

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-387 e

В.И. Салацкий, И.В. Сизов

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ УСТАНОВКА НА 300 КЭВ
ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ

Дубна 1959 год

P-367

В.И. Салацкий, И.В. Сизов

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ УСТАНОВКА НА 300 КЭВ
ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ИОНОВ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ

А н н о т а ц и я

В работе описывается высоковольтная ускорительная установка на 300 Кэв, предназначенная для ускорения изотопов водорода и гелия. Установка снабжена радиочастотным ионным источником, работающим с малым расходом газа, электронной стабилизацией высокого напряжения и тока магнита, системой регенерации газа, соответствующей защитой от рентгеновского и нейтронного излучений. Дается описание отдельных узлов установки и их работа.

Описываемая установка типа Кокрофта-Уолтона предназначена для ускорения изотопов водорода и гелия. В установку входят следующие элементы:

1. Высоковольтное устройство.
2. Источник ионов и фокусирующая система.
3. Ускорительная трубка.
4. Магнитный анализатор ионных пучков.
5. Вакуумная система,
6. Система улавливания газа.
7. Защита.

1. Высоковольтное устройство

А/ Выпрямитель

Выпрямитель высоковольтного устройства собран на селеновых столбиках по схеме ушестерения напряжения и позволяет получать выпрямленное и отфильтрованное напряжение до 300 кв. Схема высоковольтного устройства, приведенная на рис. 1, состоит из трансформатора на 220в/110 кв; шести выпрямительных вентилях, собранных по схеме умножения напряжения; сглаживающего фильтра; схемы стабилизации высокого напряжения.

Каждый из шести выпрямительных вентилях собран из селеновых столбиков АВС-7А. Для удобства сборки и разборки, замены неисправных селеновых столбиков, вентиль собирается из семи одинаковых секций. Секции соединяются между собой с помощью проходных шпилек и надеваются на бумажно-бакелитовые трубки диаметром 32 мм. На концах трубок запрессованы и приклеены клеем БФ-4 текстолитовые пробки с латунными шпильками, служащими выводными контактами вентиля. Весь вентиль для предохранения от загрязнения заключен в бумажно-бакелитовую трубу диаметром 90x100 мм с металлическими шарами на концах. Общий вид выпрямительного вентиля показан на рис. 2.

Соединение отдельных узлов высоковольтного устройства выполнено алюминиевыми трубами диаметром 40 мм. Все части устройства, находящиеся

под высоким напряжением, для предохранения от коронирования заключены в металлические экраны с закругленными углами.

Регулировка высокого напряжения осуществляется изменением подводимого напряжения на повышающий трансформатор от ступенчатого автотрансформатора /через 10 в /, плавная регулировка напряжения обеспечивается вариактом. Подключение вариака сделано так, что полным поворотом его рукоятки перекрывается десятивольтный диапазон ступенчатого автотрансформатора.

Управление высоковольтным устройством осуществляется с пульта /рис.3/, вынесенного за пределы помещения, где собрана вся установка. Анализ схем с умножением напряжения дан в работе^{1/}. Напряжение на выпрямителе определяется по формуле

$$V = 2nE - \frac{i}{fC} \left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6} \right) = 2nE - \Delta V, \quad (11)$$

где E - амплитуда напряжения /кв/ на вторичной обмотке трансформатора, n - число каскадов удвоения напряжения, i - ток нагрузки (mA), f - частота питающего напряжения /гц/, C - емкость каждого конденсатора /мкф/.

Амплитуда напряжения пульсаций схемы умножения определяется из выражения

$$\delta V = \frac{0,5i}{fC} \cdot \frac{n(n+1)}{2} \quad (\text{кв.}) \quad (12)$$

Полное напряжение меняется между значениями

$$V_{\max} = 2nE - \Delta V \quad (13)$$

$$V_{\min} = 2nE - \Delta V - \delta V. \quad (14)$$

В нашем случае при $n = 3$, $C = 0,022 \mu F$, $f = 50$ гц напряжение в 300 кв при токе нагрузки в 1 ма должно обеспечиваться при напряжении на вторичной обмотке трансформатора $E \approx 53,5$ кв. При испытании высоковольтного устройства данные оказались несколько хуже расчетных. При напряжении на вторичной обмотке трансформатора в 60 кв и токе нагрузки

0,3 - 0,4 ма напряжение на выходе выпрямителя было 300 кв. При увеличении тока нагрузки до 1 ма напряжение на выходе выпрямителя падает до 280 - 285 кв. Оценка амплитуды пульсаций напряжения по формуле / 2 / дает в нашем случае $\delta V = 2,7$ кв при токе нагрузки ≈ 1 ма. С целью уменьшения пульсаций напряжения выпрямителя применен однозвенный Г-образный RC фильтр, состоящий из сопротивления 6 мегом и двенадцати конденсаторов типа ИМ-110 по 0,011 мкф, собранных в три последовательно соединенных группы по четыре конденсатора в каждой группе. Для равномерного распределения напряжения на конденсаторах фильтра, каждая из трех групп конденсаторов присоединена к соответствующей точке делителя напряжения, собранного на ускорительной трубке.

Фильтрующее действие RC фильтра, состоящего из последовательно соединенных активного сопротивления и емкости, при условии, что напряжение снимается с емкости, можно оценить, воспользовавшись уравнением частотной характеристики такой цепи

$$K = \frac{U_{m2}}{U_{m1}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2\pi fRC}}, \quad /5/$$

где U_{m1} - амплитуда переменной составляющей напряжения до фильтра, U_{m2} - амплитуда переменной составляющей напряжения после фильтра, f - частота питающего напряжения, R - сопротивление фильтра, C - емкость фильтра.

В нашем случае оценка, произведенная по формуле /5/, дает значение $K = 3,6\%$, что соответствует уменьшению пульсаций выходного напряжения с 2,7 кв до 0,1 кв.

Экспериментально наблюдаемая амплитуда пульсаций напряжения примерно соответствует этой величине.

Б/ Стабилизация высокого напряжения и измерение напряжения.

Питание выпрямителя высоковольтного устройства осуществляется от феррорезонансных стабилизаторов напряжения, обеспечивающих стабильность напряжения $\pm 1\%$.

Для получения устойчивого пятна на мишени от ускоренного пучка ионов в пределах $\pm 0,5$ мм на расстоянии 2 м от выхода отклоняющего магнита при отклонении пучка примерно на 30° , стабильность напряжения на ускорительной трубке должна быть не хуже $\pm 0,1\%$ при колебаниях напряжения на высоковольтном трансформаторе $\pm 1\%$. Это достигается применением электронной схемы, подобной описанной J. T. Devan^{2/}, состоящей из последовательно включенной лампы ГКЭ-100 с двухкаскадным усилителем. Блок-схема устройства приведена на рис. 1. На рис. 4 дана принципиальная схема стабилизации напряжения.

Отличительной особенностью приведенной схемы от схемы J. T. Devan является то, что связь между первым и вторым каскадами усилителя осуществляется не неоновыми лампами, а с помощью пентода. Такая замена оказалась необходимой, так как не имелось высокостабильных неоновых ламп с разрядным током ~ 1 ма. В остальном она сходна со схемой J. T. Devan, поэтому описание ее работы мы здесь не приводим. Укажем лишь на практические результаты, полученные с этой схемой. Пучок протонов с энергией 150 Кэв направляется через коллиматор длиной 100 мм, с двумя диафрагмами на концах диаметром 2 мм, на коллектор тока. При изменении напряжения высоковольтного выпрямителя на 15 кв напряжение на ускорительной трубке не меняется сколь-нибудь заметно, и ток на коллиматоре остается постоянным в течение длительного времени. Произведенная оценка колебаний напряжения на ускорительной трубке показала, что они составляют менее $\pm 0,1\%$.

Для измерения высокого напряжения применяется цепочка из сопротивлений МЛТ-1 ватт общим сопротивлением 1180 мегом /рис.1/ с последовательно соединенным микроамперметром. Сопротивление цепочки было тщательно измерено с помощью потенциометра постоянного тока ППТВ-1. Была проверена стабильность сопротивлений цепочки в зависимости от температуры. При изменении температуры на $\pm 7^\circ\text{C}$ сопротивление меняется менее чем на 0,3%. Точность измерения напряжения таким методом составляет $\pm 1 - 1,5\%$.

На рис. 1 показан также другой вариант схемы измерения напряжения, обеспечивающий такую же точность при использовании потенциометра, собранного из угольных сопротивлений общим сопротивлением 1500 мегом с отношением плеч 1 : 1000 и микроамперметра с добавочным сопротивлением.

Источник ионов и фокусирующее устройство.

Для получения ионов применен радиочастотный ионный источник. Такие источники широко описаны в литературе и обладают рядом преимуществ по сравнению с источниками с холодным или накаливаемым катодами и продольным магнитным полем. Поскольку описываемая установка предназначалась для работы с редкими изотопами водорода и гелия, источник должен обеспечивать большой выход атомарных ионов при малом расходе газа. За основу был принят высокочастотный ионный источник малого электростатического генератора ИФП АН СССР^{3/}. Он состоит из газоразрядной колбы, капилляра, высокочастотного генератора, фокусирующего устройства и схемы питания.

Газоразрядная колба изготовлена из кварцевой трубки диаметром 50 мм. Для повышения интенсивности разряда в колбе используется поперечное магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом. Положение магнита подбирается при налаживании ионного источника и в процессе эксплуатации не меняется. В наших условиях описанный в работе^{3/} ионный источник подвергался некоторым конструктивным упрощениям.

Устройство с сильфоном, служащее для перемещения колбы по высоте, заменено цилиндрическим патрубком, вытаскиваемым совместно с фланцем, к которому крепится источник. Глубина погружения капилляра в колбу, отрегулированная один раз, остается неизменной при замене капилляра. Крепление основания колбы к фланцу выполнено на резиновом уплотнении с накидной гайкой. В процессе длительной работы такого источника не было замечено каких-либо существенных отличий его характеристик от характеристик, полученных с источником малого электростатического генератора ИФП АН СССР. Такой источник с колбами, изготовленными для нас ИФП АН СССР, испытывался нами ранее. Общий вид ионного источника вместе с в/ч генератором дан на рис. 5/.

Подвод газа в ионный источник осуществляется через палладиевый капилляр при работе на изотопах водорода или через игольчатый вентиль при работе на гелии /или смеси гелия с тритием/. Нагревание палладиевых трубок осуществляется пропусканием через них переменного тока от трансформатора тока типа ТКН-0,5. При использовании трубок диаметром 2,8 мм

к ним прикладывается напряжение 0,4 - 0,6 вольта, и через трубки течет ток от 30 до 45 ампер. Регулировка подачи газа в ионный источник обеспечивается изменением нагрева палладиевой трубки. Для этой цели в первичную цепь трансформатора тока включен вариак. Генератор высокой частоты собран на одной лампе Г 811, потребляемая мощность от источников питания - порядка 150 ватт. Питание генератора производится от выпрямителя, собранного по схеме удвоения напряжения на кенотронах 5Ц3С. На анод лампы Г-811 подается напряжение 1200-1300 в. Схема генератора и выпрямителя дана на рис.6. Генератор собран на панели из плексигласа и закреплен на металлическом фланце ионного источника. Катушка колебательного контура генератора непосредственно надета на газоразрядную колбу. Фокусирующее устройство применено такое же как на малом электрическом генераторе ИФП АН СССР и представляет собой одиночную ионно-оптическую линзу, состоящую из трех электродов. Крайние электроды имеют общий отрицательный потенциал до 8 кв. относительно капилляра. Средний электрод, как правило, имеет потенциал капилляра.

Питание ионного источника осуществляется от мотор-генератора. Для мотор-генератора применены два обычных асинхронных электродвигателя трехфазного тока промышленной частоты /50 гц/. Для возбуждения двигателя, работающего в режиме параметрического генератора, параллельно каждой из обмоток его статора подключена батарея конденсаторов емкостью 40 мкф. Приводом между двумя двигателями служит приводной ремень шириною 75 мм, сделанный из четырехслойной перкаль-резиновой ленты, применяемой на электростатическом генераторе. Эта лента обладает хорошими изоляционными свойствами, достаточной прочностью и работает без замены длительное время.

Управление работой ионного источника осуществляется дистанционно с пульта управления /рис.3/ с помощью сельсинов, установленных на низковольтном конце ускорительной трубки. Для передачи вращения от сельсинов к органам управления работой ионного источника применены стержни из плексигласа диаметром 20 мм и длиной 1000 мм. Контроль за работой ионного источника ведется по соответствующим приборам, установленным на высоковольтном конце ускорительной трубки.

Ионный источник предварительно был испытан на стенде с небольшой ускорительной трубкой на 30 кв. При расходе газа /дейтерия/ 5-6 н.см³/час удалось получить до 450 мка полного тока ионов. После установки ионного источника на ускоритель его работа проверялась на водороде, гелии и затем - на тритии. При работе на водороде были получены на выходе из магнитного анализатора пучки ионов H_1^+ , H_2^+ , H_3^+ до 350 мка с выходом протонов 70-80%. В сходных условиях при ускорении ионов He^4 было получено до 100 мка He^4 . В этих опытах диаметр отверстия капилляра ионного источника составлял 1,5 мм и расход газа достигал 5-6 н.см³/час. Для ускорения трития был взят газ с содержанием около 5% трития в водороде. Диаметр канала в капилляре был уменьшен до 1,1 мм. При этом удалось получить до 10 мка ионов с массой 3 при расходе газа менее 3 н.см³/час. Проведенный анализ состава третьего пучка по выходу реакции $D(t, n)He^4$ на пучках с массами 3 (T^+ , HHH^+), 4 (HT^+), 5 (HHT^+) при эквивалентных энергиях показал наличие в пучке с массой 3, кроме ионов T^+ , до 50% ионов HHH^+ . Более того, процентное соотношение пучков T^+ и HHH^+ подвержено резким колебаниям при изменении режима работы ионного источника. Это обстоятельство затрудняет правильное измерение тока ионов на мишень и делает третий пучок мало пригодным для физических экспериментов при использовании в ионном источнике газа с низкой концентрацией трития в водороде. Работа на пучках HT^+ и HHT^+ более выгодна, так как эти пучки содержат меньше примесей других ионов.

Наиболее часто применяемый режим работы ионного источника следующий: расход газа 3-4 н.см³/час, ионный ток на выходе из магнитного анализатора составляет 200-300 мка, в котором примерно 70-80% атомарных ионов, пучок ионов сфокусирован в пятно с диаметром 3-4 мм. Фокусирующее напряжение при напряжении на ускорительной трубке до 150 кв равно нулю, при 180 кв оно составляет 1,0 - 1,5 кв и доходит до 3,0 - 3,5 кв при 270 кв на ускорительной трубке. При понижении ускоряющего напряжения до 60 кв ионный ток на выходе уменьшается примерно в два раза.

При эксплуатации установки колба ионного источника в результате распыления металла капилляра и нагара масла, пары которого неизбежно присутствуют в установке, покрывается темным налетом, что приводит к ухудшению процентного состава ионов в пучке и уменьшению общего тока ионов. Периодиче-

ски, примерно через несколько сотен часов работы, приходится снимать и промывать колбу слабым раствором плавиковой кислоты и дистиллированной водой.

Ускорительная трубка

В установке применена трубка с равномерным делением потенциала. Трубка расположена горизонтально и соединена с вакуумной системой с помощью металлического фланца с резиновым уплотнением. Трубка склеена из фарфоровых и алюминиевых колец клеєм БФ-4 и имеет длину 1 м. Размеры фарфоровых колец - 175x225 мм, толщина - 7,8 мм. Размеры алюминиевых колец - 155x245 мм, толщина - 1 мм. Делитель напряжения на трубке собран из сопротивлений типа КДВ по 47,5 мегом. К каждой секции трубки подключено по два сопротивления, соединенных параллельно. Эксплуатация трубки в течение четырех лет показала хорошие ее качества. Трубка обладает большой механической прочностью, имеет малое натекание и хорошо выдерживает приложенное высокое напряжение. Общий вид ускорительной трубки с делителем напряжения показан на рис.7.

Магнитный анализатор ионных пучков

Пучок ^{ион} ускоренных ионов, имеющих одинаковую энергию, из ускорительной трубки проходит через магнитный анализатор, разделяющий пучок по массам ионов /точнее по отношению $\frac{m}{e}$ /. Вакуумная камера магнитного анализатора /рис. 8/ имеет три канала для отклоненных пучков и четвертый канал - для неотклоненного пучка. Первый и третий каналы расположены под углом 32° от оси пучка, второй - под углом 25° . Магнитный анализатор позволяет отклонять на все три канала ионы с энергией до 300 Кэв и отношением $\frac{m}{e}$ до 9.

Расстояние между полюсами электромагнита равно 20 мм, напряженность поля в указанном зазоре доходит до 7500 эрстед. Питание катушек электромагнита осуществляется от выпрямителя с электронной стабилизацией. Для стабилизации напряжения выпрямителя применены лампы 6Н5 /10 шт. включенных параллельно/. Схема позволяет просто и быстро регулировать ток в катушках электромагнита от 0,1 до 2,0 ампер. Питание катушек электромагнита от источника стабилизированного напряжения на практике оказалось достаточным.

Стабильность тока при этом в течение длительного времени оказывается лучше, чем $\pm 0,1\%$, что позволяет удерживать пучок на мишени в пределах 1 мм на расстоянии 2 м от центра камеры магнитного анализатора.

Присоединение камеры магнитного анализатора к выходу ускорительной трубки выполнено через сильфон. Конструкция магнитного анализатора обеспечивает перемещение камеры в горизонтальном и вертикальном направлении, что необходимо для юстировки анализатора по пучку ионов.

Вакуумная система

Общая схема вакуумной системы показана на рис. 8. Откачка может осуществляться как масляным диффузионным насосом ММ-1000 /с вспомогательным насосом ММ-40/, так и ртутным насосом Н1Т-Р /с вспомогательным насосом ДРН-50/.

Масляный диффузионный насос применялся на первом этапе работы при налаживании ускорителя. Для уменьшения загрязнения ускорителя маслом насос ММ-1000 снабжен отражателем /дефлектором/ с водяным охлаждением и ловушкой с жидким азотом объемом около 6 литров. В дальнейшем вся работа проводилась на ртутных диффузионных насосах. Все соединения в вакуумной системе сделаны на резиновых уплотнениях по типу "зуб-паз".

Для разделения отдельных частей установки применены вакуумные вентили с уплотнениями типа Вильсона с проходными отверстиями в 150, 40, 20 мм. Откачка на форвакуум осуществляется насосами ВН-2 и РВН-20. Система из двух форвакуумных насосов, разветвленной системы металлических трубопроводов /диаметром от 20 до 35 мм/ и ряда вентилях позволяет быстро откачать любую часть установки.

Полный объем вакуумной системы /ускорительная трубка, камера магнитного анализатора, коммуникации/ составляет около 150 литров. Натекание воздуха из атмосферы и выделение газа из различных частей вакуумной системы составляет $0,3 - 0,5 \text{ н.см}^3/\text{час}$ на весь объем установки.

При ускорении ионов натекание возрастает до $1,2 - 1,5 \text{ н.см}^3/\text{час}$ за счет большего газовыделения из различных частей установки при попадании

на них пучка ионов.

В рабочем режиме при пучке ионов несколько сотен микроампер давление в переходнике 4 /рис. 8/ составляет примерно $5 \cdot 10^{-6}$ мм ртутного столба. Для лучшей откачки измерительных камер /с мишенями/, установленных на каналах магнитного анализатора, проложена дополнительная высоковакуумная линия от переходника 4 к камерам мишеней. Это позволило получить вакуум в камере мишени $3 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. при пучке ионов на мишени около 100 мка и энергии ускоренных ионов 150 Кэв.

Система регенерации газа

Система регенерации газа /рис. 9,10/ состоит из системы впуска газа в ионный источник, находящийся в высоковольтном кожухе установки, и системы улавливания, расположенной на выходе диффузионных ртутных насосов.

Все наладочные работы, связанные с регулировкой ионного источника, фокусировкой и выводом пучка на мишень, проводятся на обычном водороде или гелии - 4. Система улавливания газа в этом случае отключается, и выхлоп из форвакуумного насоса осуществляется через трубопровод в атмосферу, за пределы помещения, где установлен ускоритель. При ускорении трития газы, откачиваемые диффузионными ртутными насосами, собираются системой улавливания. Это необходимо не только для сохранения трития и повторного его использования в ионном источнике, но также для обеспечения безопасности при работе с тритием.

Тритий в системе впуска газа хранится в специальном металлическом баллоне либо просто в виде смеси водорода и трития, либо в виде такой смеси, поглощенной ураном / U^{235} , U^{238} /. Процесс приготовления гидрида и тритида урана осуществлялся подобно тому, как это описано в литературе 4/.

Для выделения газа, поглощенного ураном, баллон нагревается специальным электрическим нагревателем до температуры $250-450^{\circ}C$, и газ перепускается в баллон с палладиевым вентилем. Этот баллон имеет стрелочный вакуумметр типа В-100, служащий для контроля за расходом газа ионным источником. В случае длительного перерыва в работе установки газ из баллона с палладиевым вентилем перепускается в баллон с ураном. Это обеспечивает

хранение трития в одном баллоне и гарантирует от возможных утечек трития в помещение. Смесь газов из установки откачивается диффузионными ртутными насосами типа Н1Т-Р и ДРН-50. Насос типа Н1Т-Р обеспечивает скорость откачки 1000 л/сек при вакууме 10^{-6} мм рт.столба. Насос типа ДРН-50 дает возможность работать при противодавлении на выхлопе до 13 мм рт.столба. Для исключения возможности прорыва паров ртути в вакуумную систему ускорителя, насос Н1Т-Р снабжен отражателем с водяным охлаждением и ловушкой, охлаждаемой жидким азотом. Перед входом в систему улавливания также имеется ловушка с жидким азотом.

Смесь газов из диффузионных ртутных насосов поступает в одну из двух ловушек /УЛ-1, УЛ-2/, наполненных активированным углем /примерно по 12 грам. в каждом баллоне/ и охлаждаемых жидким азотом. Каждая ловушка способна поглотить при температуре жидкого азота и давлении 8 мм рт. столба около 200 н.см³ изотопов водорода и одновременно с этим примерно такое же количество смеси азота, углекислого газа и кислорода. Объем угольной ловушки со стрелочным вакуумметром составляет около 120см³. Так как давление в ней, как правило, не должно превышать 600-700 мм.рт.ст., то ловушка должна поглощать не более 105 н.см³ смеси всех газов. В наших условиях при обычном расходе газа ионным источником и имеющемся натекании в вакуумной системе одна ловушка обеспечивает непрерывную работу установки в течение 21 часа. Это время может быть увеличено до 32 часов, если к угольной ловушке подключить дополнительный объем /60 см³/ баллона палладиевого капилляра. После заполнения одной из ловушек газом работа ведется на вторую угольную ловушку. Из смеси газов, поглощенных в первую ловушку, с помощью палладиевого вентиля извлекаются изотопы водорода. Изотопы водорода, прошедшие через палладиевый вентиль, собираются в баллон на выходе из системы улавливания. Газ может быть поглощен в уран или собран в баллон без урана. В последнем случае сбор газа в баллон осуществляется с помощью цилиндра с поршнем. Конструкция цилиндра с поршнем дает возможность возвращать газ, прошедший между стенками цилиндра и поршнем, снова в пространство под поршнем.

Оставшиеся в ловушке газы, не прошедшие через палладиевый вентиль, собираются в специальный баллон и подвергаются анализу на наличие в них трития.

Данная система улавливания газа способна улавливать и очищать гелий. В этом случае гелий собирается в объем цилиндра с поршнем, а все другие газы поглощаются ловушкой с активированным углем, охлаждаемой жидким азотом.

Система улавливания проверялась на обычном водороде и гелии - 4. Испытания показали, что из общего количества водорода или гелия - 4, пропущенного через ионный источник и ускоритель, в баллон на выходе из системы улавливания собирается около 98% газа.

Испытания системы улавливания на смеси водорода /95%/ и трития /5%/, показали, что количество такой смеси, собранное системой улавливания, сохраняется; однако, процентное содержание трития в такой смеси падает примерно в два раза за один цикл прохождения газа через установку. Была проведена оценка потерь трития в отдельных частях установки. При этом оказалось, что примерно 12% трития теряется в системе улавливания, около 2% - в ртутных насосах и до 36% трития теряется в ионном источнике, ускорительной трубке и вакуумных коммуникациях.

З а щ и т а

Для обеспечения безопасных условий работы на установке создана защита от высокого напряжения, рентгеновского и нейтронного излучений, а также от поражения обслуживающего персонала тритием из-за возможной утечки его в помещение.

Защита от поражения высоким напряжением обеспечивается размещением высоковольтного устройства за сетчатым ограждением, тщательным заземлением всех металлических частей установки, могущих оказаться под высоким напряжением, установкой соответствующих блокирующих устройств и заземляющих приспособлений, автоматически срабатывающих при открывании входной двери в помещение высоковольтной установки.

Для защиты обслуживающего персонала от рентгеновского и нейтронного излучений ускоритель со всех сторон окружен баками с песком и бетонными блоками. Между камерами мишеней и пультом управления ускорителя защита составляет 70 см бетона, что соответствует ослаблению потока нейтронов с

энергией в 14 Мэв в 120 раз и практически полному поглощению рентгеновского излучения.

Для защиты от поражения тритием вся установка размещена в металлической кабине, снабженной мощной вентиляцией. Осуществлен также постоянный контроль за возможной утечкой трития в помещение с помощью десятилитровых сетчатых камер, соединенных с приборами типа "Кактус". Наиболее опасные операции с тритием на ускорителе выполняются обслуживающим персоналом, одетым в шланговые противогазы с принудительной подачей воздуха с улицы.

В заключение авторы выражают свою благодарность ст.инженерам Павлову П.Т. и Биктимирову С.Х. за конструирование узлов установки, научному сотруднику Кучеру А.М. за проделанную работу по испытанию системы улавливания газа, технику Смирнову Е.С. за большую работу, связанную со сборкой, налаживанием и эксплуатацией всей установки, а также сотрудникам сектора за полезные советы и помощь в работе.

Рукопись поступила в издательский отдел 9 июня 1959 года.

Л и т е р а т у р а

1. Von Bouwers und Kuntke, Zs.f.techn. Phys. 18, 209 (1937).
2. J.T.Devan, Rev.Scient. Instr. 21, 771 (1950).
3. В.М.Морозов, отчет "Высокочастотный ионный источник малого электростатического генератора ИФП АН СССР".
4. F.H.Speeding, A.S.Newton, I.C.Warf, O.Johnson, R.W.Nottorf, I.B.Johns and A.H.Daane, Nucleonics 1,4 (1949).

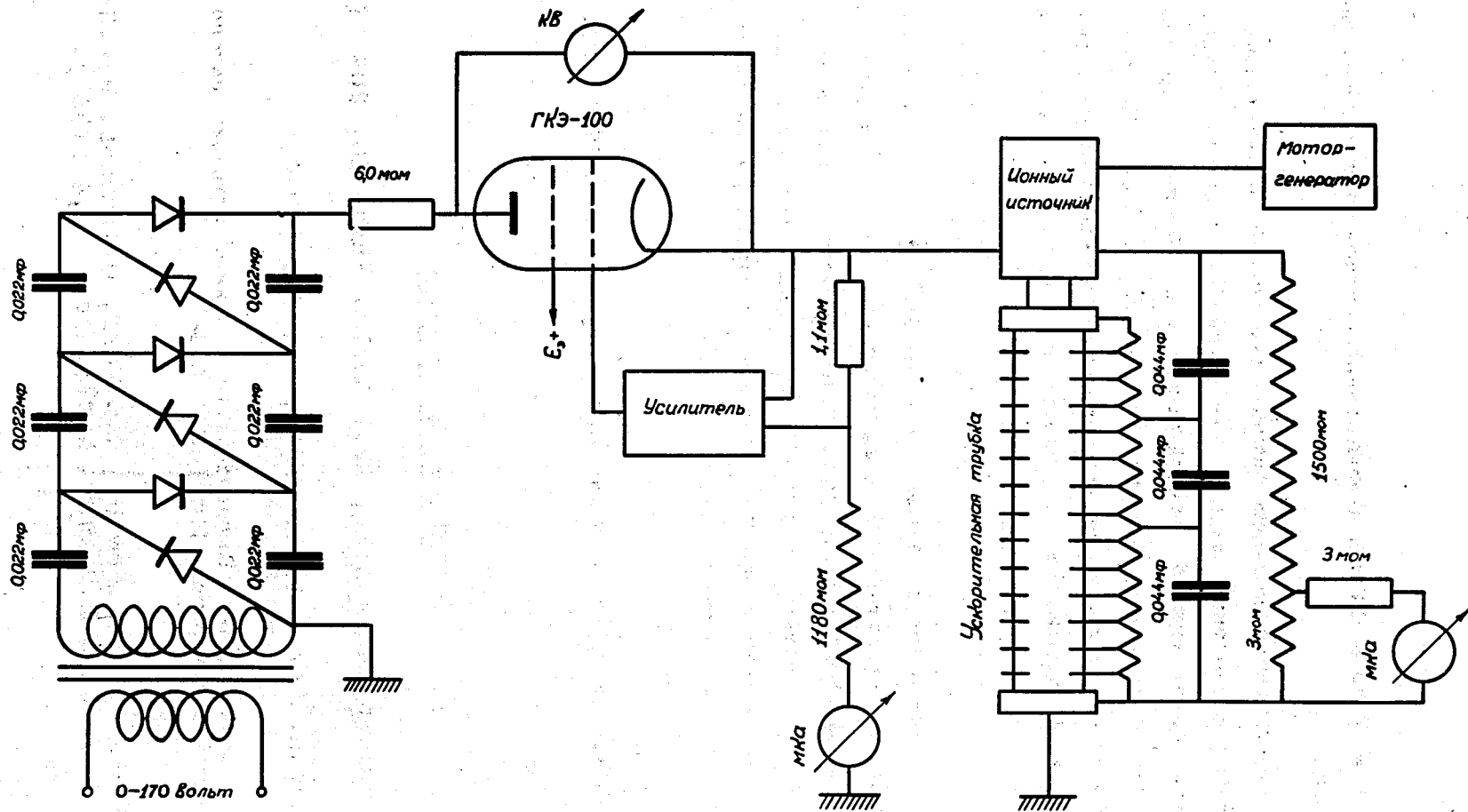


Рис. 1 Схема Высоковольтного устройства.

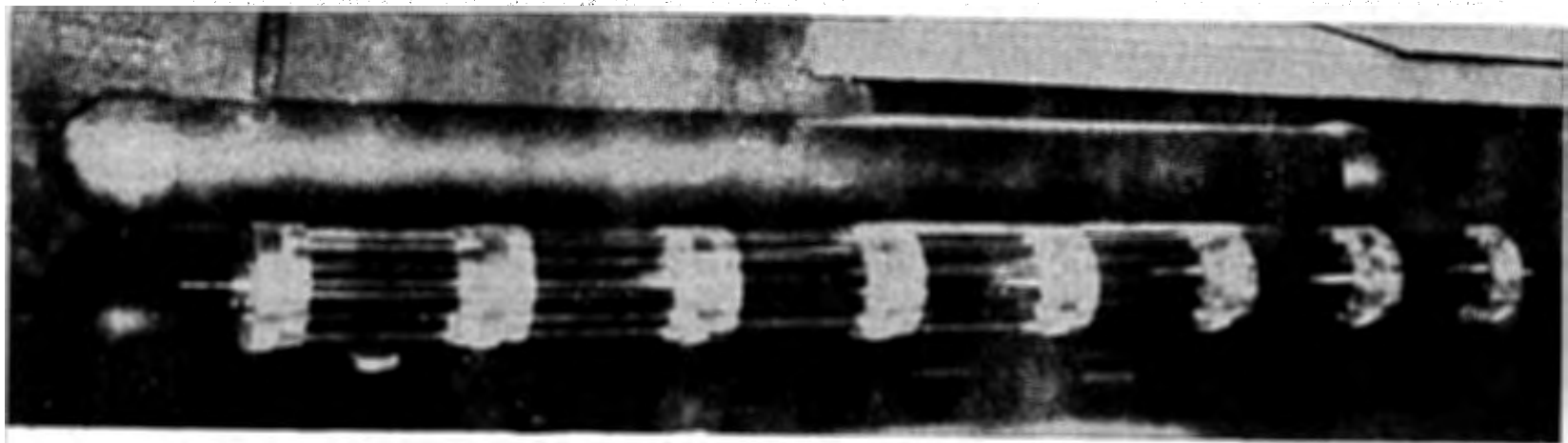


Рис. 2.

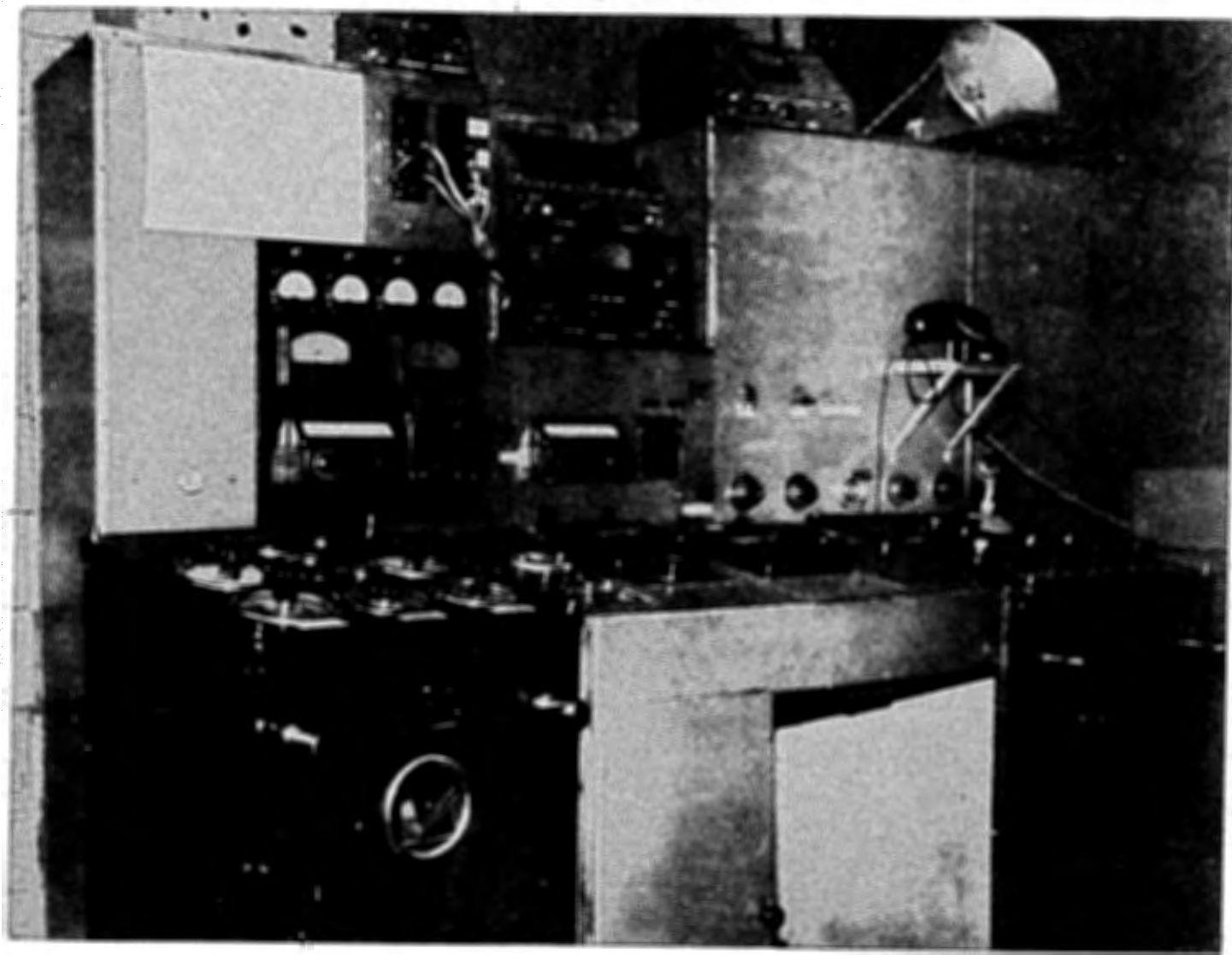


Рис. 3.

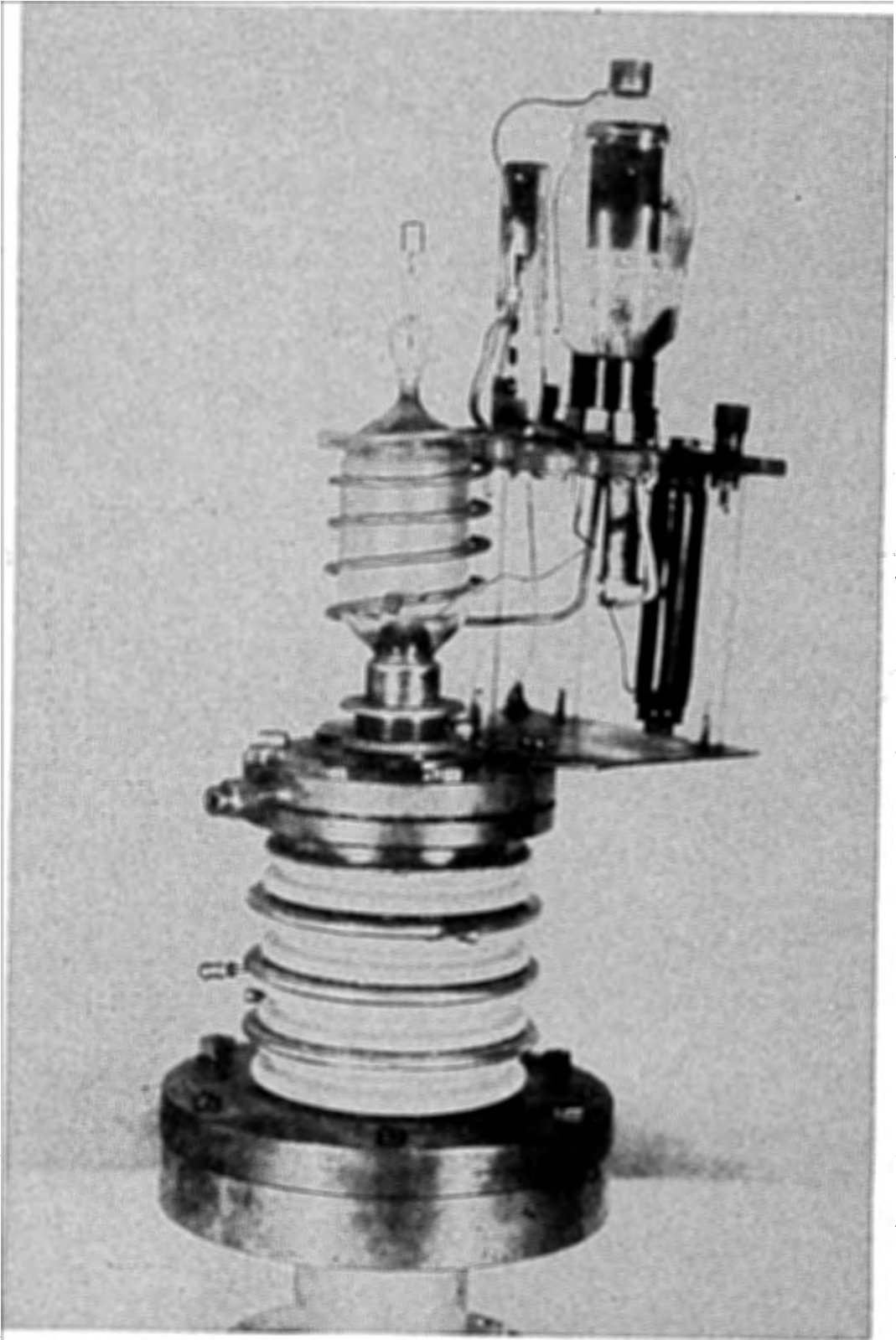


Рис. 5

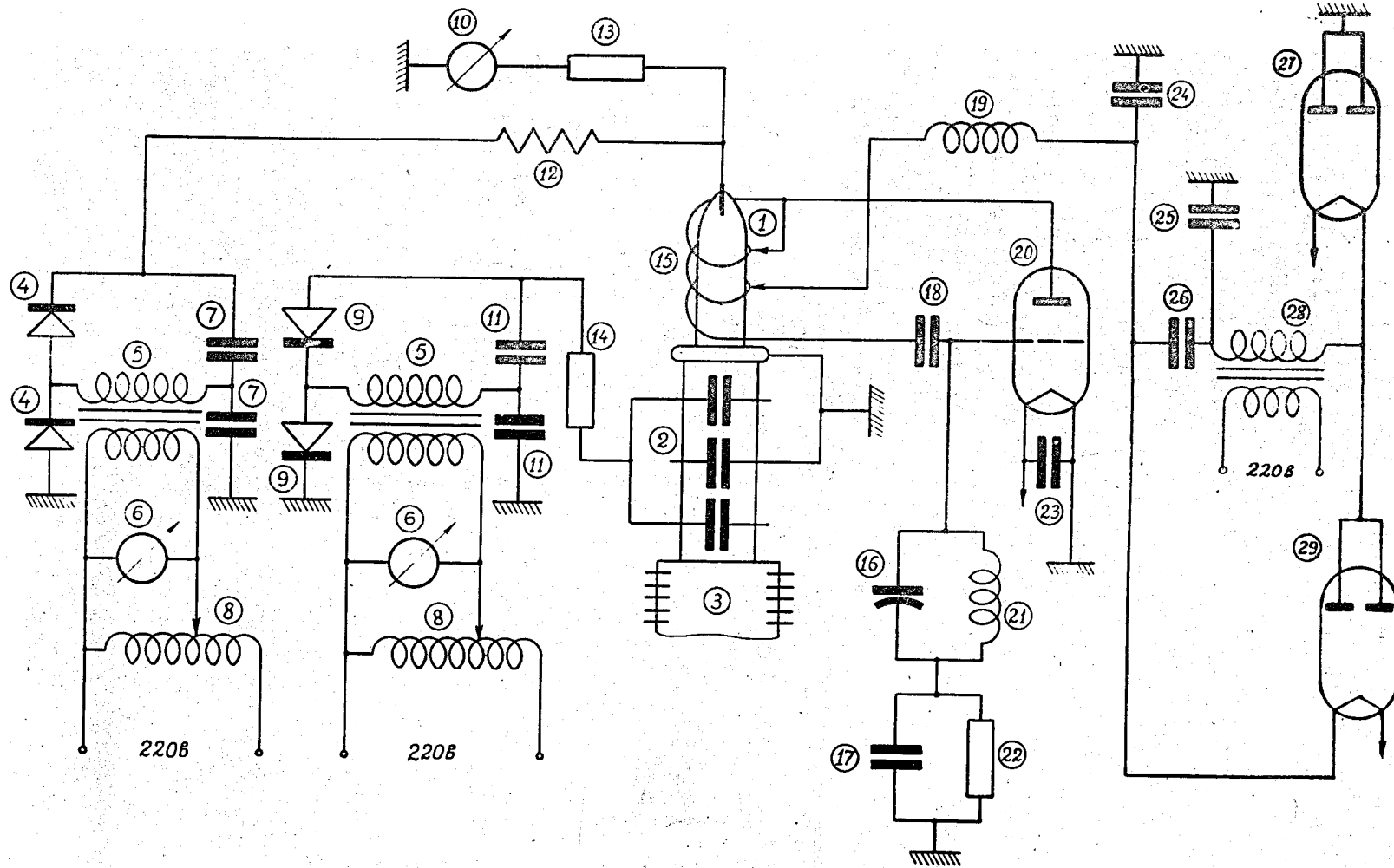


Рис. 6 Схема питания ионного источника.

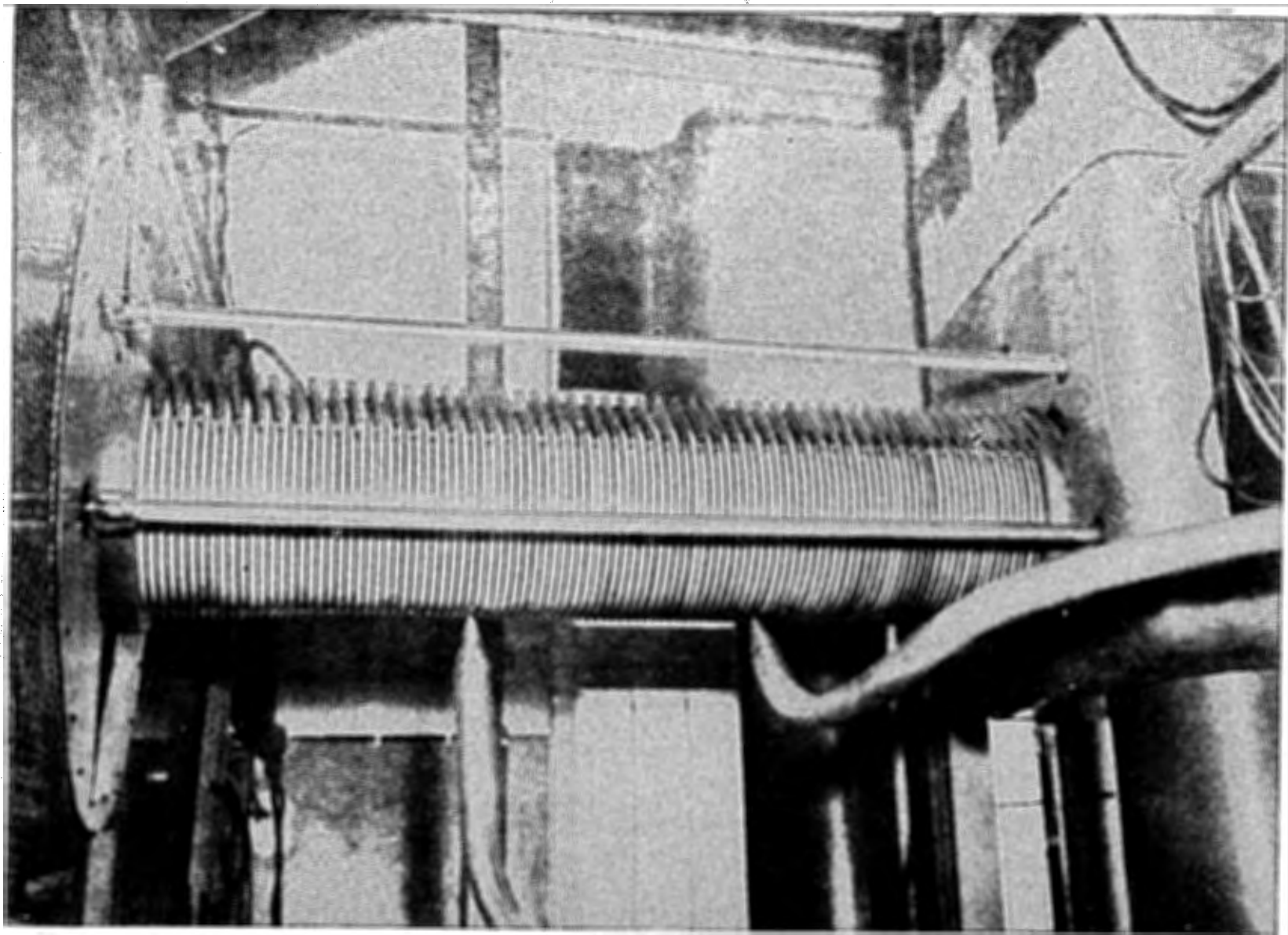
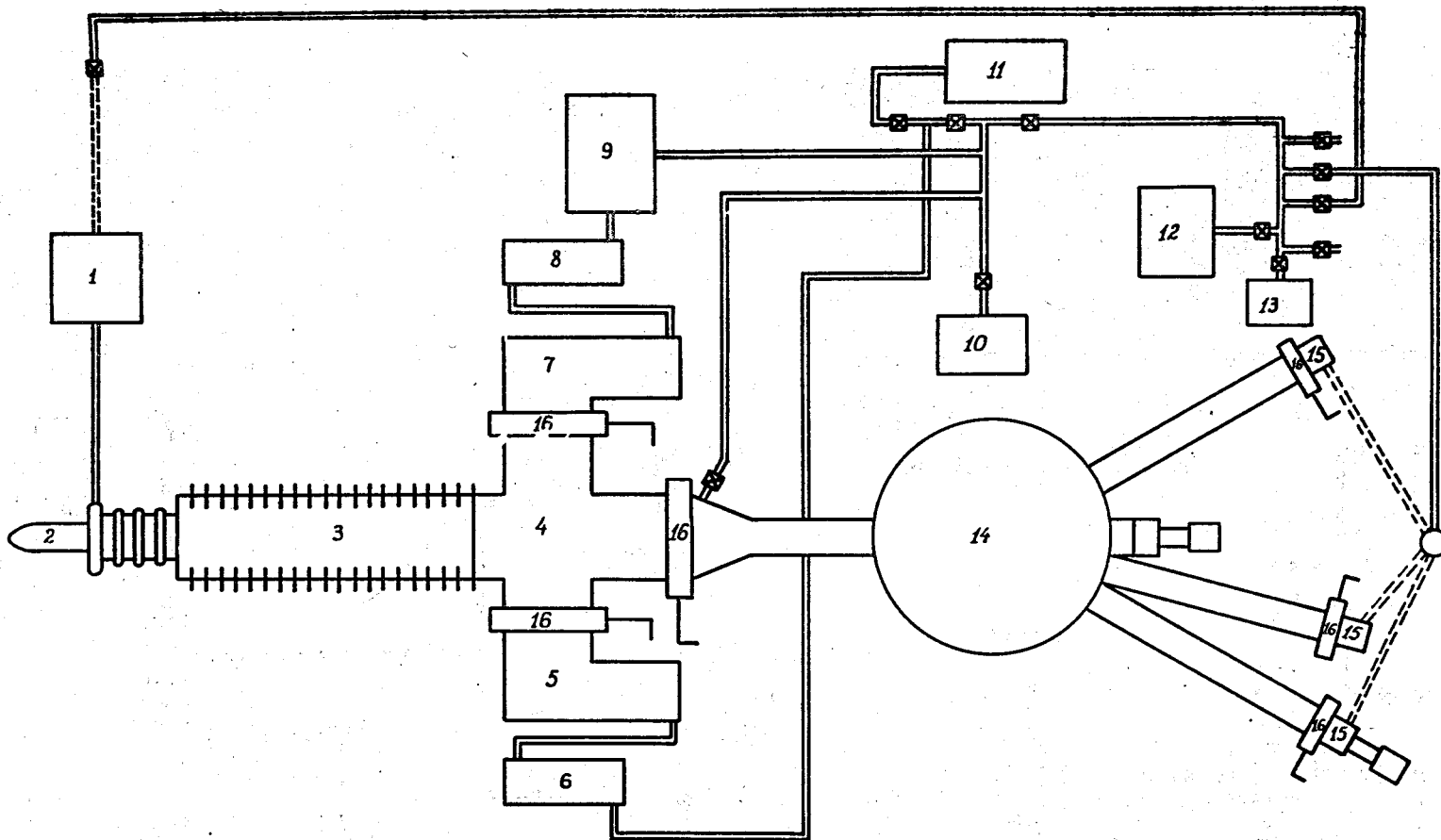


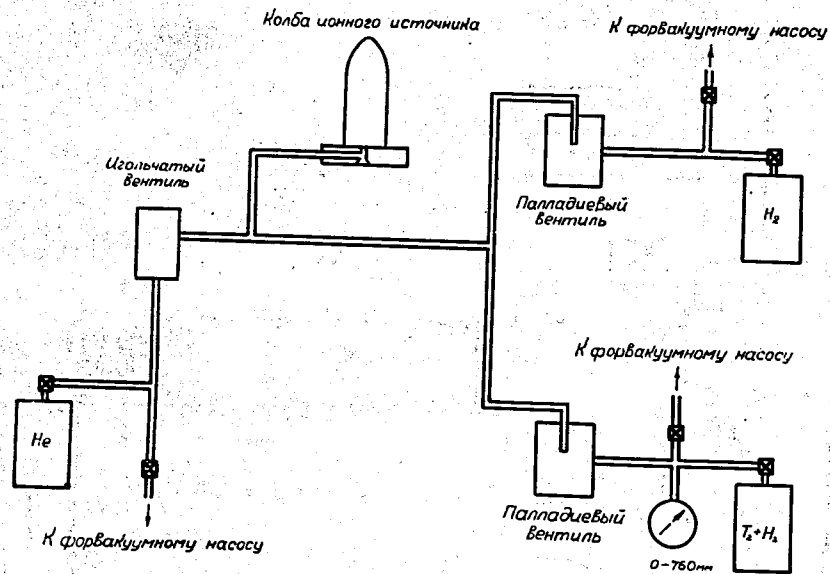
Рис. 7.



1-система впуска газа; 2-ионный источник; 3-ускоряющая трубка; 4-четверник;
 5-насос ММ-1000; 6-насос ММ-40; 7-насос Н1Т-Р; 8-насос ДРН-50; 9-система улавливания;
 10-насос ВН-2; 11-форбаллон; 12-течеискатель ПТИ-4А; насос РВН-20 -13; 14-камера
 магнитного анализатора; 15-камера мишени; 16-шибер;

Рис. 8
 Вакуумная система установки.

Система Впуска



Система улавливания

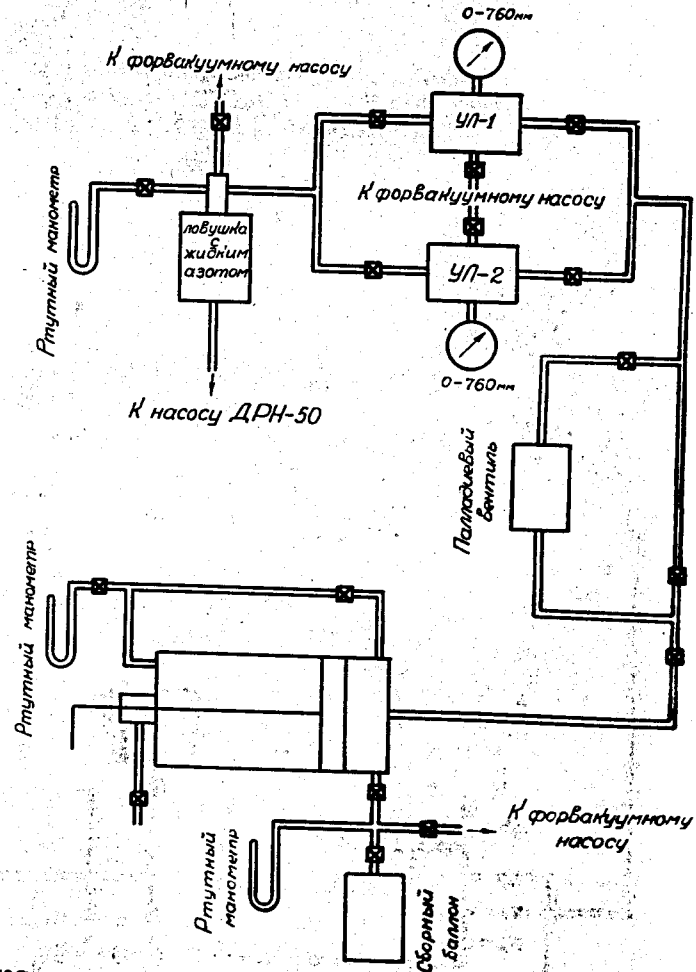


Рис. 9 Система регенерации газа.

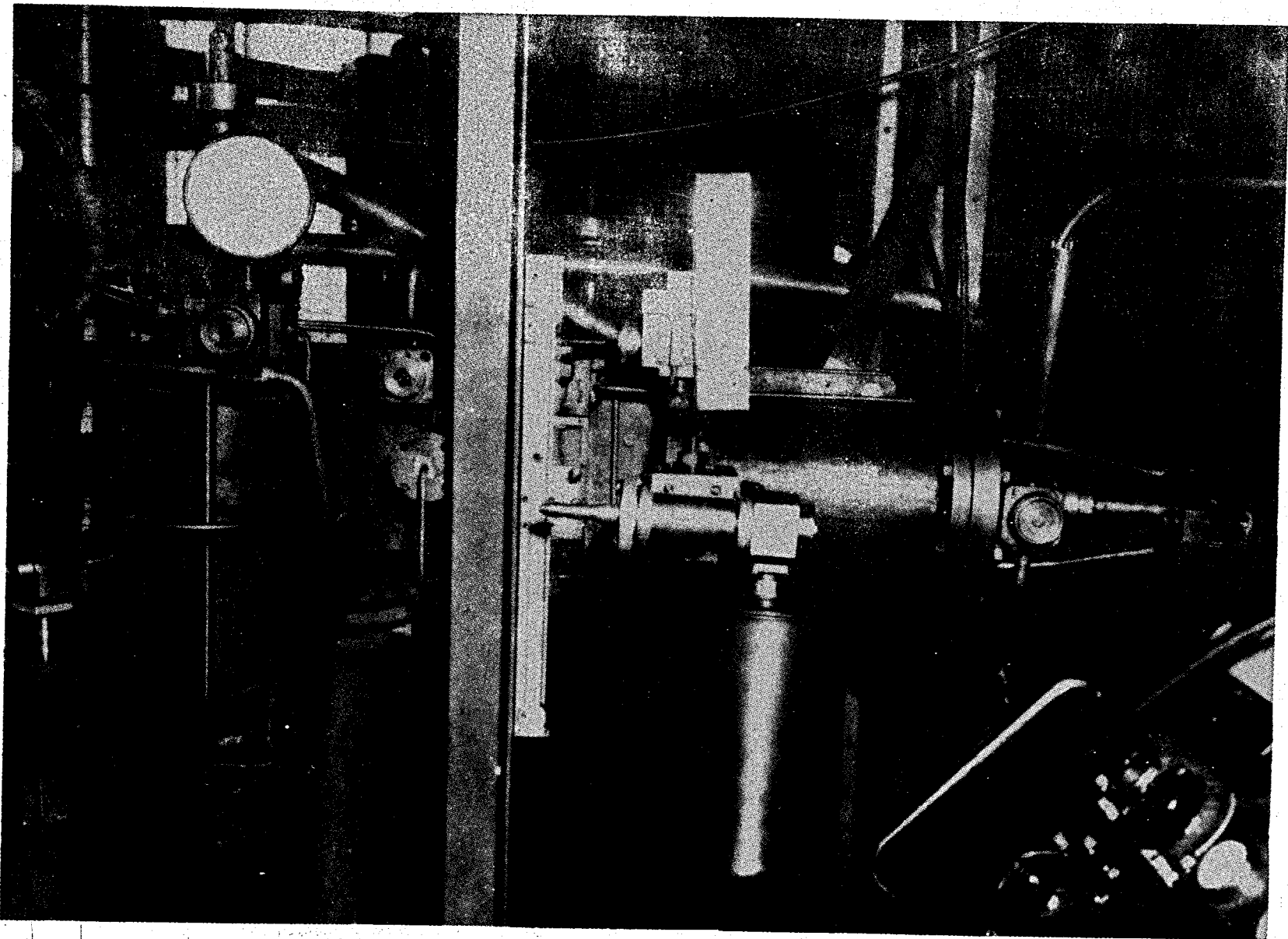


Рис. 10.