

Поступая точно таким же образом, как и в работе [2], можно получить эмпирические выражения для величины потерь на излучение из 1 мм столба дуги (W_2) (в предположении, что электропроводность плазмы $\sim T^{3/2}$)

$$W_{rHe} \sim p T^{2.25}, \quad (4)$$

$$W_{rH_2} \sim p^{0.9} T^{2.5}. \quad (5)$$

Для сравнения приведем здесь также выражение для Ag (по данным работы [2])

$$W_{rAg} \sim p^{0.75} T^3. \quad (6)$$

Таким образом, результаты исследования импульсных дуг высокого давления в гелии и водороде показывают, что параметры плазмы этих дуг не сильно отличаются от параметров плазмы импульсной дуги в аргоне [2]. Во всех трех газах при максимальных уровнях вводимой мощности на оси разряда образуется достаточно плотная полностью ионизованная плазма с $n_i \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и температурой, лежащей в пределах $2.5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4 \text{ К}$. Плазма импульсных дуг не является прозрачной для излучения, идущего из приосевых зон дуги; в механизме теплопередачи большую роль играют процессы диффузии излучения. Температура поверхности импульсных дуг во всех газах примерно одинакова и при максимальных уровнях мощности равна $1.1 \div 1.2 \cdot 10^4 \text{ К}$.

Литература

- [1] Р. В. Митин, Ю. Р. Князев, В. И. Петренко, Е. С. Боровик. ЖТФ, XXXV, вып. 7, 1210, 1965. — [2] Р. В. Митин, Ю. Р. Князев, В. И. Петренко, Е. С. Боровик. ЖТФ, XXXV, вып. 7, 1218, 1965. — [3] Е. С. Боровик, Р. В. Митин, Ю. Р. Князев. ЖТФ, XXXI, вып. 11, 1329, 1961. — [4] Ю. Р. Князев, Р. М. Митин, В. И. Петренко, Е. С. Боровик. ЖТФ, XXXIV, вып. 7, 1224, 1964. — [5] Фишер. Получение и исследование высокотемпературной плазмы, стр. 132, ИЛ, 1962.

Поступило в Редакцию
7 января 1966 г.

ВЫДЕЛЕНИЕ ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ ИЗОЛЯТОРОВ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

А. А. Авдиенко и А. В. Киселев

Описана установка, позволяющая измерять газоотделение $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ дтор/сек. при давлении $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ тор под напряжением $0 \div 150$ кв модуляционным методом. Сообщаются результаты исследования газоотделения различных материалов. Приведены некоторые данные о поверхностном пробое изоляторов в вакууме.

Введение

Изоляторы, помещенные в высокий вакуум, имеют довольно заметное газоотделение [1, 2], которое растет в присутствии сильного электрического поля [3]. Это явление может ограничить предельно достижимый вакуум в экспериментальных установках, имеющих высоковольтные вводы.

Для получения достаточно точной информации о процессе газоотделения было исследовано большое число образцов.

Рабочее давление в испытательной камере было $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ тор, что дало возможность легко сравнивать результаты наших измерений с данными ранее сделанных работ.

Методика измерений

Общая схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Измерения производились в вакуумном объеме, откачиваемом насосом Н2Т. Пары масла вымораживались ловушкой с холодным барьером, охлаждаемой жидким азотом.

Предельный вакуум составляет $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ тор, рабочее давление для большинства измерений $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ тор. Испытуемые образцы изоляторов из органических материалов промывались CCl_4 и спиртом, а керамические — водой с мылом, затем также спиртом.

Конструкция высоковольтного ввода представлена на рис. 2.

Некоторые керамические образцы предварительно прогревались до 400°С с помощью электронагревателя.

В качестве источника высокого напряжения использовался выпрямитель с выходным напряжением $0 \div 150$ кв. Напряжение к образцам подводилось через ограничительное сопротивление $R = 50$ Мом. Параллельно разрядному промежутку может подключаться высоковольтный конденсатор C емкостью 800 пф для увеличения времени восстановления напряжения на разрядном промежутке при искровой тренировке изоляторов.

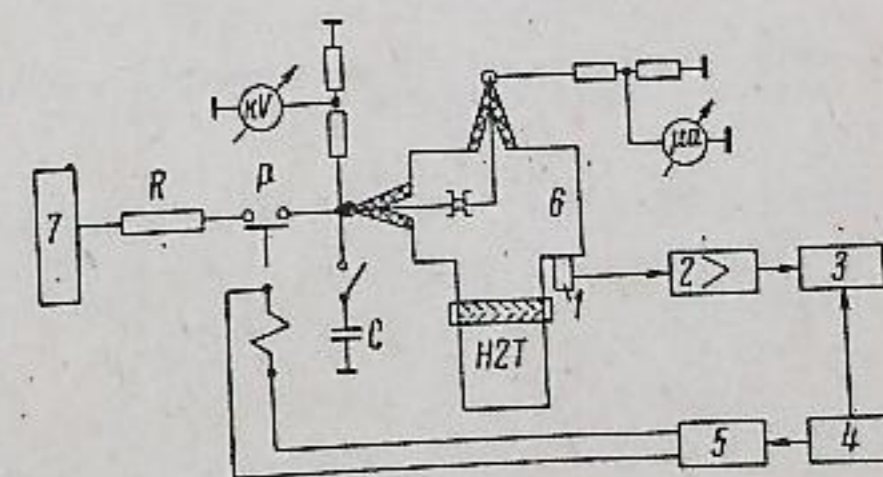


Рис. 1. Общая схема установки.

1 — ионизационный манометр ЛМ-2; 2 — усилитель; 3 — синхронный детектор; 4 — генератор опорного напряжения; 5 — генератор запуска высоковольтного реле P; 6 — вакуумный объем; 7 — выпрямитель $0 \div 150$ кв.

Чтобы обнаружить газоотделение $\sim 1 \cdot 10^{-8} \frac{\lambda \cdot \text{тор}}{\text{сек.}}$, в нашем случае необходимо измерять изменение давления $\sim 1 \cdot 10^{-10}$ тор при среднем вакууме $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ тор. Этого нельзя достигнуть простым повышением коэффициента усиления электрометрической схемы ионизационного манометра из-за большого уровня помех.

Основными источниками флуктуаций являются колебания давления в системе $\sim 1\%$ [4, 5] и собственные шумы ионизационного датчика. При использовании лампы ЛМ-2 колебания тока коллектора $I_k \sim 1 \cdot 10^{-8}$ а, что превышает сигнал в $\sim 10^3$ раз.

Для выделения малого сигнала на фоне больших шумов используется модуляционный метод с применением синхронного детектора [6] и накоплением информации. Высокое напряжение на разрядном промежутке модулируется с помощью специального электромеханического реле рис. 3 с соленоидальным приводом. Коммутирующая способность его до 150 кв (при малых токах). Изменение напряжения на образце ведет к соответствующему изменению газоотделения и, следовательно, давления в вакуумном объеме. Сигнал с манометрической лампы усиливается и подается на вход синхронного детектора с большой интегрирующей емкостью на выходе. Для нашей системы предельно разрешимый сигнал при времени измерения ~ 200 сек. составляет $\sim 1 \cdot 10^{-11}$ а ($\sim 1 \cdot 10^{-10}$ тор). Дальнейшее увеличение времени измерения t нерационально, так как чувствительность растет как $t^{-1/2}$ [7].

Измеряемая величина газоотделения в зависимости от параметров установки представляется в виде

$$\Delta Q_r = \frac{S}{1 - \exp\left(-\frac{S}{2V} T_m\right)} \Delta p,$$

T_m — период модуляции; S и V — скорость откачки и объем вакуумной камеры.

Измерения проводились в режиме $T_m = 4$ сек.; $\frac{S}{V} = 0.45$ сек.

При использовании такого метода различные помехи, не синхронные с частотой модуляции, будут слабо влиять на результаты измерений благодаря узкой полосе пропускания измерительной схемы. Однако может возникнуть погрешность при попадании ионов и электронов из разряд-

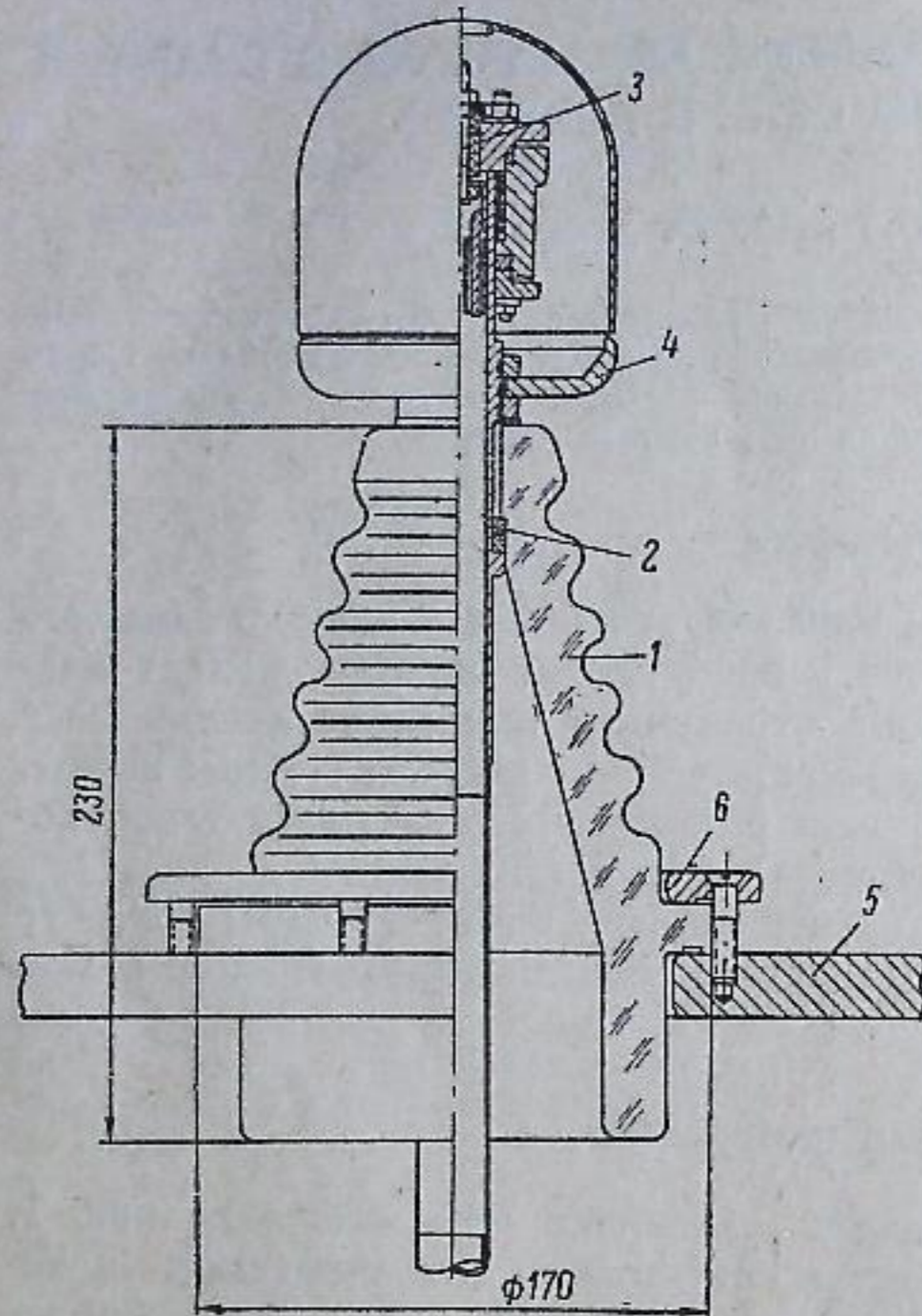


Рис. 2. Вакуумный ввод на 150 кв.

1 — изолятор; 2 — ввод; 3 — вводы нагревателя и термодатчика; 4 — экран; 5 — корпус камеры; 6 — фланец.

ного промежутка в ионизационный манометр. Оценка, сделанная с учетом вторичной электронной и ионной эмиссии и геометрии опыта, дала величину

$$\Delta I_k < 1 \cdot 10^{-14} \text{ а,}$$

что меньше сигнала в $\sim 10^4$ раз.

Опыт показал, что наводка на измерительную схему, возникающая при коммутациях в высоковольтной цепи, не искажала результатов измерений больше чем на 1%.

Для определения ошибки за счет газоотделения электродов и изоляторов вводов были проделаны измерения газоотделения без образцов. Эта величина не превышала

$\sim 2 \cdot 10^{-8} \frac{\lambda \cdot \text{тор}}{\text{сек.}}$ даже при напряжениях более высоких, чем пробойные напряжения образцов.

Результаты измерений

Исследовались образцы из полиметилметакрилата, винипласта, фторопласта-4 и керамики. Цилиндрические образцы зажимались между электродами формы Роговского (диаметром 70 мм), изготовленными из алюминиевого сплава Д161 или нержавеющей стали Х18Н9Т, таким образом, что электрическое поле параллельно поверхности образца. Все образцы из органических материалов полировались.

Для прогреваемых вакуумных установок в качестве изоляторов высоковольтных вводов удобно использовать элементы металлокерамической лампы ГИ-14Б. Изучению подверглись анодный корпус и гофрированная трубка этой лампы.

Были проведены измерения величины газоотделения в зависимости от напряжения для ~ 50 образцов. Результаты представлены на рис. 4. Зависимости сняты для образцов, подвергнутых искровой обработке в течении 20—30 мин. Элементы лампы ГИ-14Б перед тренировкой прогревались в вакууме до высокой температуры, а затем охлаждались до 20°С. В результате таких мер величина газоотделения существенно уменьшалась.

Отдельно проведенные измерения показали, что для анодной лампы ГИ-14Б газоотделение уменьшается экспоненциально при выдержке под напряжением с постоянной времени ~ 30 мин. Для органических изоляторов эта зависимость имеет более сложный характер и измерения имеют большой разброс. В среднем примерно за 30 мин. газоотделение падает в 10 раз.

Из опытов стало ясно, что газоотделение не зависит от давления в камере в пределах $1 \cdot 10^{-7}$ тор $\div 1 \cdot 10^{-5}$ тор с точностью до чувствительности метода. Не было замечено также влияния материала электродов на величину газоотделения.

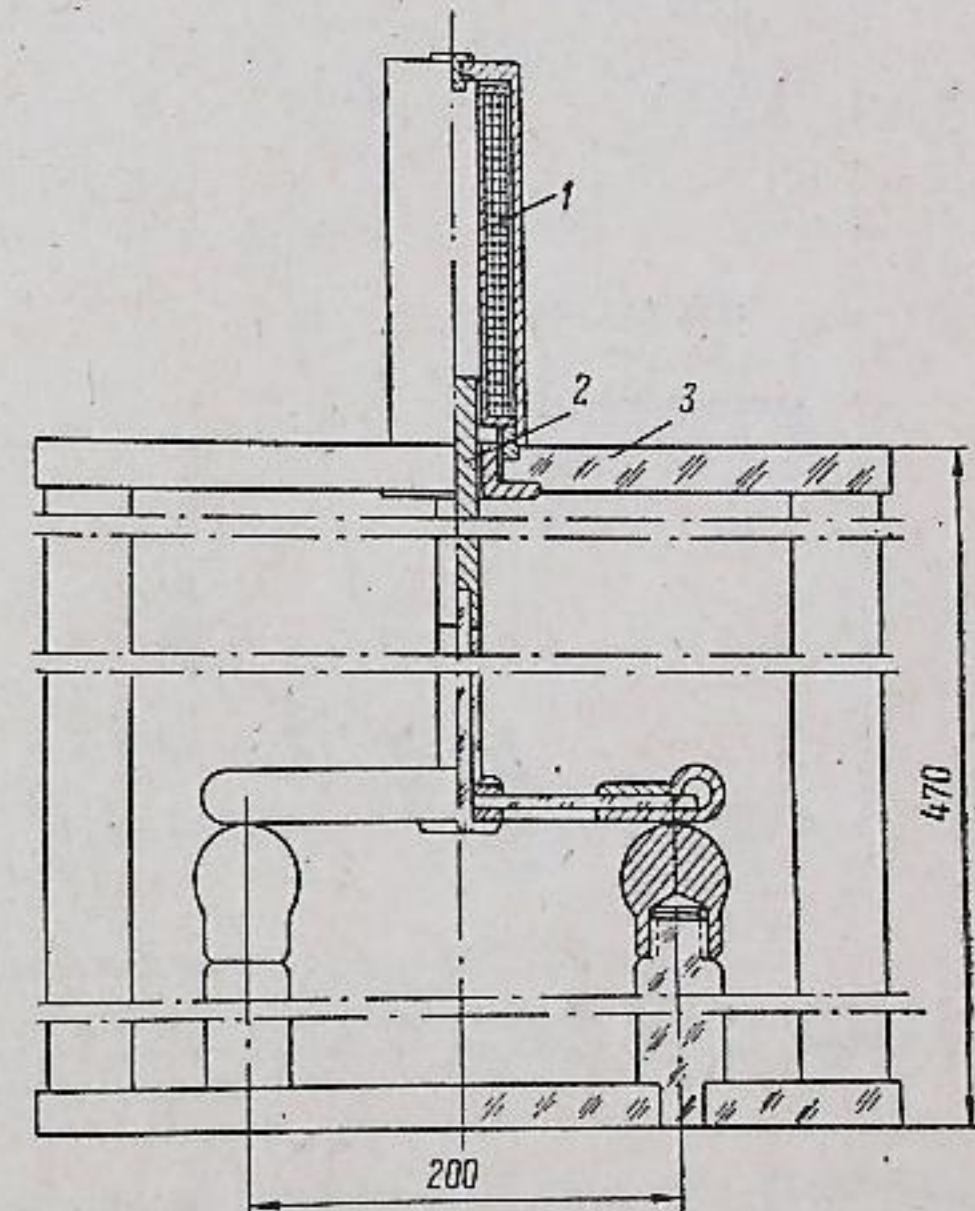


Рис. 3. Высоковольтное реле.

1 — соленоид; 2 — шток; 3 — корпус.

Одновременно с определением газоотделения проводилось измерение предпробойных токов образцов. Было замечено, что для органических изоляторов ток $\sim 1 \cdot 10^{-8}$ а возникал одновременно с возникновением заметного газоотделения и, быстро достигнув величины $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ а, скачком возрастал в связи с развитием пробоя. Для керамических изоляторов (анодный корпус и гофрированная трубка) ток возрастал плавно от момента начала заметного газоотделения и до пробоя образца. Пред-

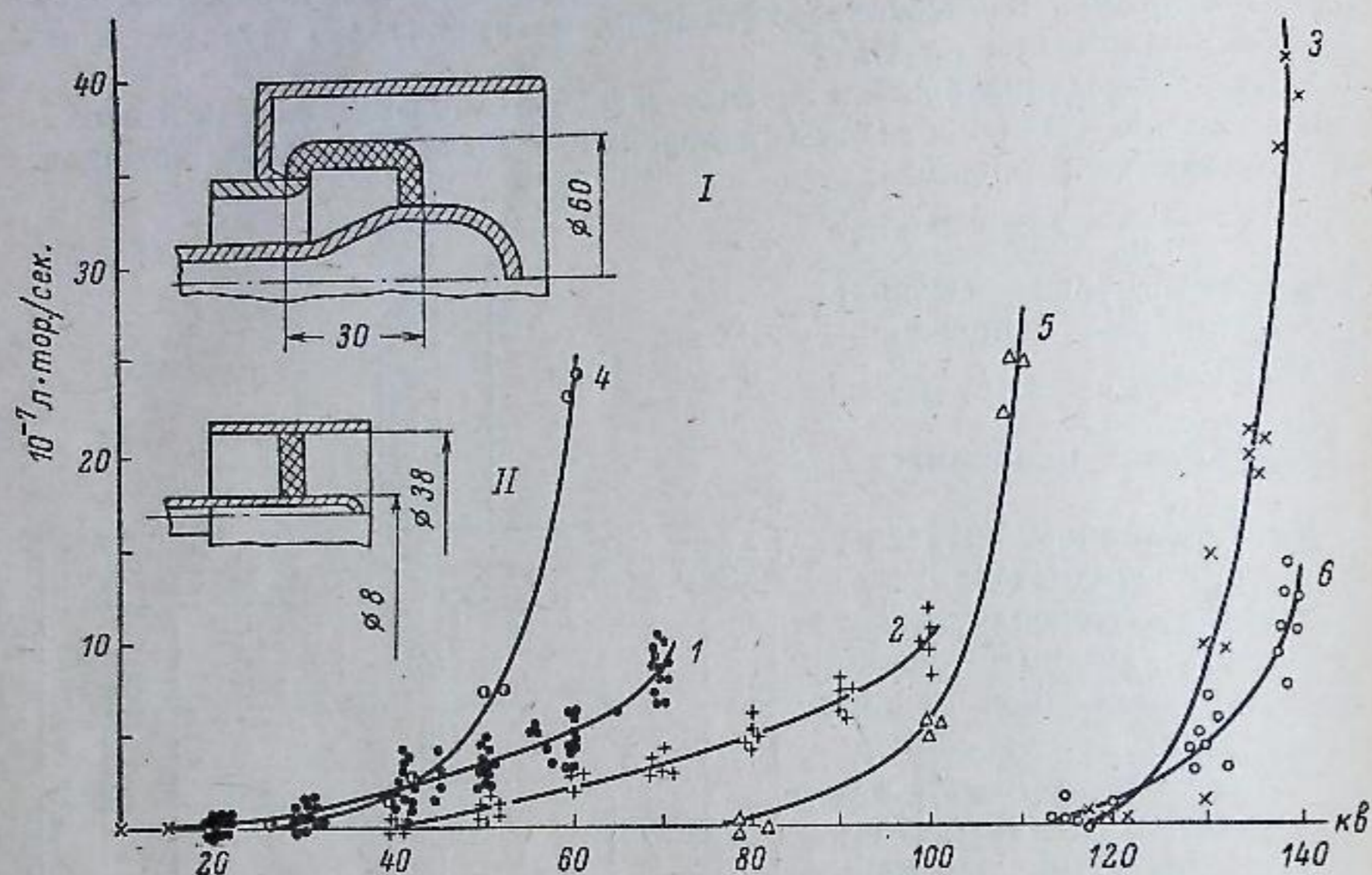


Рис. 4. Зависимость газоотделения от напряжения.

1 — анодный корпус ГИ-14Б (I); 2 — гофрированная трубка ГИ-14Б (II); 3 — керамическое кольцо: внешний \varnothing 38 мм, внутренний \varnothing 28 мм, толщина 12 мм; 4 — б — цилиндры \varnothing 10 и длиной 15 мм из фторопласта-4, виниласта, плексигласа.

пробойный ток $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ а сравнительно плавно переходил в ток пробоя. Благодаря сильному предпробойному току керамические образцы в процессе измерения нагревались до $\sim 40-50^\circ\text{C}$.

Измерения газоотделения проводились вплоть до достижения пробойного напряжения образца. Искровая тренировка, как было замечено, повышает величину пробойного напряжения. Результаты приведены в таблице. Следует заметить хорошее совпадение некоторых результатов с данными работы [3].

Образец	L, см	Uпр. ср. кв	Количество штук
Полиметилметакрилат	0.5	50	4
	1.0	110	4
	1.5	145	7
	2.0	165	4
	2.5	180	4
Фторопласт-4	1.5	60	5
Виниласт, параллельно слоям	1.5	115	3
Керамика, Стеатит-55	1.2	140	4
Анодный корпус ГИ-14Б стеатит-55	—	90	10
Гофрированная трубка ГИ-14Б Стеатит-55	—	110	5

Отдельно нужно отметить пробой образцов из фторопласта-4. По-видимому, в силу того, что блоки этого материала прессуются из порошка, он пробивается при сравнительно низкой напряженности электрического поля.

Литература

- [1] M. Rivera, W. H. Gassell, Jr., a. I. Iensen. Transactions of the 9-th Vacuum Symposium of the American Vacuum Society, стр. 343, Los-Angeles, California, 1962. Ed. by G. H. Bancroff, Oxford a. o. Pergamon Press, 1962. — [2] Antoine Schram. Transactions of the 9-th Vacuum Symposium of the American Vacuum Society, стр. 301. Los-Angeles, California, 1962. Ed. by G. H. Bancroff, Oxford a. o. Pergamon Press, 1962. — [3] Е. С. Боровик, Б. П. Батраков. ЖТФ, XXVIII, 1971, 1958. — [4] I. W. Ackkley, A. E. Barrington. Transactions of the 9-th Vacuum Symposium of the American Vacuum Society, стр. 380, Los-Angeles, California, 1962. Ed. by G. H. Bancroff, Oxford a. o. Pergamon Press, 1962. — [5] W. Bächler. Transactions of the 9-th Vacuum Symposium of the American Vacuum Society, стр. 395. Los-Angeles, California, 1962. Ed. by G. H. Bancroff Oxford a. o. Pergamon Press, 1962. — [6] А. И. Наумов. ПТЭ, вып. 5, 143, 1962. — [7] А. Ван-дер-Зил. Флуктуации в радиотехнике и физике. Госэнергоиздат, 1958.

Поступило в Редакцию
10 января 1966 г.