОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

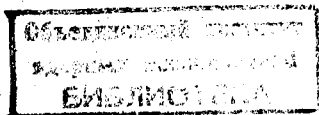
1964

1729

Го Ци-цзянь, Г. Индреш, А.С. Пасюк,
Ю.П. Третьяков

ПОЛУЧЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
ИОНОВ ВОДОРОДА
ИЗ ДУГОВОГО ИСТОЧНИКА НА СТЕНДЕ

Направлено в "Studii și cercetări de fizică"



2652/3 нр.

Отрицательные ионы, используемые в качестве ускоряемых частиц, обладают в ряде случаев определенными преимуществами перед аналогичными положительными частицами.

Возможность получения отрицательных ионов позволила перешагнуть предел энергии, достигаемый в электростатических ускорителях типа Ван-Граафа (~ 8 Мэв) и продвинуться в область энергии порядка 10-20 Мэв с помощью перезарядных (тандемных) ускорителей.

Отрицательные ионы в этих ускорителях получают в специальном перезарядном устройстве (фольга, газ, струя пара) из положительных ионов. Эффективность преобразования положительных ионов в отрицательные невысока (< 10%), и поэтому интенсивность полученных пучков обычно не превышает нескольких десятков микроампер^{/1/}, хотя известны и более мощные источники отрицательных ионов^{/2/}.

Не менее интересным является ускорение отрицательных ионов в циклотронах и фазотронах. Это особенно важно в ускорителях с энергией $E > 15$ Мэв/нуклон, т.е. в тех случаях, когда вывод энергетических пучков обычными электростатическими дефлекторами затруднителен и малоэффективен. При ускорении отрицательных ионов проблема вывода решается легко и с большой эффективностью: перезарядка отрицательных ионов в положительные перед выводом приводит к изменению знака кривизны траектории пучка, что позволяет осуществить вывод с различных радиусов ускорения, начиная с $R > \frac{1}{3} R_k$ (R_k - конечный радиус).

Так, в 52-дюймовом циклотроне Колорадского университета отрицательные ионы, ускоренные до конечного радиуса, были выведены путем обдирки на мишени из Al_2O_3 . Интенсивность выведенного пучка в предварительных опытах составляла ~ 1 мка^{/3/}. Отрицательные ионы H^- были ускорены также на полутораметровом циклотроне ИАЭ. Пучок интенсивностью ~ 0,7 мка был выведен однако обычной электростатической системой^{/4/}.

Максимальный ток D^- порядка 2 ма был получен в стендовых испытаниях дугового источника с магнитным полем^{/5/}.

В некоторых проектируемых установках с энергией $E \sim 100$ Мэв также предполагается использование отрицательных ионов с тем, чтобы осуществить вывод с

перезарядкой. Этим объясняется появившийся в последнее время интерес к изучению процесса образования отрицательных ионов и разработке источников для их получения.

Целью настоящей работы явилось исследование особенностей получения отрицательных ионов водорода в обычном протонном дуговом источнике с возможно меньшим количеством расхода газа. Это очень существенно, так как при ускорении отрицательных ионов в камере циклотрона должен быть хороший вакуум, чтобы исключить перезарядку. Испытания проводились на стенде, позволяющем осуществить анализ по принципу фокусировки вытягиваемых из источника ионов при повороте пучка на 180° в однородном магнитном поле.

Условия проведения опытов и описание установки

Источник и схема его питания представлены на рис. 1.

Исследуемый дуговой источник - закрытого типа с катодом прямого накала, изготовленным из вольфрамовой или танталовой проволоки диаметром 3 мм. Водород в газоразрядную камеру подавался вблизи катода. Конструкция источника позволяла осуществлять работу источника в режимах с прямой либо осциллирующей дугой (положения 1 и 2 рубильника Р на рис. 1).

Начальная юстировка катода производилась по максимуму тока в цепи антикатода в режиме с прямой дугой.

Накал катода источника осуществлялся выпрямителем с $U_H = 12$ в, $I_H = 600$ а, ток накала составлял в наших опытах 380-440а. Дуга разряда питалась от выпрямителя, дающего напряжение до 1000 в при токе 10а. В цепь питания дуги могли быть включены модуляторные триоды (типа ГМ1-А), что позволяло осуществить импульсный режим работы источника. В непрерывном режиме в цепь дуги включалось балластное сопротивление 20 ом.

Ионы извлекались из источника через щель размером $0,5 \times 10$ мм вытягивающим электродом в виде дуанта, на который подавался положительный потенциал $U_{\text{выт.}} = 6-10$ кв. Вытягиваемые ионы в однородном магнитном поле ($H = 3000$ э) фокусировались на щели коллектора (размером 1×35 мм), который мог перемещаться по радиусу вдоль дуанта. На коллектор был подан положительный потенциал 100 в. Ток отрицательных ионов измерялся непосредственно микроамперметром типа М194 (в непрерывном режиме). Давление в объеме во время работы источника составляло $(2-6) \cdot 10^{-5}$ тор.

Результаты измерений

На выход положительных ионов из дугового источника влияет ряд взаимосвязанных параметров режима дуги, из которых важнейшими являются давление в газоразрядной камере (регулируется изменением подачи газа в источник), напряжение и ток дуги (зависят от давления в газоразрядной камере и регулируются изменением тока накала катода и напряжения выпрямителя питания дуги).

Нами было исследовано влияние этих параметров на выход отрицательных ионов водорода.

1. Влияние расхода газа на величину тока ионов H^-

Величина расхода газа в источнике важна при ускорении отрицательных ионов, так как в этом случае условия рабочего вакуума в камере ускорителя более жесткие, чем при ускорении положительных ионов. Поэтому желательно найти приемлемый режим работы источника при минимальном расходе газа.

Исследовалась работа источника в непрерывном режиме с прямой и осциллирующей дугой. При снятии зависимостей $I_{H^-} = f(Q)$, приведенных на рис. 2, величина тока и напряжение дуги поддерживались постоянными (изменением тока накала катода) и составляли 3а и 75в при прямой дуге и 4а и 80в при осциллирующей дуге. Кривые имеют максимум при расходе газа $Q = 1,5-2$ см³/мин. Предпочтительным является режим без осцилляции электронов, когда ток ионов достигал ~ 80 мка.

2. Влияние величины тока дуги на выход ионов

Зависимости $I_{H^-} = f(I_D)$ снимались при постоянном оптимальном расходе газа ($Q = 1,5-2$ см³/мин) в непрерывном режиме. Характеристика, снятая в режиме с прямой дугой при $U_D = 75$ в = const, изображена на рис. 3. На рис. 4 представлена зависимость $I_{H^-} = f(I_D)$ при постоянном токе накала катода в том же режиме. На рисунке приведены величины напряжения дуги в каждой точке кривой (ток ионов H^- в относительных единицах). В пределах $U_D = 30-50$ в зависимость выхода ионов H^- от тока дуги почти линейная, характер кривой находится в соответствии с данными работы^{15/} для отрицательных ионов дейтерия. Однако аналогичные кривые в работе^{15/} снимались при постоянном расходе газа и при подборе разрядного напряжения в каждой точке кривой таким образом, чтобы выход ионов D^- был максимальным.

Выход отрицательных ионов водорода в режиме с осциллирующей дугой был значительно ниже.

3. Влияние напряжения дуги на выход ионов

В опытах по выявлению влияния величины напряжения дуги на выход отрицательных ионов водорода расход газа устанавливался оптимальным ($Q = 1,5-2 \text{ см}^3/\text{мин}$), ток дуги поддерживался постоянным $I_D = 3a = \text{const}$ (изменением тока накала катода).

Характеристики $i_{H^-} = f(U_D)$, приведенные на рис. 5, показывают, что в пределах $U_D = 50-150$ в зависимость выхода ионов H^- от разрядного напряжения весьма слабая, особенно при работе с осциллирующей дугой (пунктирная кривая).

В связи с тем, что во многих случаях циклические ускорители работают в импульсном режиме, вышеуказанные характеристики были сняты при работе источника также в импульсном режиме со скважностью 10 при длительности импульса 1 мсек.

Результаты измерений приведены на рис. 6, 7 и 8 (ток H^- в относительных единицах). Характер кривых в непрерывном и импульсном режимах одинаков.

Зависимость тока отрицательных ионов водорода от расхода газа имеет максимум при $Q = 1 \text{ см}^3/\text{мин}$, и режим прямой дуги (сплошная кривая) также является предпочтительным.

Сильная зависимость выхода ионов H^- от величины тока дуги выявляется и в импульсном режиме (рис. 7) как при прямой (сплошная кривая), так и при осциллирующей дуге (пунктирная кривая). Характеристики сняты при неизменном токе накала катода, цифры над кривыми указывают разрядное напряжение.

Слабая зависимость величины тока отрицательных ионов водорода от величины напряжения на дуге остается в силе и в импульсном режиме (рис. 8).

Во всех характеристиках, снятых при импульсном режиме работы источника, абсолютная величина среднего тока отрицательных ионов на порядок ниже чем в подобных зависимостях при непрерывном режиме, так как скважность импульсной работы равна 10.

Наконец, была снята зависимость выхода отрицательных ионов водорода от величины вытягивающего напряжения (рис. 9). В пределах $U_{\text{выт.}} = 6-10$ кВ ток ионов H^- от величины вытягивающего напряжения не зависит.

Выводы

Результаты исследования на стенде дугового источника с горячим катодом как источника отрицательных ионов водорода позволяют сделать следующие выводы.

1. При работе источника с разрядом без осцилляции электронов выход ионов H^- получается больше, чем при осциллирующей дуге. Работа источника с прямой дугой оказалась более эффективной как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

2. Зависимость тока ионов H^- от расхода газа имеет максимум при малых расходах, что особенно важно для поддержания высокого вакуума в рабочем объеме ускорительных камер.

3. Напряжение на дуге в пределах 50-150 в мало влияет на выход отрицательных ионов водорода (при постоянной величине тока дуги).

4. Наблюдается сильная зависимость выхода ионов H^- от тока дуги. Крутизна характеристики $i_{H^-} = f(I_D)$ больше, если с увеличением тока дуги повышается и разрядное напряжение.

5. При работе источника в импульсном режиме средний ток извлеченных из источника ионов H^- уменьшается по сравнению с непрерывным режимом обратно пропорционально скважности.

В описанной системе коллимации пучка ионов был получен ток отрицательных ионов водорода ≈ 70 мка. Сооружение специального источника отрицательных ионов такого типа при оптимальном подборе конструктивных параметров (размера газоразрядной камеры, выходной щели и т.д.) позволит, вероятно, получить токи ионов H^- в несколько раз большие.

Таким образом, дуговой источник с горячим катодом закрытого типа вполне пригоден для использования в циклических ускорителях отрицательных ионов.

В заключение мы хотим поблагодарить проф. Г.Н.Флерова за ценные замечания.

Литература

1. А.К.Вальтер и др. "Электростатические ускорители заряженных частиц", Госатомиздат, Москва, 1963.
2. R.H.Y.M.Dawton. Nucl. Instrum. Meth. 11, 326 (1961).
3. M.E.Rickey, R.Smithe. Nucl. Instrum. Meth., 18-19, 66 (1962).
4. Н.И.Веников. ПТЭ, 1, 38 (1964).
5. K.W.Ehlers, et al., Nucl. Instrum. Meth., 22, 87 (1963).
6. И.И.Афанасьев и др. ПТЭ, 6, 25 (1959).
7. А.С.Пасюк и др. Препринт ОИЯИ 1523, Дубна 1964 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июня 1964 г.

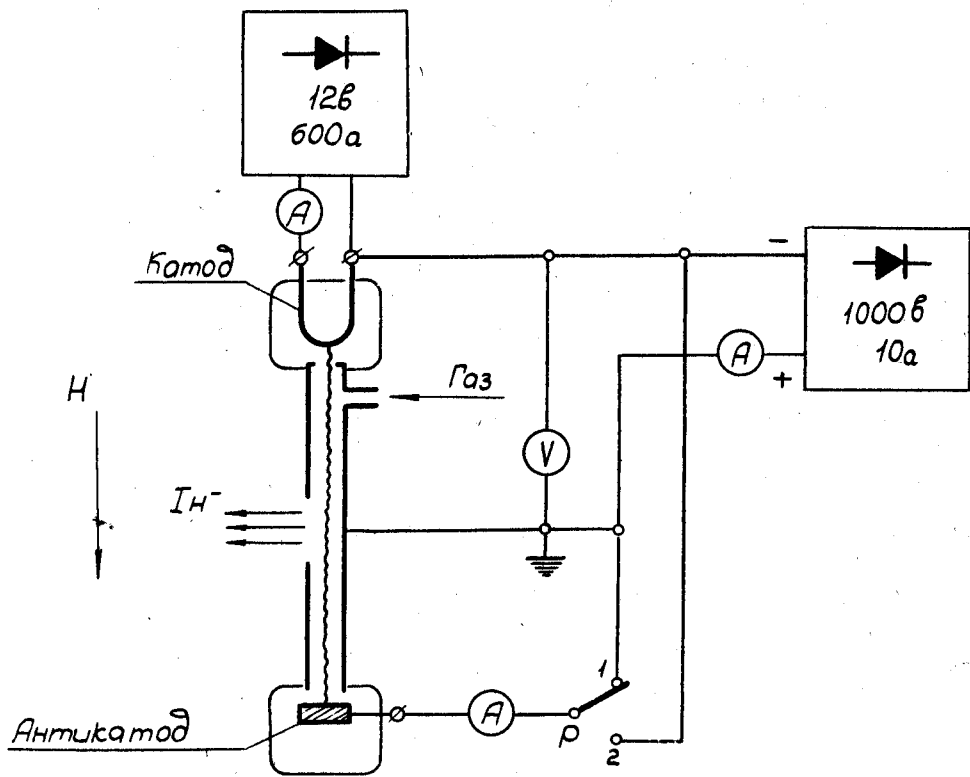


Рис. 1. Блок-схема питания источника.

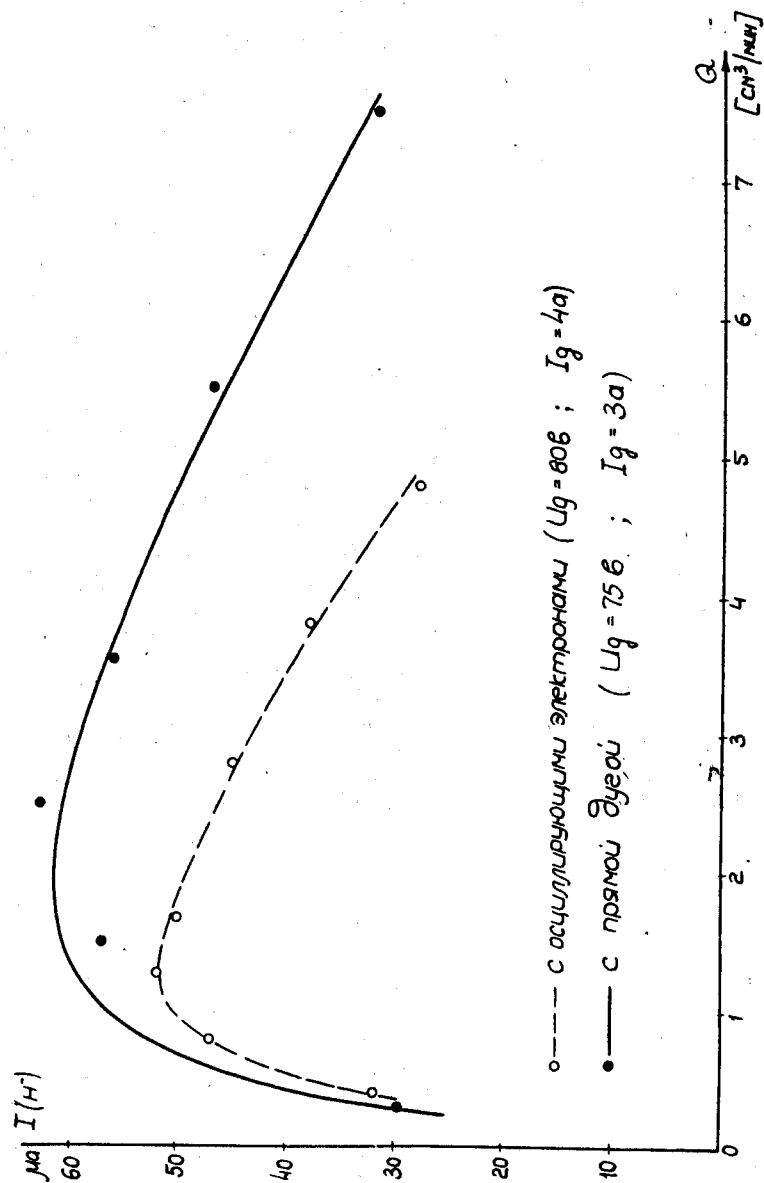


Рис. 2. Зависимость тока ионов H^- от расхода газа при двух режимах работы источника. Ток и напряжение дуги поддерживались постоянными.

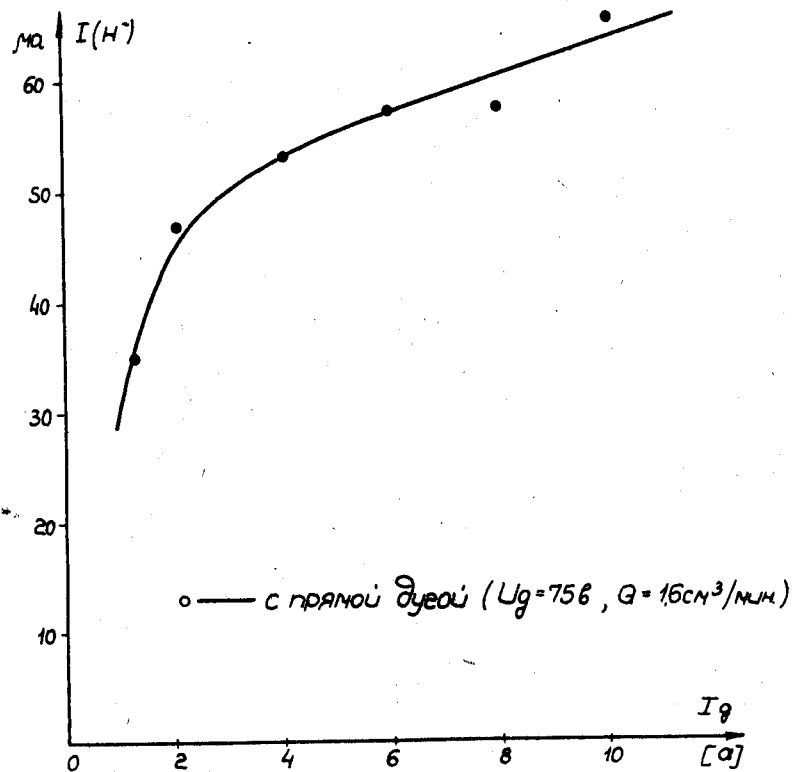


Рис. 3. Зависимость тока ионов H^- от тока дуги при постоянных напряжении разряда и расходе газа. Источник работал в режиме с прямой дугой.

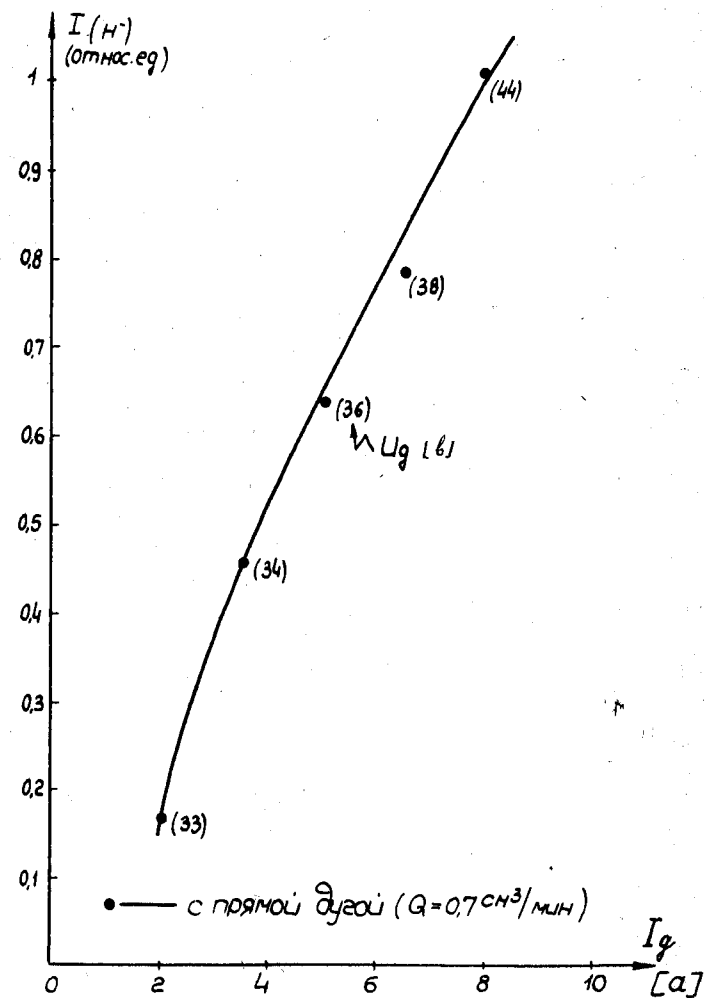


Рис. 4. Зависимость тока ионов H^- от тока дуги при постоянном токе накале катода и расходе газа. Источник работал в режиме с прямой дугой. В скобках указаны величины напряжения дуги.

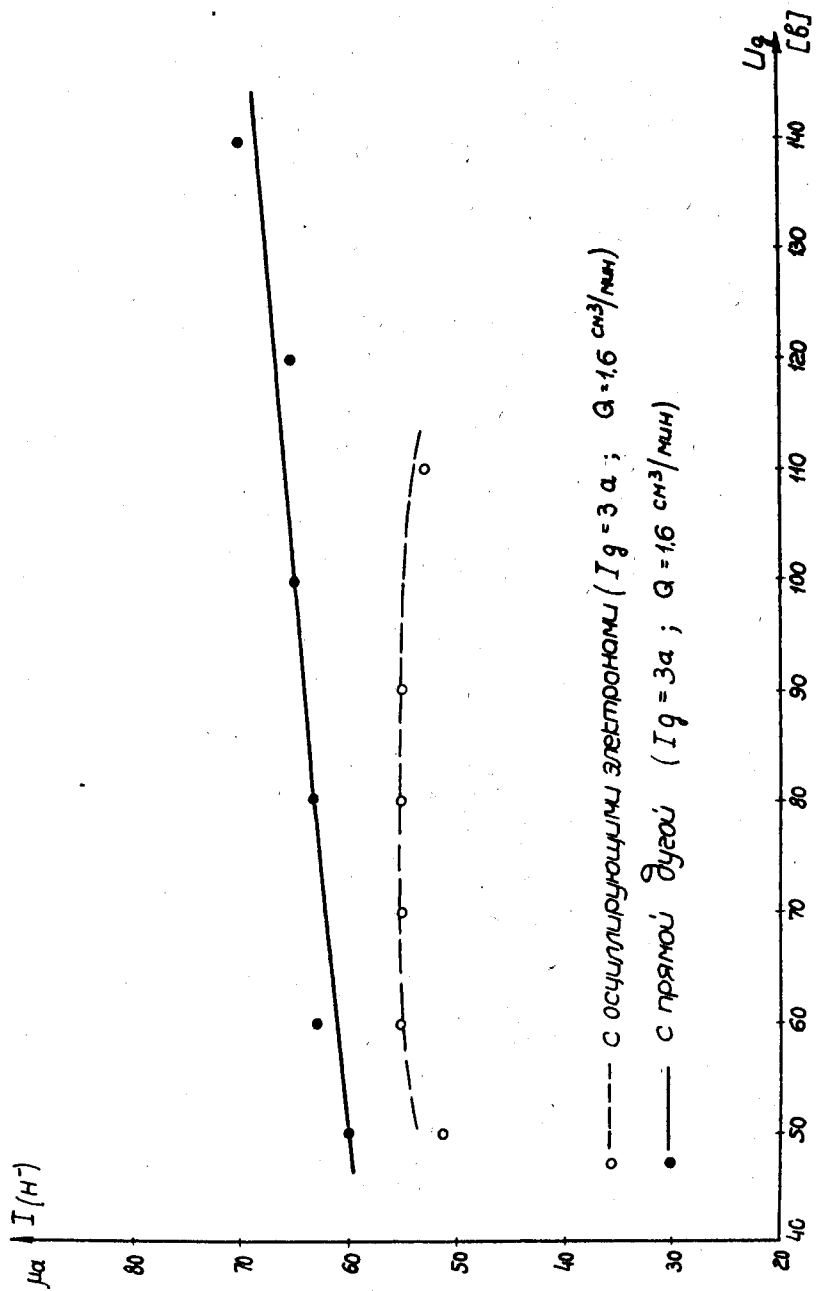


Рис. 5. Зависимости тока ионов H^- от напряжения дуги при постоянных токе дуги и расходе газа в двух режимах работы источника.

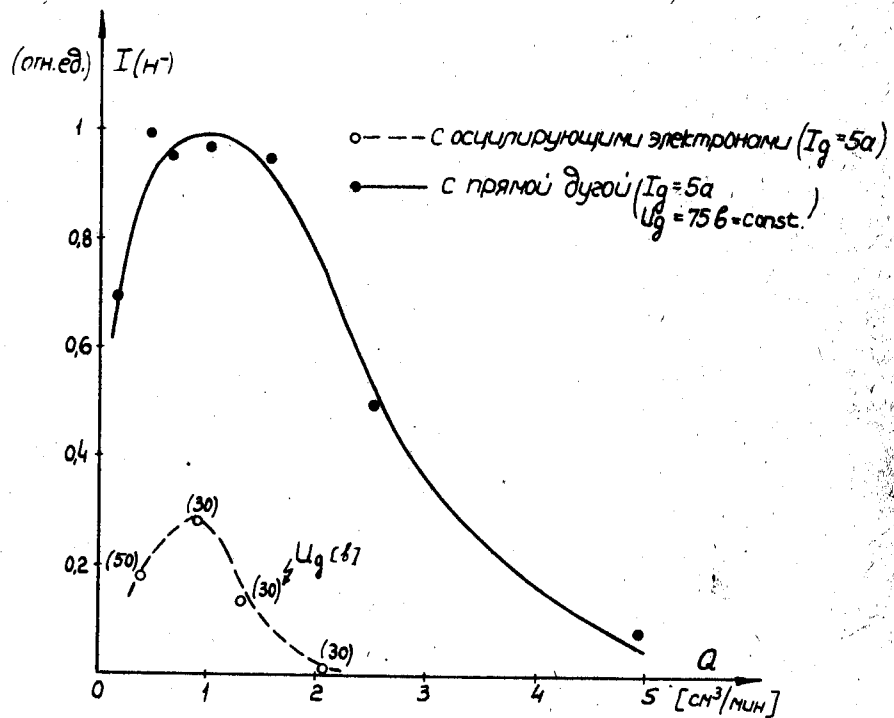


Рис. 6. Зависимость тока ионов H^- от расхода газа при работе источника в импульсном режиме.

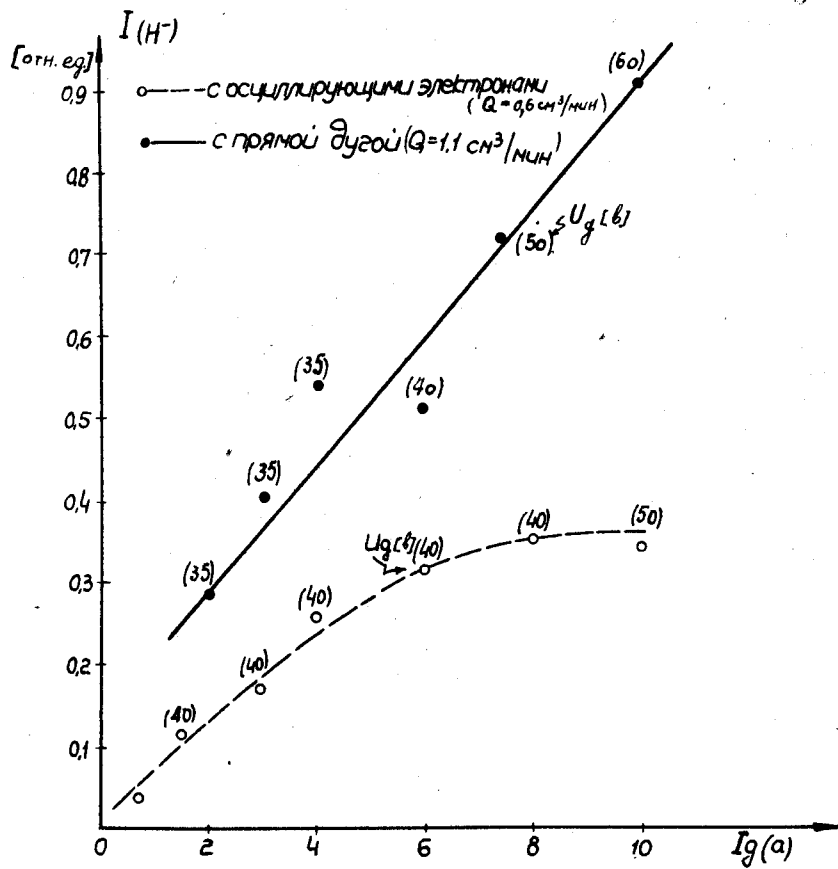


Рис. 7. Зависимости тока ионов H^- от тока дуги в импульсном режиме при постоянном токе нагрева катода. В скобках указаны величины напряжения дуги.

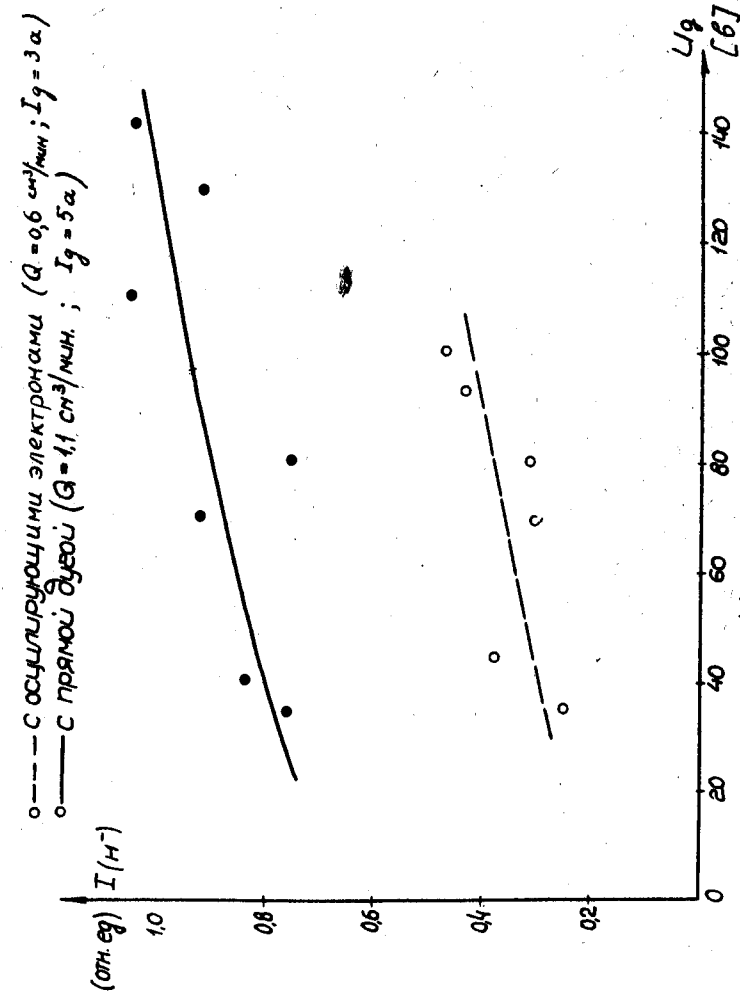


Рис. 8. Зависимости тока ионов H^- от напряжения дуги при постоянном токе дуги в импульсном режиме.

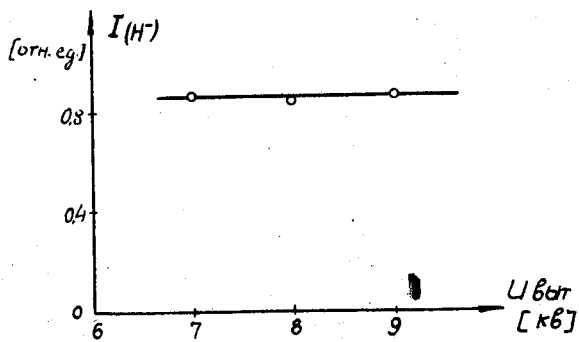


Рис. 8. Зависимость выхода ионов H^- от величины вытягивающего напряжения при постоянных параметрах режима работы источника.