

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ФГУ ВНИИПО

МЧС России

д.т.н., профессор



Н.П. Копылов

12 2007 г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

аэрозолеобразующего состава 51-35-1 МГИФ 5135ТУ

ЗАО «Гранит – Саламандра» на напряжение пробоя по образующемуся
в воздушной среде аэрозолю

Начальник НИЦ ПСТ ФГУ ВНИИПО

МЧС России,

к.т.н., с.н.с.

Начальник отдела 2.3 ФГУ ВНИИПО

МЧС России,

д.т.н., с.н.с.

В.В. Пивоваров

С.Н. Копылов

Москва 2007 г.

1. Основание проведения испытаний

Договор № 5583-2.3 от 27 июня 2007 года между ФГУ ВНИИПО МЧС России и ЗАО «НПГ Гранит – Саламандра».

2. Характеристика объекта испытаний

Аэрозолеобразующий состав 51-35-1 МГИФ 5135ТУ, изготовленный ЗАО «НПГ Гранит – Саламандра» в соответствии с ТУ-4854-10-53990043-01 «Шашки аэрозольные».

Огнетушательная способность аэрозоля при тушении пожаров классов А2 и В, локализации пожаров подкласса А1 составляет $0,05 \text{ кг/м}^3$. При испытаниях огнетушательная концентрация принималась равной $0,1 \text{ кг/м}^3$ в соответствии с требованием заказчика.

Для проведения испытаний аэрозоля на напряжение пробоя фирмой изготовителем ЗАО «НПГ Гранит-Саламандра» были предоставлены образцы аэрозолеобразующего состава, заключенные в аэрозольные шашки с возможностью электрического поджига. Вес аэрозолеобразующего состава в одной шашке подобран таким, чтобы создавать огнетушательную концентрацию $0,1 \text{ кг/м}^3$ в объеме 10 литров.

3. Цель испытаний

За последнее время рядом зарубежных организаций были представлены проекты стандартов, устанавливающих требования для систем аэрозольного пожаротушения. Международная Организация по стандартизации (International Standards Organization (ISO)) представила стандарт ISO/CD 14520-16, где были озвучены новые требования по безопасности людей и оборудования при применении генераторов огнетушательного аэрозоля в кабельных сооружениях до момента отключения электроэнергии. В США был разработан проект стандарта NFPA 2010 (стандарт для стационарных систем аэрозольного пожаротушения). В Европейском союзе представлен стандарт EN/TC 191 WG 6 N 369 (стационарные системы пожаротушения – системы пожаротушения аэрозолем). Одним из общих требований в этих документах является электробезопасность людей и оборудования при применении генераторов огнетушательного аэрозоля в кабельных сооружениях до момента отключения электроэнергии. При проведении испытаний по определению безопасности аэрозолей важно учитывать указанные выше стандарты.

Целью данных испытаний является определение напряжения пробоя по аэрозолю в воздушной среде, образуемому из аэрозолеобразующего состава 51-35-1 МГИФ 5135ТУ, с учетом перечисленных выше стандартов, а также оценка возможности превышения безопасных значений тока утечки. Полученные данные позволят определить напряжения в токоведущих частях кабельных сооружений, при которых применение данного аэрозоля не будет приводить к «пробою» в нормальных условиях эксплуатации, а также сделать вывод о том, приводит ли распыление в воздухе аэрозоля к изменению удельного напряжения пробоя воздушной среды.

4. Процедура испытаний

4.1 Идентификация образцов

Для проведения испытаний в испытательную лабораторию НИЦ ПСТ ФГУ ВНИИПО МЧС России было поставлено 12 образцов аэрозолеобразующего состава. Каждый образец имел соответствующую маркировку.

В результате идентификации установлено, что представленные образцы соответствуют характеристикам объекта испытаний.

4.2 Место и сроки проведения испытаний

Испытания проводились в отделе 2.3 Испытательной лаборатории НИЦ ПСТ ФГУ ВНИИПО МЧС России в период с 15.11.2007 г. по 29.11.2007 г.

4.3 Испытательное и измерительное оборудование

В качестве основного экспериментального оборудования при проведении испытаний применяется стенд «Ток утечки», оснащенный устройствами автоматической регистрации параметров испытаний.

Схема установки для определения напряжения пробоя аэрозоля представлена на рисунке 1.

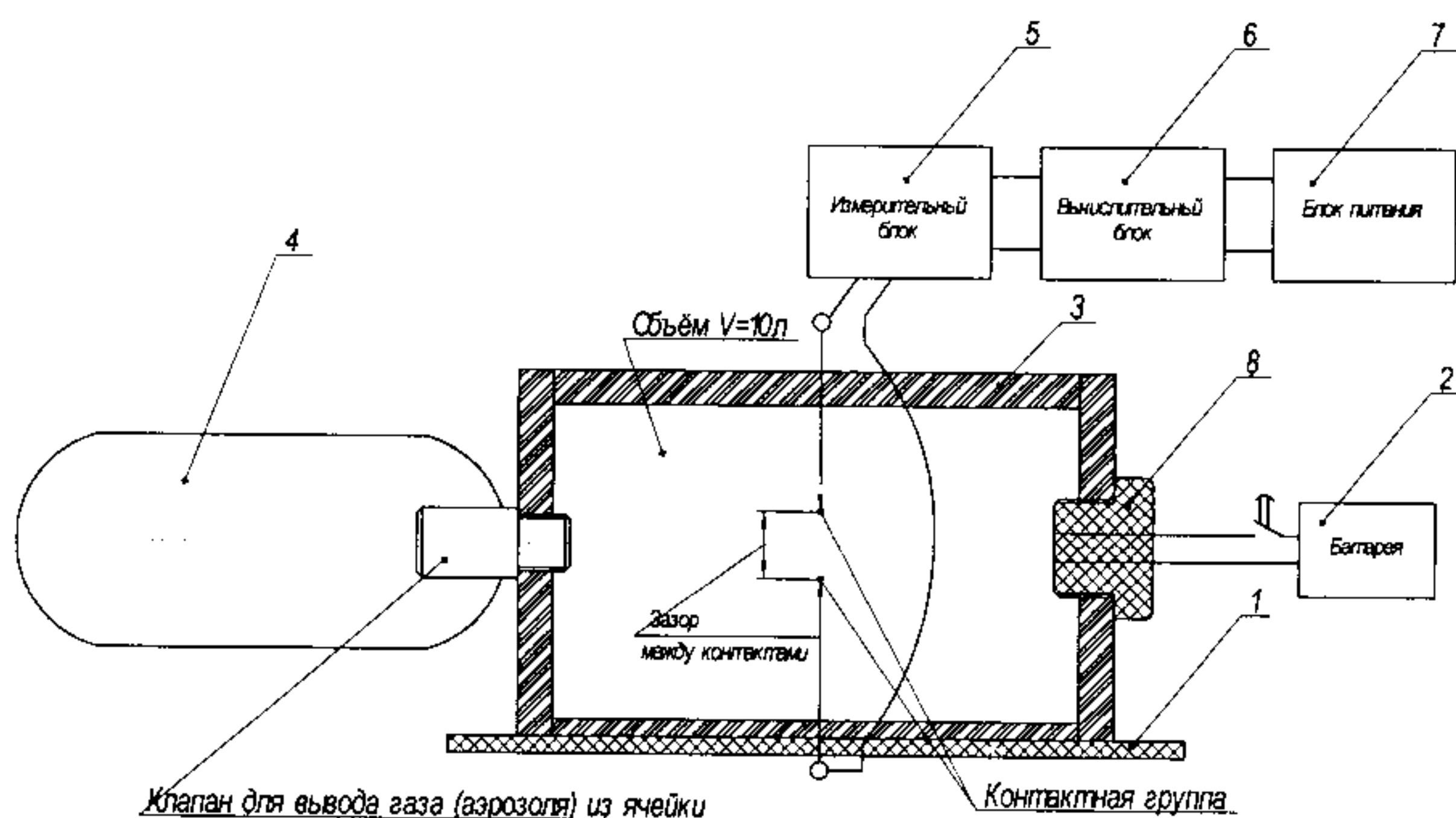


Рисунок 1 Схема экспериментальной установки.

- 1 - изолирующая подставка;
- 2 - устройство запуска генератора аэрозоля;
- 3 - измерительная ячейка (рабочий объем $V=10\text{л}$);
- 4 - сборник отработанного ОТВ;
- 5 - измерительный блок;
- 6 - вычислительный блок;
- 7 - блок питания и источник высокого напряжения;
- 8 - генератор аэрозоля.

Измерительное оборудование стенда имеет инерционность не более 0,1 секунды, обеспечивающее фиксирование значений напряжения пробоя, возникающего между контактами в объеме огнетушащего аэрозоля.

Контактная группа представляет собой два латунных контакта (острие, угол заточки 60°). Зазор регулируемый. Расстояния между контактами при определении напряжения пробоя по воздуху и воздушно-аэрозольной среде устанавливаются одинаковыми.

Параметры эксперимента (напряжение, время наступления пробоя) фиксировались автоматически вычислительным комплексом (компьютером). Дополнительно время подачи огнетушащего аэрозоля фиксировалось секундомером «Агат» № 2342 (таблица 1). Для измерения зазора между контактами применялся штангенциркуль ШЦ-1 № 230759 (таблица 1).

Таблица 1

№ п/п	Наименование оборудования и приборов	Срок следующей поверки
1	2	3
1	Секундомер «Агат», заводской № 2342, предел измерений (0 – 60) мин., класс точности 0,1 с.	03.2008 г.
2	Штангенциркуль ШЦ-1, заводской № 230759, предел измерения (0 – 250) мм, класс точности 0,1 мм.	02.05.2008 г.

4.4 Условия окружающей среды

Испытания проводились:

- опыты 1 – 24: при температуре окружающей среды 25°C , относительной влажности 95% и атмосферном давлении 750мм.рт.ст.
- опыты 25 – 36: при температуре окружающей среды 25°C , относительной влажности 94% и атмосферном давлении 752мм.рт.ст.

4.5 Порядок проведения испытаний

Было произведено:

- 17 опытов по определению напряжения пробоя по воздуху;
- 19 опытов по определению напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух».

Опыт №1. Определение напряжения пробоя по воздуху в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 1).

Опыт №2. Определение напряжения пробоя по воздуху в закрытой герметичной ячейке через 1 минуту после проведения предыдущего эксперимента (опыт №1) без проветривания (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 2).

Опыт №3. Определение напряжения пробоя по воздуху в закрытой герметичной ячейке через 20 минут после проведения предыдущего эксперимента (опыт №2) без проветривания (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 3).

Опыт №4. Определение напряжения пробоя по воздуху в закрытой герметичной ячейке после проведения проветривания ячейки (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 4).

Опыт №5. Определение напряжения пробоя по воздуху в открытой ячейке (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 5).

Опыт №6. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. С помощью дистанционного управления генератор аэрозоля был приведен в действие;
2. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя, который произошёл через 15 секунд после начала выпуска аэрозоля;
3. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
4. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 13).

Опыт №7. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 1 минуту после начала выпуска аэрозоля (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 14).

Опыт №8. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 2 минуты после начала выпуска аэрозоля (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 15).

Опыт №9. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 10 минут после начала выпуска аэрозоля (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;

2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 16).

Опыт №10. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке (с новым генератором, без очистки от конденсированного аэрозоля внутренней поверхности измерительной ячейки после опыта №9) (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. После проветривания ячейки был установлен новый генератор аэрозоля вместо отработанного через 10 минут;
2. С помощью дистанционного управления генератор аэрозоля был приведен в действие;
3. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя, который произошёл через 15 секунд после начала выпуска аэрозоля;
4. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
5. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 17).

Опыт №11. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 10 минут после проведения опыта №10 (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 18).

Опыт №12. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 20 минут после проведения опыта №10 (зазор $\delta=16,5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 6).

Опыт №13. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 5 мм в открытой ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Зазор был выставлен равным 5 мм;
2. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
3. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
4. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 7).

Опыт №14. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 5 мм в открытой ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 8).

Опыт №15. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 5 мм в открытой ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;

2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 9).

Опыт №16. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 5 мм в открытой ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 10).

Опыт №17. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 25 мм в открытой ячейке.

1. Зазор был выставлен равным 25 мм;
2. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
3. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
4. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 11).

Опыт №18. Определение напряжения пробоя по воздушному зазору 25 мм в открытой ячейке.

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 12).

Опыт №19. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Зазор был выставлен равным 5 мм;
2. С помощью дистанционного управления генератор аэрозоля был приведен в действие;
3. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
4. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
5. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 19).

Опыт №20. Определение напряжения пробоя по среде «аэрозоль + воздух» в закрытой герметичной ячейке через 5 минут после распыления аэрозоля (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 20).

Опыт №21. Определение напряжения пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» в закрытой герметичной ячейке через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 21).

Опыт №22. Определение напряжения пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» в закрытой герметичной ячейке через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 22).

Опыт №23. Определение напряжения пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» в закрытой герметичной ячейке через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 23).

Опыт №24. Определение напряжения пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» в закрытой герметичной ячейке через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке (зазор $\delta=5$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п. 24).

Опыты №25 - №36. Определение напряжения пробоя по средам: воздух и «воздух + аэрозоль» при изменившихся условиях окружающей среды окружающей среды* (зазоры $\delta=25$ мм и $\delta=50$ мм).

1. Напряжение плавно повышалось до момента пробоя;
2. Определение момента пробоя осуществлялось автоматически с помощью измерительного блока (визуально подтверждалось появлением дуги пробоя);
3. Полученные результаты были зафиксированы на магнитном носителе и бумаге (таблица 2, п.п. 25-36).

5. Результаты испытаний

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

№ п/п	Испытуемое вещество	Напряжение пробоя, кВ	Зазор, мм	Условия испытания	Таблица 2
					Удельное напряжение пробоя, кВ/мм
1	2	3	4	5	6
1	воздух	9,10	16,5	Закрытая ячейка	0,550
2	воздух	10,30	16,5	Закрытая ячейка	0,620
3	воздух	11,40	16,5	Закрытая ячейка	0,690
4	воздух	9,10	16,5	Закрытая ячейка	0,550
5	воздух	9,10	16,5	Открытая ячейка	0,550
6	воздух	6,4	5	Открытая ячейка	1,280
7	воздух	6,35	5	Открытая ячейка	1,270
8	воздух	7,45	5	Открытая ячейка	1,490
9	воздух	6,84	5	Открытая ячейка	1,368
10	воздух	12,8	25	Открытая ячейка	0,512
11	воздух	13,4	25	Открытая ячейка	0,536

12	аэрозоль + воздух	9,60	16,5	Закрытая ячейка	0,580
13	аэрозоль + воздух	10,50	16,5	Через 1 минуту после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	0,640
14	аэрозоль + воздух	10,90	16,5	Через 2 минуты после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	0,660
15	аэрозоль + воздух	11,10	16,5	Через 10 минут после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	0,670
16	аэрозоль + воздух	9,50	16,5	Закрытая ячейка	0,580
17	аэрозоль + воздух	10,40	16,5	Через 10 минут после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	0,630
18	аэрозоль + воздух	10,80	16,5	Через 20 минут после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	0,650
19	аэрозоль + воздух	5,98	5	Закрытая ячейка	1,196
20	аэрозоль + воздух	5,87	5	Через 5 минуты после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	1,174
21	воздух + осаждённый аэрозоль	6,75	5	Через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	1,350
22	воздух + осаждённый аэрозоль	6,90	5	Через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	1,380
23	воздух + осаждённый аэрозоль	7,00	5	Через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	1,400
24	воздух + осаждённый аэрозоль	7,31	5	Через 4 суток после распыления аэрозоля в закрытой герметичной ячейке	1,462
25	воздух	12,6	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,504
26	воздух	12,8	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,512

27	воздух	13,0	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях	0,520
28	аэрозоль + воздух	12,0	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,480
29	аэрозоль + воздух	12,2	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,488
30	аэрозоль + воздух	12,4	25	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,496
31	воздух	22,5	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,450
32	воздух	23,0	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,460
33	воздух	23,0	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,460
34	аэрозоль + воздух	22,0	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,44
35	аэрозоль + воздух	22,0	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,44
36	аэрозоль + воздух	22,5	50	Эксперимент при изменившихся атмосферных условиях*	0,450

*- атмосферные условия (изменившиеся относительно экспериментов 1 – 24)) (эксперименты 25 – 36): относительная влажность: 94%; атмосферное давление: 752 мм.рт.ст.; температура: 25°C.

Примечание: Время работы генератора аэрозоля во всех опытах составляло 1 секунду.

На рисунках 3 – 8 показаны результаты испытаний и вид испытательной ячейки.

6. Выводы

В условиях опыта ток утечки при осаждении аэрозоля на диэлектрической ячейке составлял 13,5 мА при напряжении 6,7 кВ, 80 мА при 40 кВ. Величина тока утечки зависит от вида диэлектрика, марки конденсированного аэрозоля, толщины его слоя, атмосферных условий (влажности, давления и т.д.). Величину тока утечки по диэлектрической поверхности после оседания на ней аэрозоля рекомендуется определять экспериментально для каждого конкретного случая осуществления защиты аэрозольными установками высоковольтного оборудования (особенно рекомендуется для оборудования, рассчитанного на работу в условиях слабой загрязнённости (степень загрязнения 1 или 2 [2, 3]), так как осевший аэрозоль увеличивает степень загрязнения элементов оборудования).

При проектировании систем аэрозольного пожаротушения должны учитываться требования по электрическим нормам, согласно проектов стандарта EN/TC 191 WG 6 N 369 «Стационарные системы пожаротушения – системы пожаротушения аэрозолем», NFPA 2010 «Стандарт для стационарных систем аэрозольного пожаротушения» и ISO/CD

14520-16 «Системы аэрозольного пожаротушения – физические свойства и проектирование системы».

Напряжение пробоя по воздушному зазору между двумя остриями (латунными контактами) в условиях проведения эксперимента и по смеси «аэрозоль + воздух» практически одинаковы.

Напряжение пробоя по смеси «аэрозоль + воздух» при зазоре $\delta=16,5$ мм между двумя остриями после создания в испытательном объёме огнетушащей концентрации в условиях проведения эксперимента составляло 9,6 - 11,1 кВ. Напряжение пробоя по смеси «аэрозоль + воздух» при зазоре $\delta=5$ мм между двумя остриями после создания в испытательном объёме огнетушащей концентрации в условиях проведения эксперимента составляло 5,87 - 7,31 кВ. При зазорах свыше 5 мм пробой наступает при напряжениях свыше 5,8 кВ при условиях близких к условиям эксперимента. При зазорах свыше 16,5 мм пробой наступает при напряжениях свыше 9,6 кВ. При зазорах свыше 25 мм пробой наступает при напряжениях свыше 12 кВ. При зазорах свыше 50 мм пробой наступает при напряжениях свыше 22 кВ. Полученная зависимость напряжения пробоя от зазора между электродами представлена на рисунке 2.

Распыление в воздухе аэрозоля в условиях близких к условиям эксперимента не приводит к изменению удельного напряжения пробоя воздушной среды. Минимальное значение удельного напряжения пробоя для зазора 5 мм составляет 1,174 кВ/мм. Минимальное значение удельного напряжения пробоя для зазора 16,5 мм составляет 0,58 кВ/мм. Минимальное значение удельного напряжения пробоя для зазора 25 мм составляет 0,48 кВ/мм. Минимальное значение удельного напряжения пробоя для зазора 50 мм составляет 0,44 кВ/мм. Полученная зависимость удельного напряжения пробоя от зазора представлена на рисунке 3.

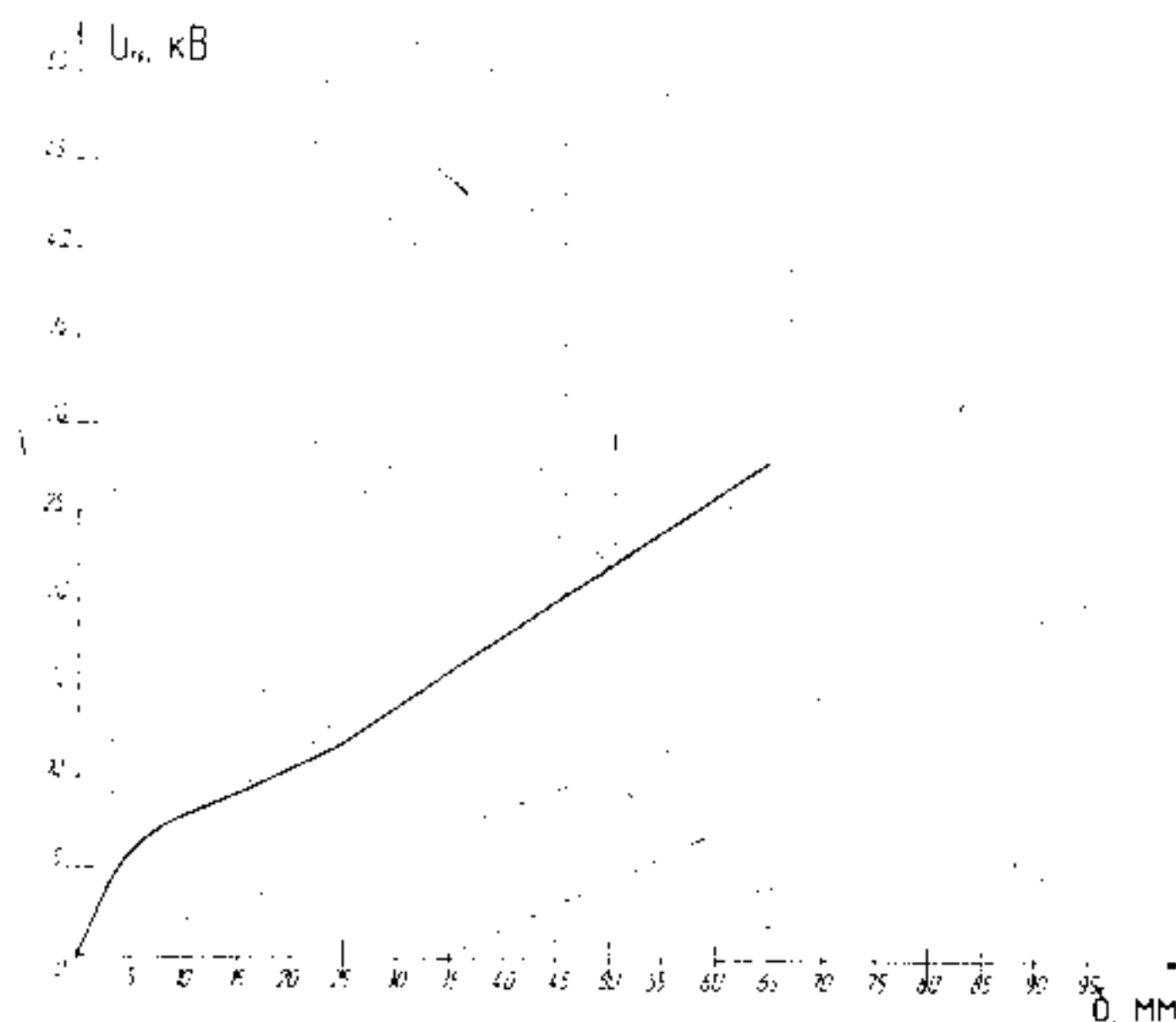
Конденсированный на внутренней поверхности измерительной ячейки и электродах аэрозоль не влиял на величину напряжения пробоя (опыты 9 – 12) в течение времени до 20 минут (в течение всего эксперимента).

Напряжение пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» через 4 суток после распыления аэрозоля не отличалось от напряжения пробоя по воздуху. При зазоре между электродами $\delta=5$ мм минимальное напряжение пробоя по среде «воздух + осаждённый аэрозоль» составляло 6,75 кВ.

Зависимость напряжения пробоя от времени от начала распыления аэрозоля представлены на рисунках 4 – 6.

Вид ячейки для испытаний представлен на рисунках 7 – 8.

Зона, где использование аэрозоля запрещено



Рекомендуемая область использования аэрозоля

Рисунок 2. График зависимости минимального напряжения пробоя по смеси «аэрозоль + воздух» от зазора между электродами (в условиях близких к условиям эксперимента).

О – нормативные значения расстояния в свету от токоведущих частей до различных элементов ЗРУ;

Х – экспериментально найденные минимальные напряжения пробоя при зазорах 5 мм; 16,5 мм; 25 мм; 50 мм.

Примечание: Напряжения для расчёта необходимых зазоров между токоведущими частями высоковольтного оборудования в реальных условиях эксплуатации рекомендуется брать с коэффициентом запаса не менее 2 (поправка на возможные условия работы) в зависимости от условий работы оборудования.

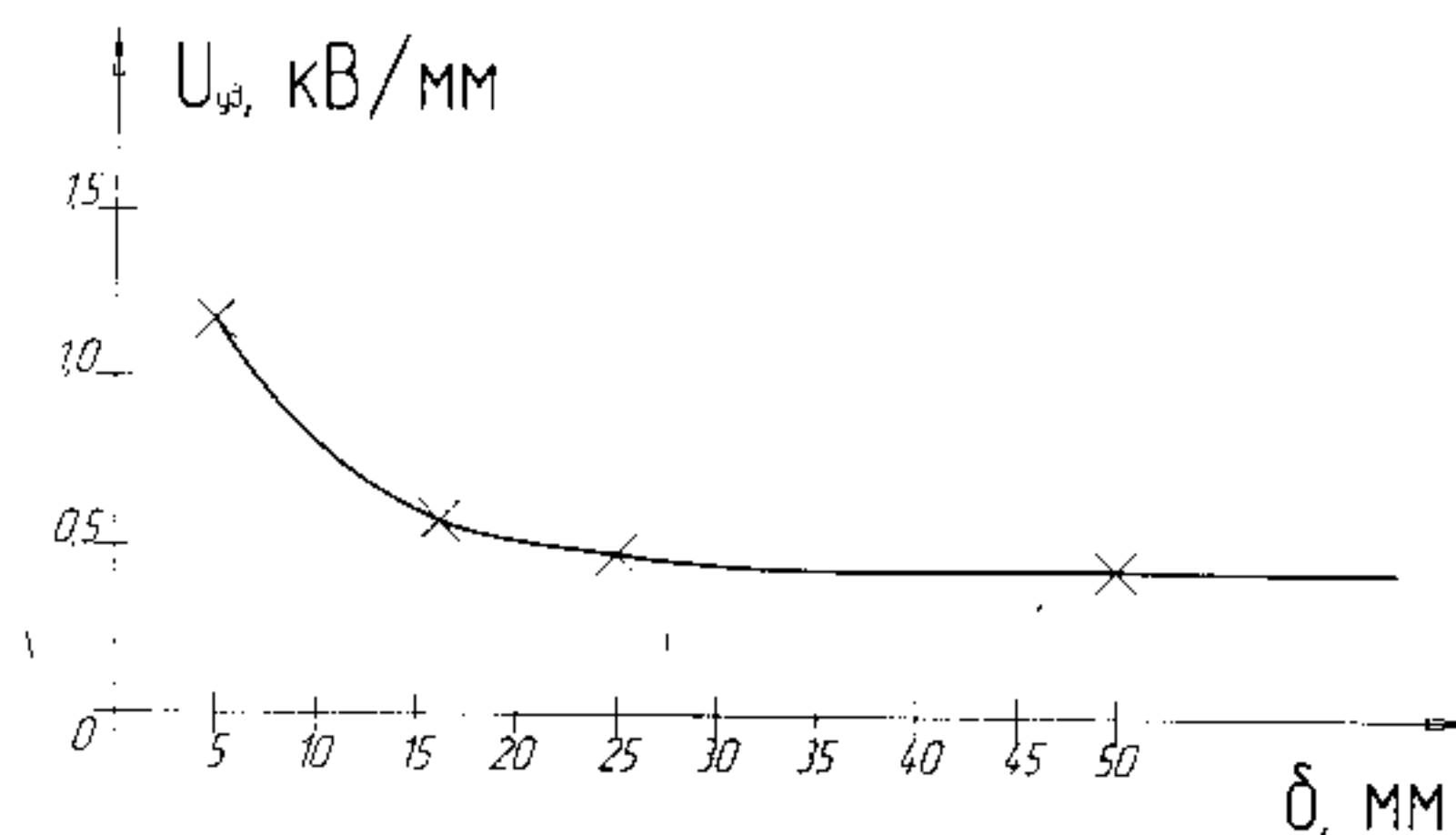


Рисунок 3. График зависимости минимального удельного напряжения пробоя по смеси «аэрозоль + воздух» от зазора между электродами (в условиях близких к условиям эксперимента).

Х – экспериментально найденные минимальные удельные напряжения пробоя

при зазорах 5 мм; 16,5 мм; 25 мм; 50 мм.

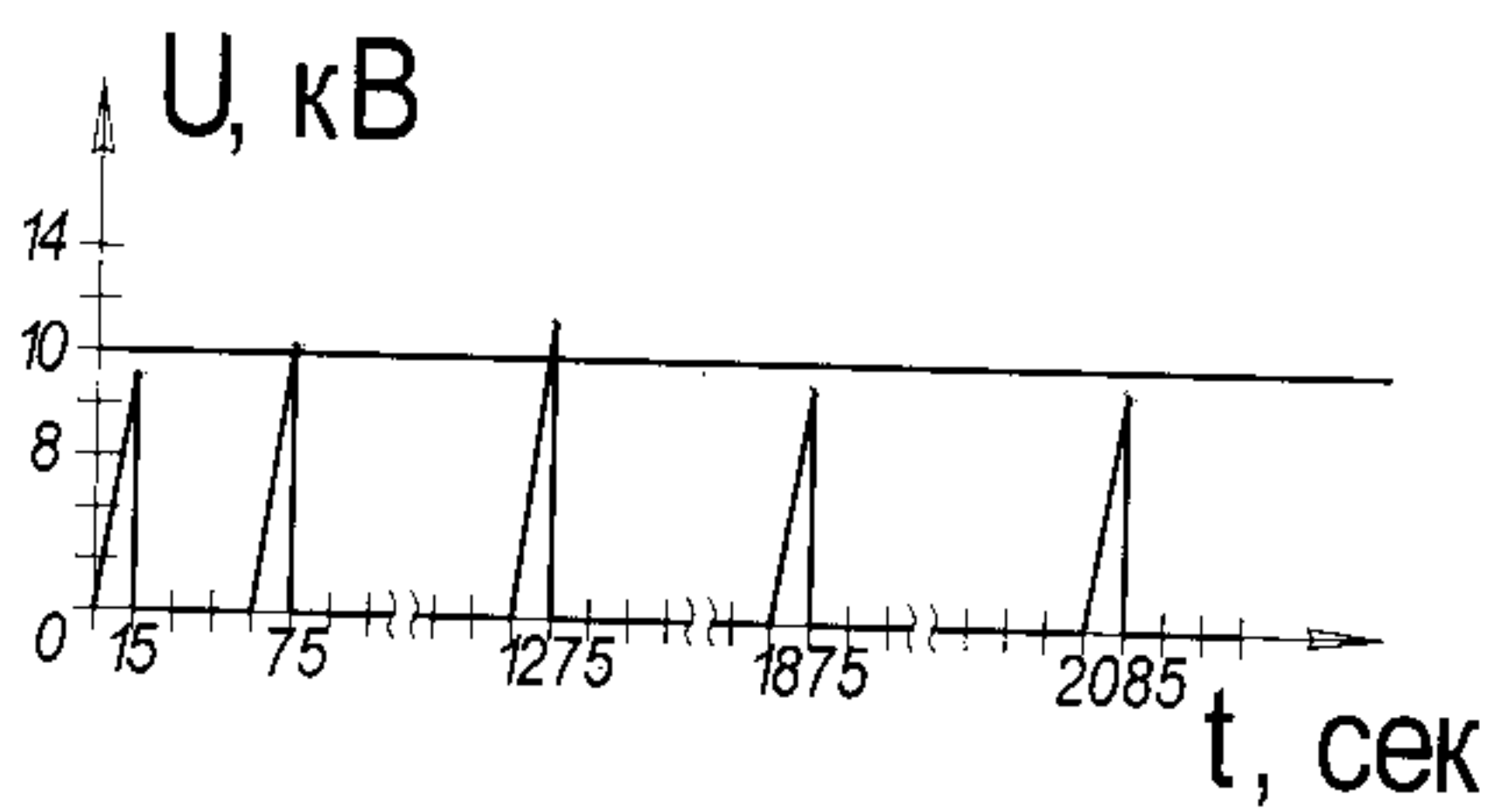


Рисунок 4. Результаты испытаний среды «воздух + аэрозоль» на пробой (опыты №1-5).

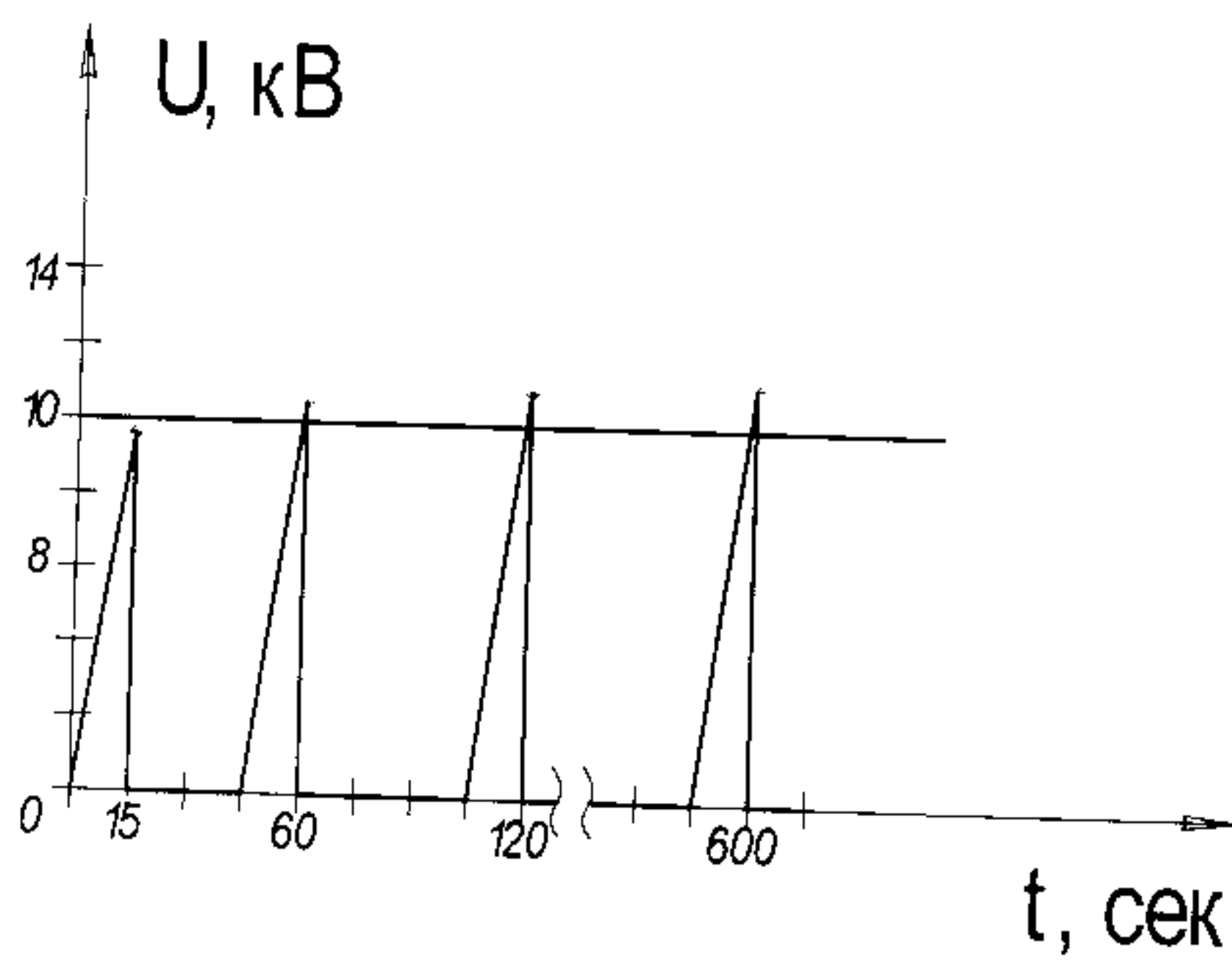


Рисунок 5. Результаты испытаний среды «воздух + аэрозоль» на пробой (опыты № 6-9).

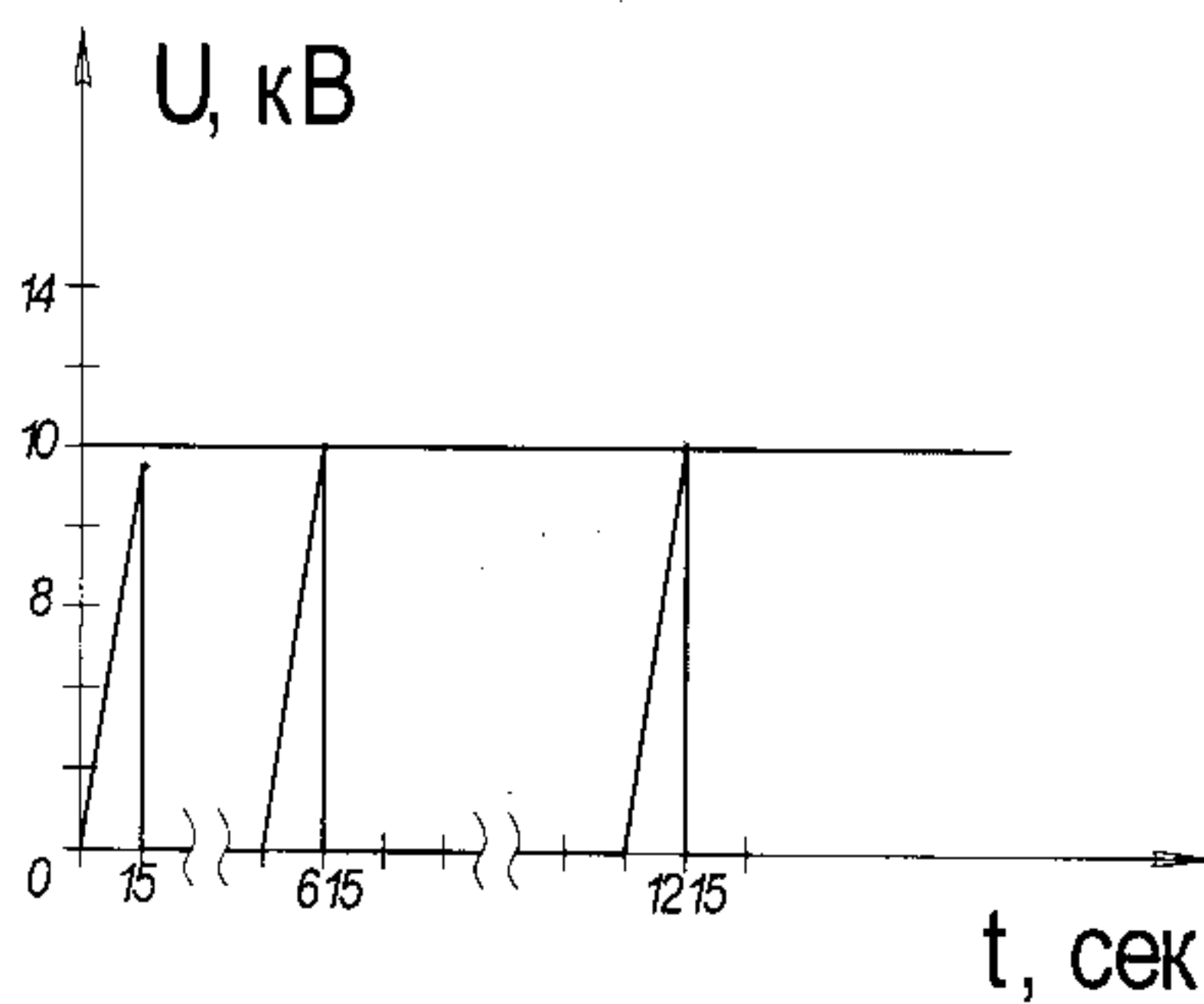


Рисунок 6. Результаты испытаний среды «воздух + аэрозоль» на пробой (опыты № 10-12).

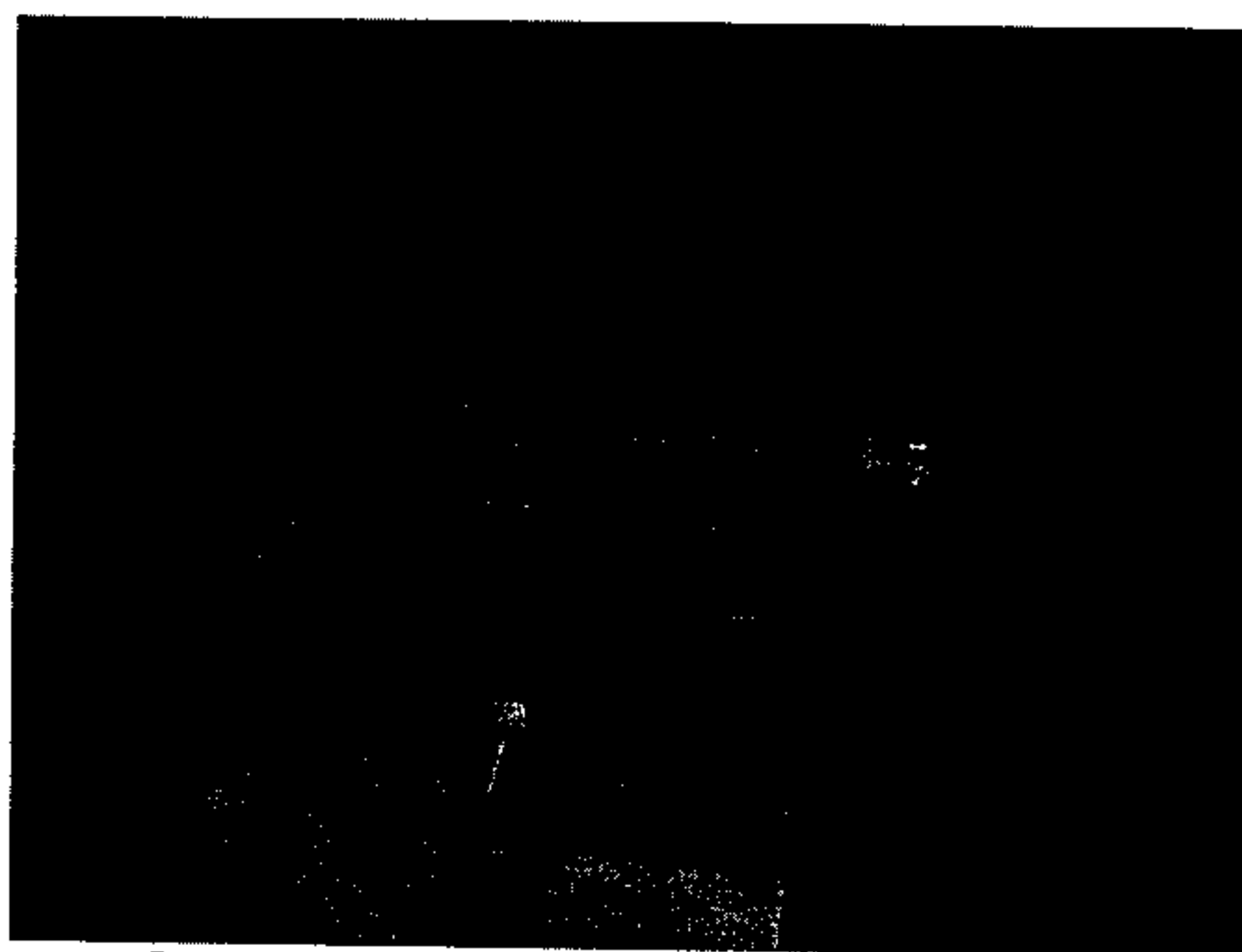


Рисунок 7. Вид сверху на измерительную ячейку.

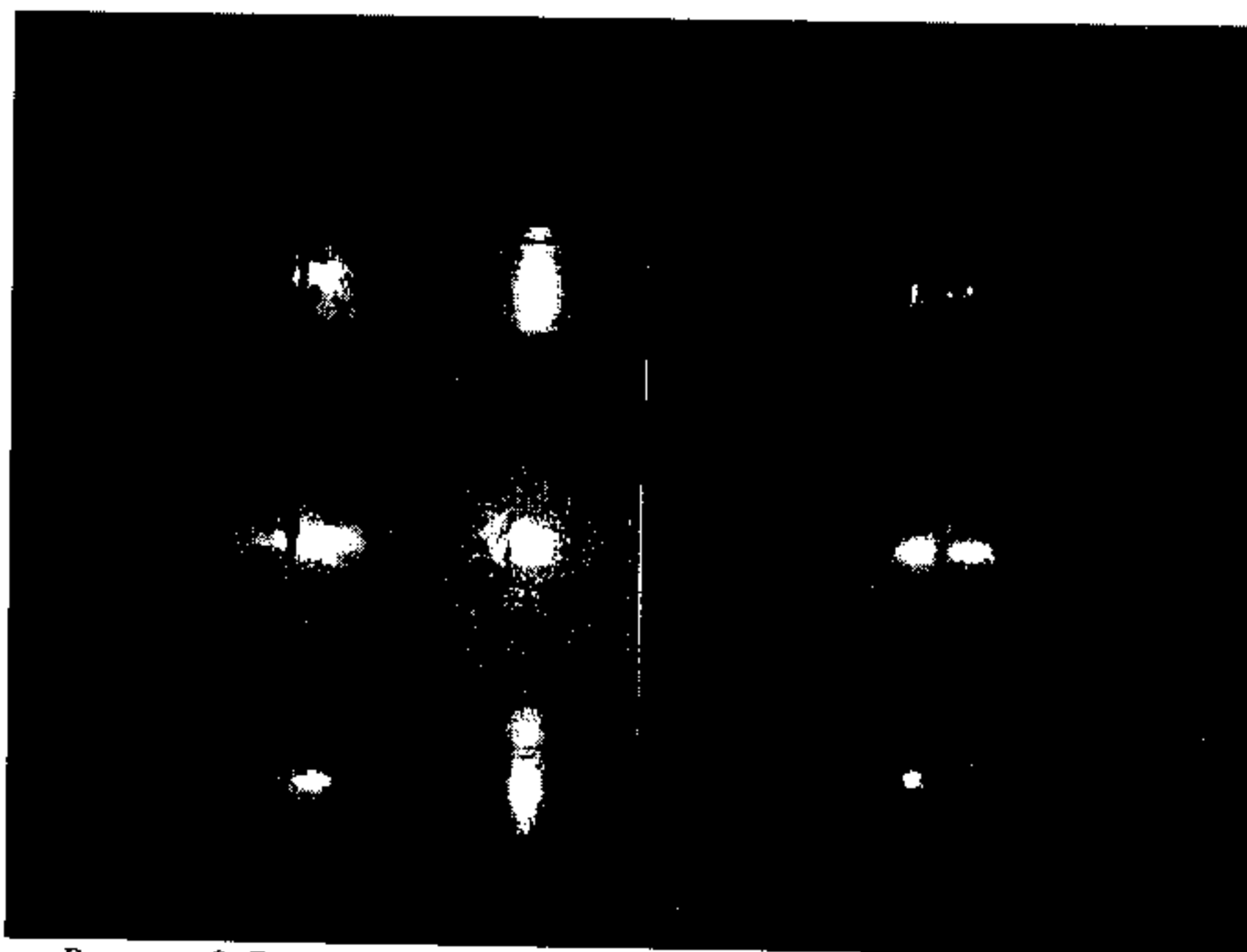


Рисунок 8. Электроды для определения напряжения пробоя.

7. Исполнители

Заместитель начальника отдела 2.3 –

Начальник сектора 2.3.1, к.т.н.

Е.В. Никонова

Ведущий научный сотрудник отдела

2.3,

к. т. н., с. н. с.

В.А. Куцук

Научный сотрудник отдела 2.3

Е.В. Баранов