

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

МЕТРОЛОГИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания
к практическим занятиям

СПб ГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018

Вводные замечания

Комплект заданий рассчитан на освоение приемов измерения параметров оптических волокон и рефлектометров по характеристикам обратного рассеяния (рефлектограммам).

Выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ℓ , q ; где ℓ - предпоследняя цифра, q - последняя цифра.

1. Основы измерений методом обратного рассеяния

Метод основан на анализе Рэлеевского потока обратного рассеяния мощности оптического излучения во времени. Для его реализации разработаны специальные приборы - оптические рефлектометры во временной области (OTDR), нашедшие наибольшее распространение при определении параметров волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Они обеспечивают определение таких важных параметров ВОЛС, как степень регулярности оптического кабеля (ОК), расстояний до мест неоднородностей и повреждений, потерь в местах соединений ОК, затуханий строительных длин и смонтированных регенерационных участков и др.

В приборах данного класса информационной является характеристика обратного рассеяния (рефлектограмма), представляющая собой зависимость уровня мощности потока обратного рассеяния в точке ввода излучения в волокно от расстояния до анализируемой точки, определяемого соотношением

$$x = \frac{vt}{2} \quad (1.1)$$

Где $v = \frac{c}{n}$ - групповая скорость распространения излучения по сердцевине ОВ.

c - скорость света в вакууме;

n - показатель преломления сердцевины ОВ.

Типичный вид рефлектограммы приведен на рис 1.1.



Рис. 1.1. Характеристика обратного рассеяния участка оптической линии

Ее идентификация предполагает:

- определение «квазирегулярных» участков, на которых изменения уровня обратного потока обусловлены потерями на поглощение и Рэлеевское рассеяние;
- выделение участков с резким изменением уровня потока обратного рассеяния, присущих локальным неоднородностям.

Например, для рис. 1.1 участки рефлектограммы могут быть идентифицированы следующим образом:

- 1 - начальный выброс уровня обратного потока оптической мощности, обусловленный Френелевским отражением при вводе излучения в волокно;
- 2 - «неискаженные», «квазирегулярные» участки, описываемые

линейными функциями, по параметрам которых судят о характеристиках исследуемого ОВ;

- 3 - потери мощности обратного потока на локальном дефекте типа сварного соединения,
- 4 - изменение уровня обратного потока из-за внутренних неоднородностей или микроизгиба ОВ;
- 5 – изменение уровня обратного потока и потери на локальной неоднородности типа механическое соединение, микротрещина и т.п.;
- 6 – выброс обратного потока, обусловленный отражением от конца ОВ;
- 7 – уровень шумов фотоприемника оптического рефлектометра.

Алгоритм обработки результатов измерений рефлектограмм предусматривает следующее:

- выделение «неискаженных», «квазирегулярных» участков и аппроксимация их линейными зависимостями;
- прогноз поведения рефлектограммы на участках с неоднородностями на основе результатов линейной аппроксимации прилегающих «квазирегулярных» участков;
- расчет искомых параметров ОК по полученным теоретическим зависимостям.

Аппроксимация «неискаженных» участков осуществляется на основе соотношения /1/

$$P = y = a + bx.$$

Параметры аппроксимации определяются либо методом двух точек (2РА), либо методом наименьших квадратов (LSA). Принцип аппроксимации методом двух точек иллюстрирует рис 1.2.

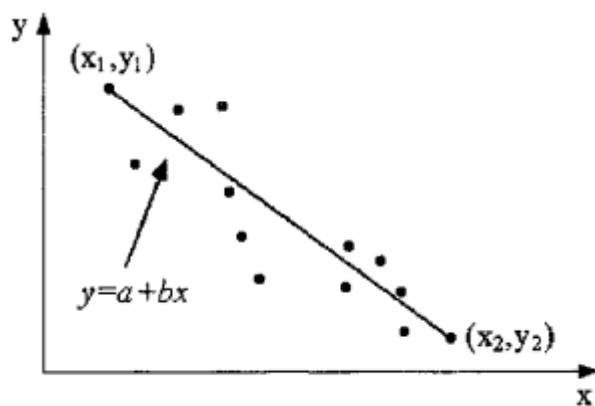


Рис. 1.2. Линейная аппроксимация методом двух точек

При этом $a = y_1$, $b = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$

Где y_1, y_2 - уровень мощности обратного рассеянного потока в выбранных измерителем точках (дБм);

x_1, x_2 - расстояние от точки ввода излучения в ОВ до выбранных измерителем точек 1 и 2 соответственно (км).

Принцип определения параметров аппроксимации методом наименьших квадратов демонстрируется на рис. 1.3.

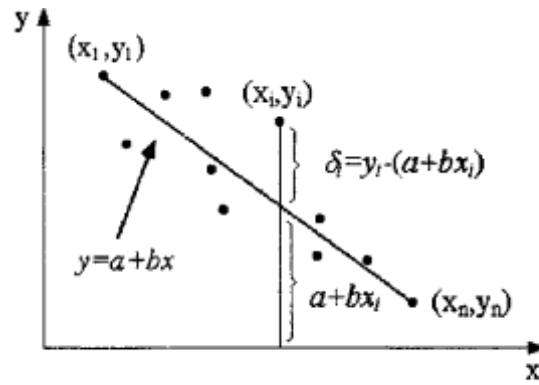


Рис. 1.3. Линейная аппроксимация методом наименьших квадратов

Как показано на рис. 1.3, исследуемый участок рефлектограммы между выбранными точками (x_1, y_1) и (x_n, y_n) разбивается на $(n-1)$ интервалов и по рефлектограмме определяются значения (x_i, y_i) для каждой границы интервалов $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. Параметры аппроксимации a, b получают из условий минимума значения суммы S квадратов отклонений Δ_i теоретической и экспериментальной кривой

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2$$

или

$$S = (y_1 - a - bx_1)^2 + (y_2 - a - bx_2)^2 + \dots + (y_n - a - bx_n)^2$$

путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

которая описывает условия минимума величины S . Решение данной системы уравнений записывается в виде

$$a = \frac{\bar{y} \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n(\bar{x})^2} \quad (1.2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - n\bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n(\bar{x})^2}$$

где

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) ;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i) ;$$

Как правило, в оптических рефлектометрах имеется возможность выбора способа определения параметров линейной аппроксимации в зависимости от вида рефлектограмм и измеряемой характеристики волокна.

2. Определение погрешностей измерения динамического диапазона

Динамический диапазон - одна из основных характеристик OTDR. Различают несколько оценок этой величины. Широко используются понятия динамического диапазона по потоку обратнорассеянной мощности, определяемые по рефлектограммам. Наиболее распространенными среди них являются: эффективное значение динамического диапазона D_e и динамический диапазон при отношении сигнал/шум равном единице ($SNR=1$) - $D_s=D_1$.

Эффективное значение динамического диапазона D_e определяют как разность между уровнем мощности обратнорассеянного потока в точке ввода оптического излучения в ОВ и уровнем на 0,3 дБ выше максимального уровня шума.

Динамический диапазон D_1 (или D_s) - это разность между уровнем мощности обратнорассеянного потока в точке ввода и уровнем среднеквадратического значения шума (как правило, определяется как 0,707 от максимального значения шума). Принцип определения величины D_e и D_1 демонстрируется на рис 2.1.

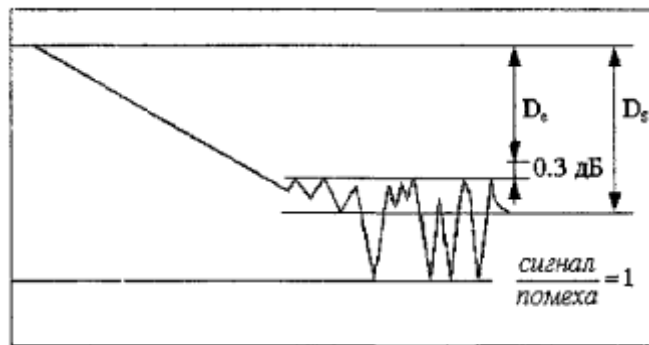


Рис. 2.1. Определение динамического диапазона

При определении уровней мощности обратного потока по рефлектограмме использует известное значение цены деления по оси ординат $C_y \left[\frac{\text{дБ}}{\text{дел}} \right]$. Уровень мощности в искомой точке рефлектограммы определяется соотношением

$$a = Y C_y, \quad [\text{дБ}] \quad (2.1)$$

где Y - геометрический размер в [дел], соответствующий ординате искомой точки; C_y - цена деления по оси ординат.

В связи с тем, что рефлектограмма представляет собой результат усреднения большого количества (от 10 до 10^6) реализаций зависимости мощности обратнорассеянного потока от времени (длина ОК), при анализе погрешностей измерения характеристик OTDR и ОК предположим, что они имеют систематический характер.

Абсолютная погрешность изменения динамического диапазона, как погрешность косвенного измерения, может быть определена из соотношения

$$\Delta D = C_y \Delta Y + Y \Delta C_y, \quad [\text{дБ}] \quad (2.2)$$

Где ΔY - погрешность измерения размера Y [дел],

ΔC_y - погрешность задания цены деления [дБ/дел].

2.1. Задача

2.1.1. Зарисовать две рефлектограммы в более крупном масштабе.

2.1.2. Произвести идентификацию неоднородностей. Результаты записать под табл. 2.3.

2.1.3. Графическим методом по рефлектограммам определить оценку динамического диапазона:

- при отношении сигнал/помеха = 1 $D_s = D_1$

- Эффективное значение D_e

2.1.4. Определить абсолютные ΔD и относительные δD погрешности измерения динамических диапазонов.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 2.1.; 2.2. Результаты измерений и вычислений свести в табл. 2.3.

Исходные данные

Таблица 2.1

1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
NN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	} 8.41 ÷8.50
рис.	8	7	5	9	1	4	5	3	2	6	

Здесь указаны NN рефлектограмм, приведенные в приложении

Таблица 2.2

q	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_y, \frac{\partial B}{\partial \text{дел}}$	2,0	1,0	2,0	0,5	1,0	0,5	5,0	1,0	2,0	1,0
$\Delta Y, \text{дел}$	0,005	0,002	0,005	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005	0,005
$\Delta Y, \text{дел}$	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,02	0,05	0,01	0,01	0,05

Таблица 2.3

NN рефлектограмм	C_y	ΔC_y	Y_1	D_1	ΔD_1	δD_1	Y_e	D_e	ΔD_e	δD_e
	$\frac{\partial B}{\partial \text{дел}}$	$\frac{\partial B}{\partial \text{дел}}$	дел	дБ	дБ	%	дел	дБ	дБ	%

3. Определение погрешностей измерения разрешающей способности.

Разрешающая способность характеризует минимальное расстояние между двумя соседними нерегулярностями, на котором они еще воспринимаются раздельно. Ее определяют для неоднородностей с Френелевским отражением и для неоднородностей без отражения. В последнем случае говорят о разрешающей способности по потоку обратного рассеяния L_p .

Это есть расстояние между точками в начале и конце скачка уровня обратной мощности величиной $\leq 1,0$ дБм, полученными на пересечении аппроксимирующих прямых прилегающих к неоднородности квазирегулярных участков ХОР с кривой образующей «ступеньку» скачка. Принцип определения величины L_p демонстрируется на рис 3.1.

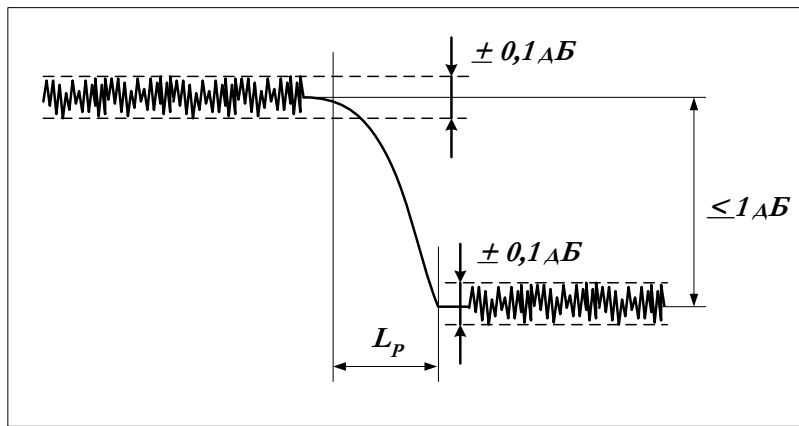


Рис. 3.1. Определение разрешающей способности на уровне 0,1 дБ

3.1. Задача

- 3.1.1. Зарисовать заданную рефлектограмму в более крупном масштабе (увеличить масштаб по оси X и Y ориентировочно в 2÷4 раза)
- 3.1.2. На рефлектограмме обозначить все неоднородности и произвести их идентификацию. Результат записать под табл. 3.3.
- 3.1.3. Графическим методом определить для всех выявленных неоднородностей величины разрешающей способности

$$L_{pi} = X_{pi} \cdot C_x, [м] \quad (3.1)$$

Где i – номер неоднородности, считая от конца А (точки ввода излучения)

X – геометрический размер соответствующий величине разрешающей способности. [дел]

C_x - цена деления шкалы рефлектометра по горизонтальной оси. [км/дел]

- 3.1.4. Определить абсолютные ΔL_i , и относительные δ_{L_i} погрешности измерений разрешающей способности

$$\Delta L = \Delta X C_x + X \Delta C_x, [м] \quad (3.2)$$

Где ΔC_x - погрешность задания цены деления по горизонтали [м/дел]

ΔX - погрешность измерения размера X [дел].

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 3.1 и 3.2.

Результаты измерений и вычислений свести в табл.3.3.

Исходные данные

Таблица 3.1

1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NN рис.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1

Таблица 3.2

q	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Δ	2,0	1,0	2,0	0,5	1,0	0,5	4,0	1,0	2,0	1,0
$C_x, \frac{км}{дел}$	0,2	0,5	1,0	0,4	0,5	0,2	0,2	0,6	1,0	0,5
$\Delta C_x, \frac{м}{дел}$	0,05	0,9	0,4	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,2	0,1
$\Delta X, дел$	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05	0,01

Таблица 3.3

NN неоднородности	X_p	C_x	L_p	ΔC_x	ΔX	ΔL_p	δL_p
	дел	$\frac{км}{дел}$	м	$\frac{м}{дел}$	дел	м	%

4. Определение погрешностей измерения расстояний до мест неоднородностей, длин ОК и коэффициента затухания ОВ.

При определении расстояний между двумя произвольно выбранными точками 1 и 2 они предварительно отличаются маркерами на рефлектограмме, а затем расстояние между ними определяют используя известное значение цены деления по оси X - C_x [км/дел]

$$L_{1,2} = X_{1,2} \cdot C_x$$

Где $L_{1,2}$ - искомое расстояние [км]

$X_{1,2}$ - геометрический размер по оси X, соответствующий измеряемому расстоянию [дел].

При определении расстояний до мест неоднородностей и длины ОК маркер 1 помещается в начало линии, а маркер 2 - в начало идентифицированной неоднородности или в конец ОВ соответственно.

Абсолютная погрешность измерения расстояний определяется из соотношения (3.2).

Коэффициент затухания участка ОВ ($\alpha_{1,2}$) определяется по рефлектограмме на квазирегулярных участках ВОЛП графическим, либо аналитическим способом. Предварительно начало и конец выделенного участка отмечаются маркерами (в данном примере 1 и 2 соответственно). Для нахождения величины $\alpha_{1,2}$ вычисляется отношение изменения уровня обратнорассеянной мощности на исследуемом участке к его длине

$$\alpha_{1,2} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{L_1 - L_2} = \frac{\alpha_{1,2}}{L_{1,2}}$$

Где α_1 и α_2 - уровни мощности обратнорассеянного потока, соответствующие точкам (маркерам) 1 и 2 квазирегулярного участка ВОЛП.

L_1 и L_2 - координаты точек 1 и 2 по шкале расстояний, ограничивающих исследуемый участок.

Абсолютная погрешность изменения коэффициента затухания определяется из соотношения

$$\Delta\alpha = \alpha \left[\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta L}{L} \right]$$

$$a = a_{1,2}; L = L_{1,2}; \Delta a = C_y \Delta y + Y_{1,2} \Delta C_y; \Delta L = C_x \Delta x + X_{1,2} \Delta C_x;$$

$$a_1 = Y_1 C_y; a_2 = Y_2 C_y; L_1 = X_1 C_x; L_2 = X_2 C_x$$

Где C_y и C_x - цена деления [дБ/ дел] и [км/ дел] по шкале затуханий и расстояний соответственно

ΔC_y и ΔC_x - абсолютная погрешность задания соответствующей цены деления

4.1. Задача

- 4.1.1. Зарисовать заданную рефлектограмму в более крупном масштабе (увеличить в 2-4 раза).
- 4.1.2. Произвести идентификацию неоднородностей. Результаты записать в таблицу 4.3.
- 4.1.3. Расставить маркеры в начало неоднородностей и пронумеровать их.
- 4.1.4. Определить расстояние до всех неоднородностей и длину ОК.
- 4.1.5. Определить абсолютные и относительные погрешности измерения расстояний. Результаты вычислений свести в табл. 4.3.
- 4.1.6. Выбрать «квазирегулярный» участок ОК наибольшей протяженности. Расставить маркеры 1 и 2 для определения коэффициента затухания. Выполнить геометрические построения по определению $\alpha_{1,2}$ и $L_{1,2}$.
- 4.1.7. Для выбранного участка определить величину коэффициента затухания, абсолютную и относительную погрешности измерения коэффициента затухания.
- 4.1.8. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 4.1 и 4.2. Результаты измерений и вычислений свести в табл. 4.4.

Таблица 4.1

l	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NN рис.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C_y $\frac{\partial B}{\partial \Delta l}$	1,0	2,0	0,5	5	1,0	0,5	2,0	1,0	5	1,0
ΔC_y $\frac{\partial B}{\partial \Delta l}$	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002
ΔY $\Delta \epsilon l$	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,01	0,01

Таблица 4.2

q		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_x	$\frac{KM}{\Delta \epsilon l}$	0,2	0,5	0,3	0,2	0,4	0,5	1,0	0,2	0,5	0,3
ΔC_x	$\frac{M}{\Delta \epsilon l}$	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	0,4	0,6	0,1	0,3	0,1
ΔY	$\Delta \epsilon l$	0,05	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,05

Таблица 4.3

NN неоднородности	Результат идентификации	Расстояние L	Погрешность	
			ΔL	ΔL
-	-	м	М	%
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 4.4

$Y_{1,2}$	C_y	$a_{1,2}$	$x_{1,2}$	C_x	$L_{1,2}$	α	$\Delta\alpha$	δ_α
дел	$\frac{\partial B}{\partial \text{дел}}$	∂B	дел	$\frac{\text{км}}{\text{дел}}$	км	$\partial B/\text{км}$	$\frac{\partial B}{\text{км}}$	%

5. Определение погрешностей измерения, затухания сварных соединений

Изменение затухания сварных соединений являются обязательными на различных этапах строительства и эксплуатации ВОЛС. Величина затухания оценивается как разность уровней мощностей оптического излучения до и после неоднородности. Измерение затухания на стыках Оптических волокон по рефлектограмме производится в следующем порядке. Выделяются квазирегулярные участки до и после неоднородности и отмечаются маркерами. Маркеры 1 и 2 располагаются до стыка, а маркеры 4 и 5 – после него. Один маркер 3 устанавливается непосредственно перед точкой стыка. Маркеры 2 и 4 располагаются по возможности ближе к стыку. Расстояния между маркерами 1-2 и 4-5 стремятся выдержать одинаковыми. Квазирегулярные участки между маркерами 1-2 и 4-5 аппроксимируются линейными зависимостями графическим методом, методом двух точек или методом наименьших квадратов. Затем полученные теоретические прямые экстраполируются в сторону сварного соединения. Расстояние по оси ординат между этими прямыми в точке установки маркера 3 определяет искомую величину затухания сварного соединения a_c . Принцип определения затухания сварного стыка по пяти-маркерной схеме иллюстрирует рис. 5.1.

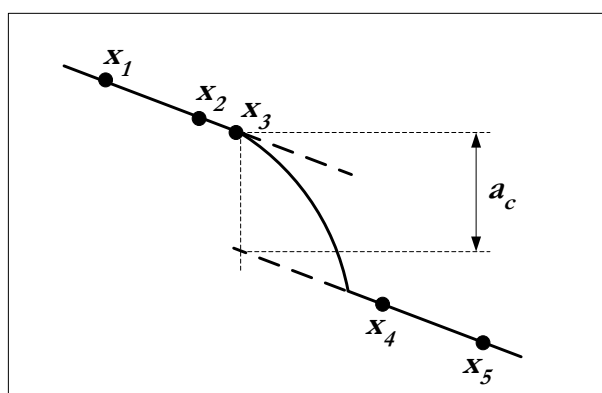


Рис. 5.1. Принцип измерения затухания стыка ОВ

Следует отметить, что для исключения систематической погрешности, при определении

затухания стыков рекомендуется производить двухсторонние измерения и результат определять в соответствии с соотношением

$$a_c = \frac{(a_c)_A + (a_c)_B}{2}$$

где $(a_c)_A$ и $(a_c)_B$ - затухания стыка измеренные со стороны А и со стороны В соответственно.

5.1. Задача

- 4.1.1. Зарисовать рефлектограмму измерений с одного конца линии в более крупном масштабе. Выбрать на ней сварное соединение к которому прилегают квазирегулярные участки с возможно большей протяженностью.
- 4.1.2. По заданной рефлектограмме определить оценку затухания на идентифицированном сварном стыке ОВ при аппроксимации: графическим методом, методом двух точек, методом наименьших квадратов.
- 4.1.3. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения затухания, приняв за истинную величину результат, полученный методом наименьших квадратов.
- 4.1.4. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 5.1 и 5.2. Результаты измерений и вычислений свести в табл. 5.3, 5.4, 5.5.

Таблица 5.1

1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NN рис.	1	11	2	12	3	14	4	16	5	6

Таблица 5.2

q	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_y , дБ/дел	2	3	6	5	4	6	3	2	5	4
C_x , км/дел	0,5	1,0	1,0	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2	1,0	0,3

Таблица 5.3

Метод двух точек					
α_1	∂B			L_1	m
α_2	∂B			L_2	m
α_3	∂B			L_3	m
α_4	∂B			L_4	m
α_5	∂B			L_5	m
$\alpha_{1,2}$					$\partial B/км$
$\alpha_{4,5}$					$\partial B/км$
$P'_S = a_2 - \alpha_{1,2}(L_3 - L_2) $					∂B
$P''_S = a_4 + \alpha_{4,5}(L_4 - L_3) $					∂B
$a_c = P''_S - P'_S$					∂B

Где a_i, L_i - координаты соответствующего маркера по оси, уровней мощности (Y) и расстоя-

ний (X) соответственно

Таблица 5.4

Метод наименьших квадратов			
Между маркерами 1-2		Между маркерами 4-5	
$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$			$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$			$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$
$A_{1,2} = \left[\sum_{i=1}^n (x_i y_i) \right] - n\bar{X} \cdot \bar{Y}$			$A_{4,5} = \left[\sum_{i=1}^n (x_i y_i) \right] - n\bar{X} \cdot \bar{Y}$
$B_{1,2} = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right] - n\bar{X}^2$			$B_{4,5} = \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 \right] - n\bar{X}^2$
$\alpha_{1,2} = \frac{A_{1,2}}{B_{1,2}}, \left[\frac{\partial B}{\partial \text{км}} \right]$			$\alpha_{4,5} = \frac{A_{4,5}}{B_{4,5}}, \left[\frac{\partial B}{\partial \text{км}} \right]$
$P'_S = a_2 - \alpha_{1,2}(L_3 - L_2) , [\text{дБ}]$			$P''_S = a_4 - \alpha_{4,5}(L_4 - L_3) , [\text{дБ}]$
$a_c = P'_S - P''_S, [\text{дБ}]$			

**В табл. 5.3. и табл. 5.4. величины $\alpha_{1,2}$ и $\alpha_{4,5}$ взять по модулю!*

В случае применения метода наименьших квадратов при аппроксимации «квазирегулярных» участков, прилегающих к сварному стыку, расстояния между маркерами 1 и 2, и 4 - 5 рекомендуется разбить на 5 равных интервалов (т.е. n=6). В приведенных в таблице 5.4 соотношениях y_i , и x_i , - координаты границ интервалов разбиения по соответствующим осям. Очевидно, что началу первого интервала разбиения y_1 ; x_1 соответствуют координаты маркера 1 - ($a_1:L_1$), а концу пятого интервала разбиения y_6 ; x_6 координаты маркера 2 - ($a_2:L_2$).

Аналогично определяются координаты интервалов разбиения при определении параметров аппроксимации на участке маркеров 4-5.

Таблица 5.5

	Метод аппроксимации		
	Наименьших квадратов	Двух точек	Графический
	дБ	дБ	дБ
Затухание стыка α_c , дБ			
Абсолютная погрешность $\Delta\alpha_c$, дБ			
Относительная погрешность δ_{α_c} , %			

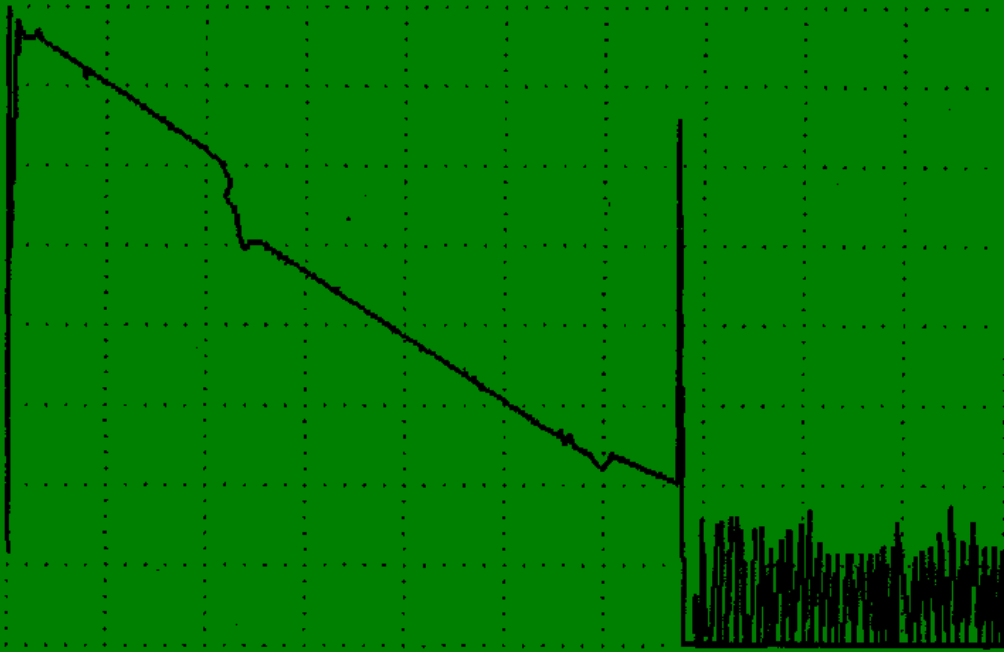


Рис. 1

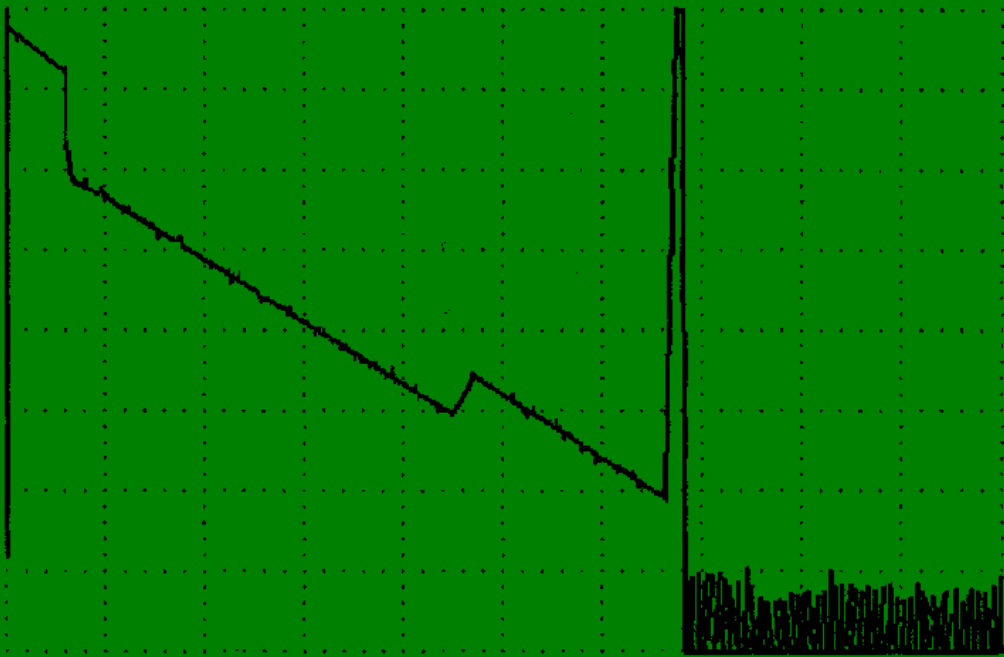


Рис. 2



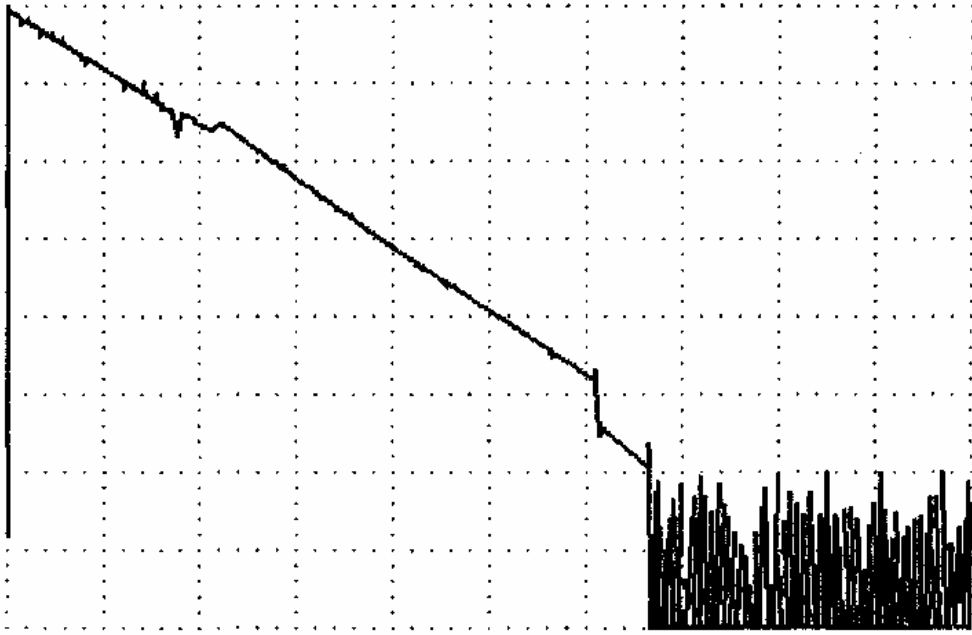


Рис. 3

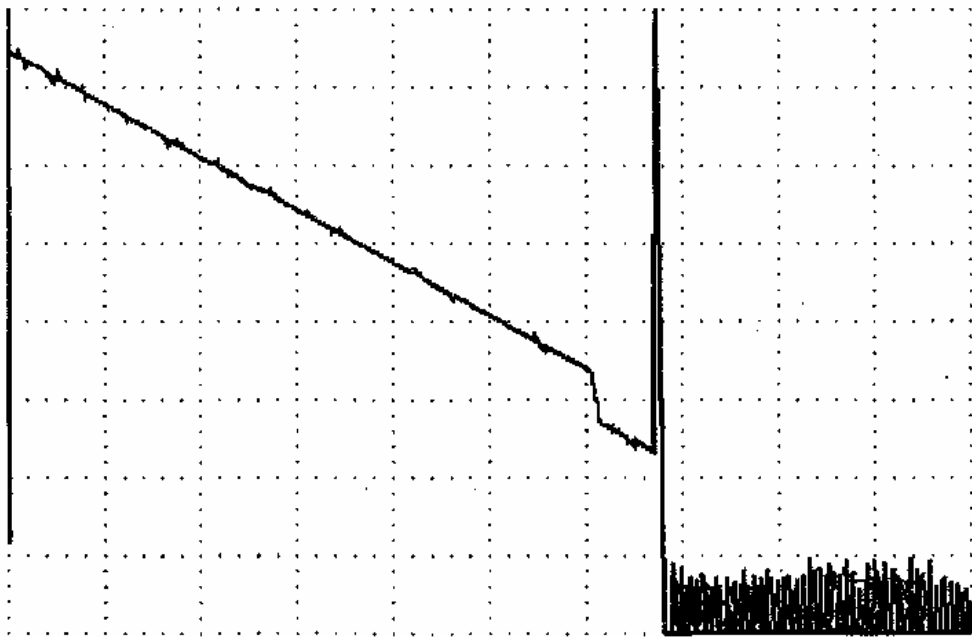


Рис. 4

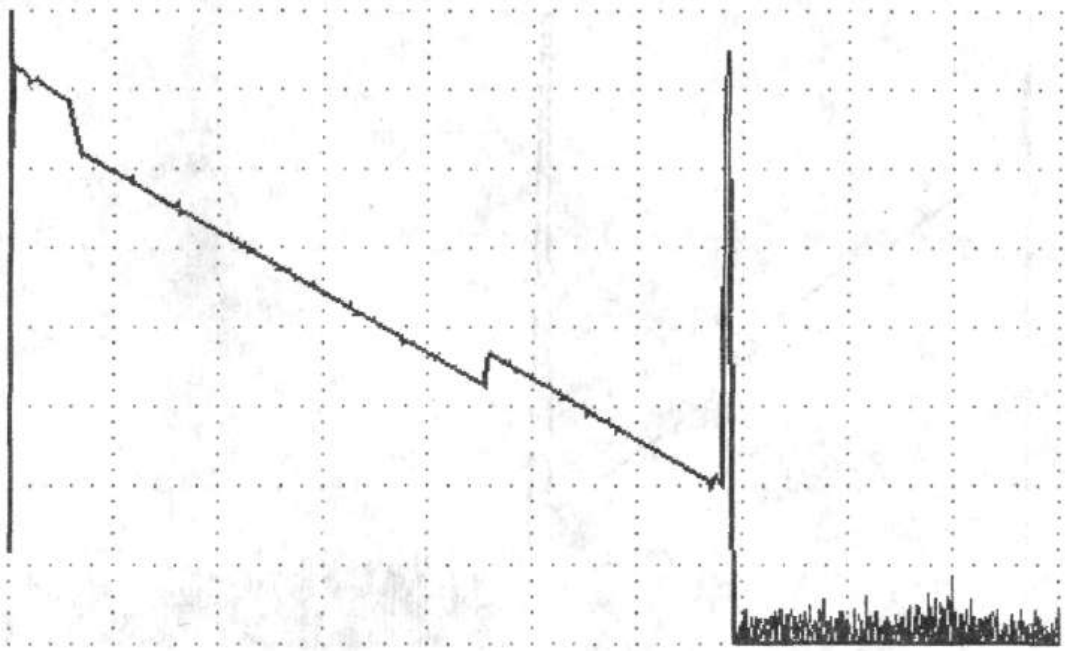


Рис. 5

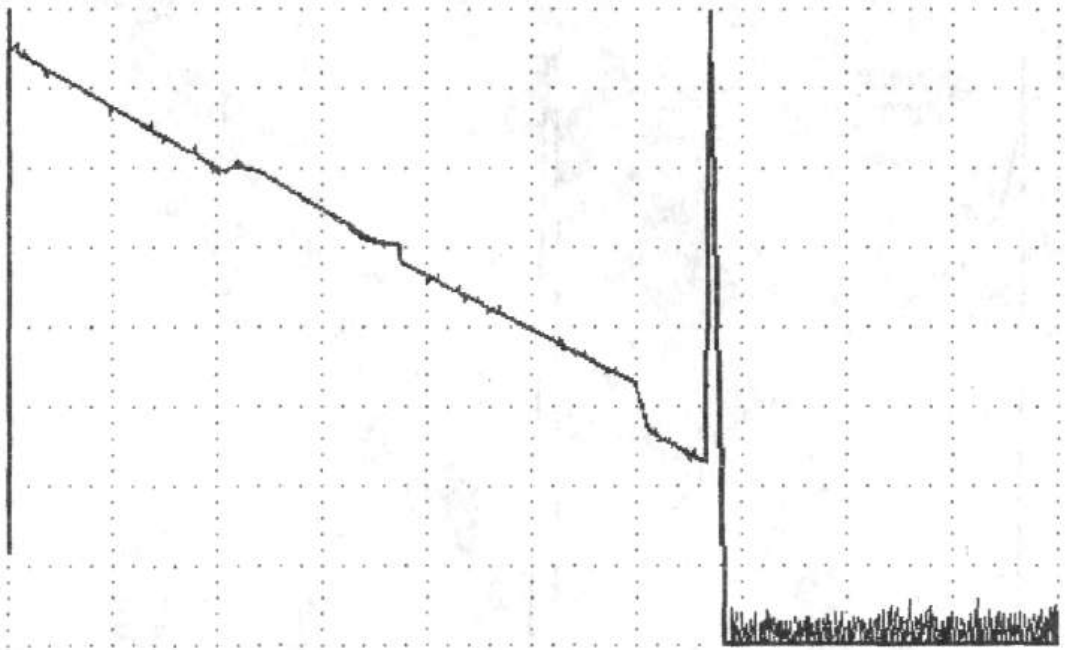


Рис. 6

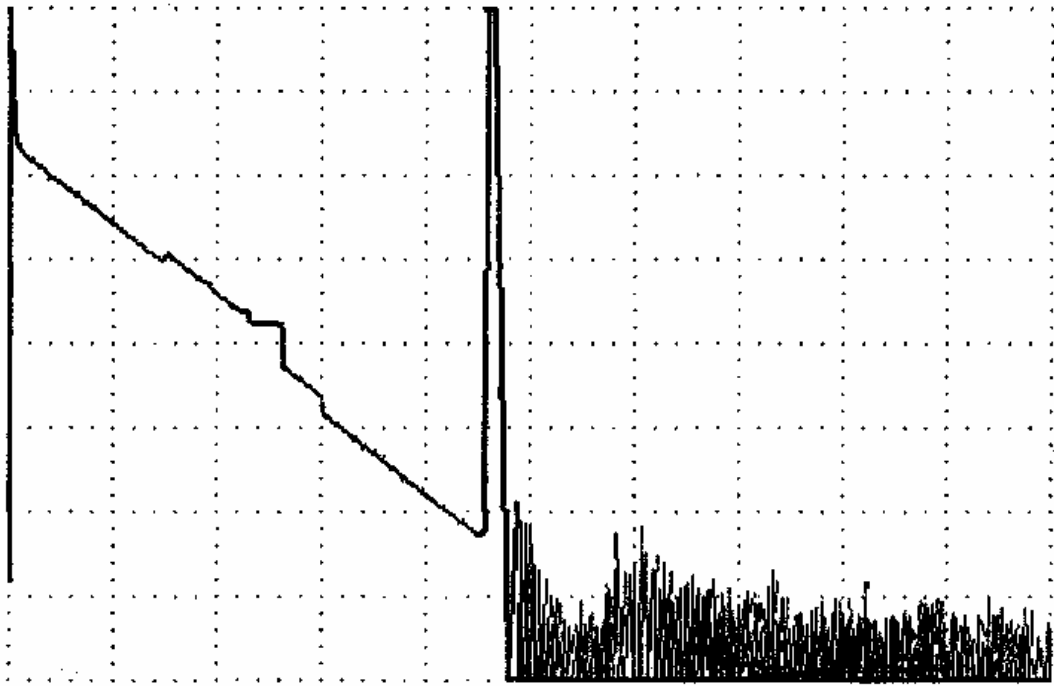


Рис. 7

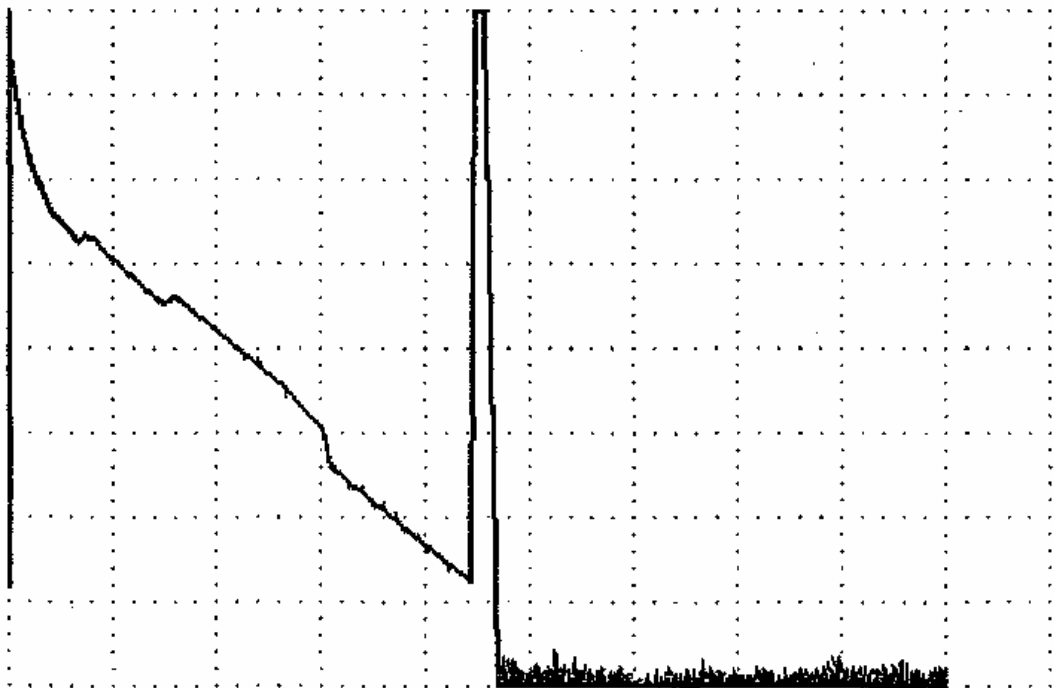


Рис. 8

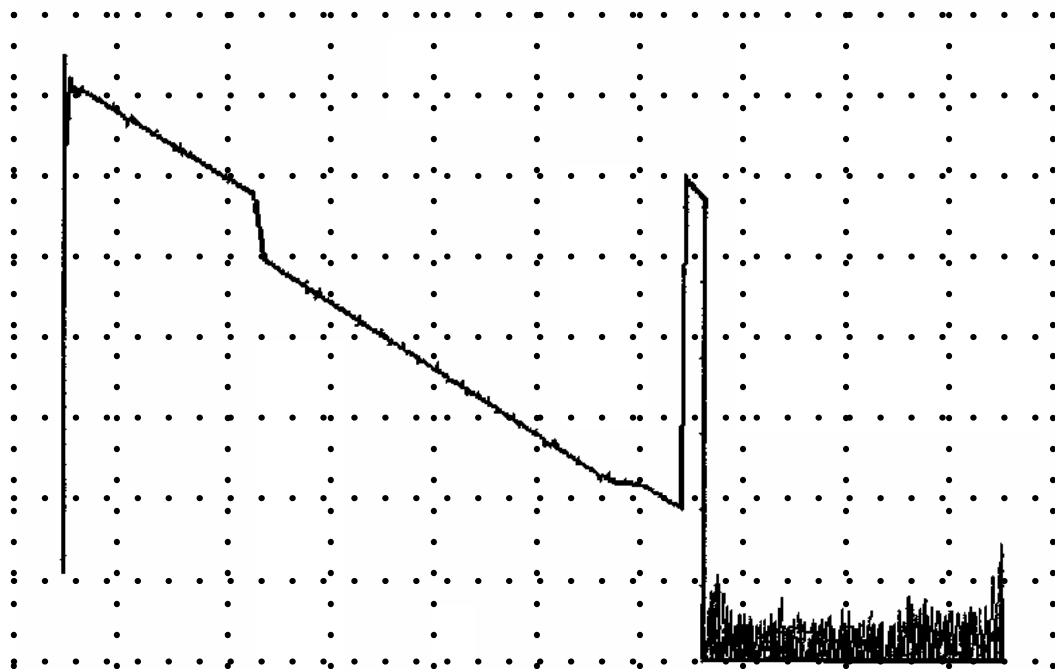


Рис 9

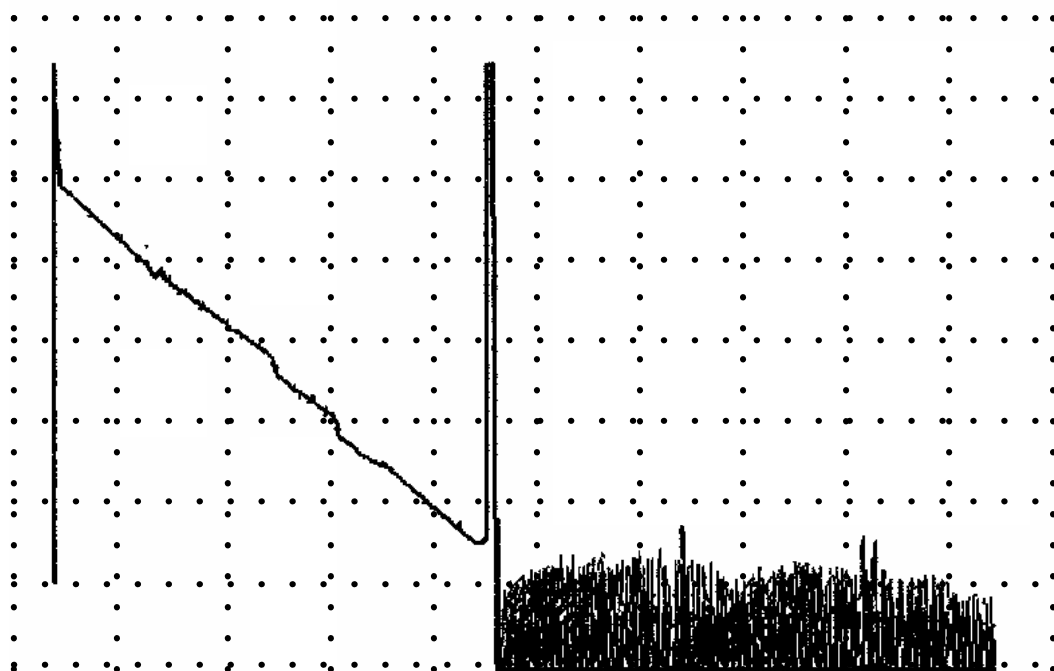


Рис 10

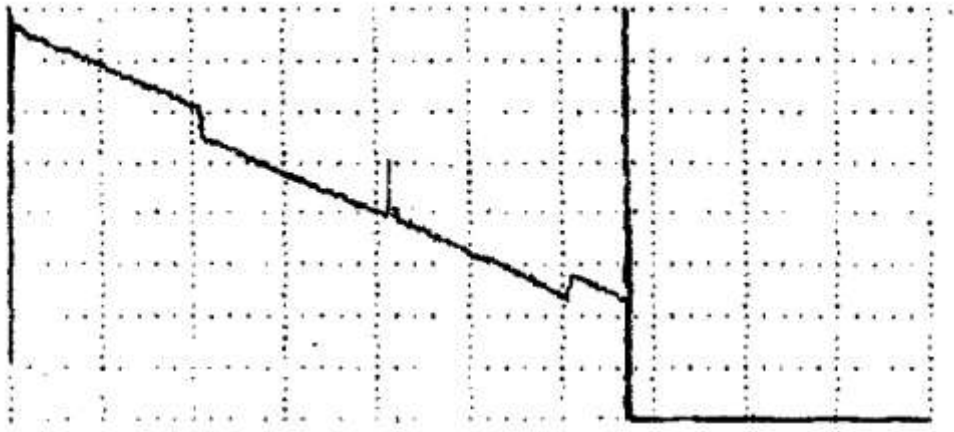


Рис. 11

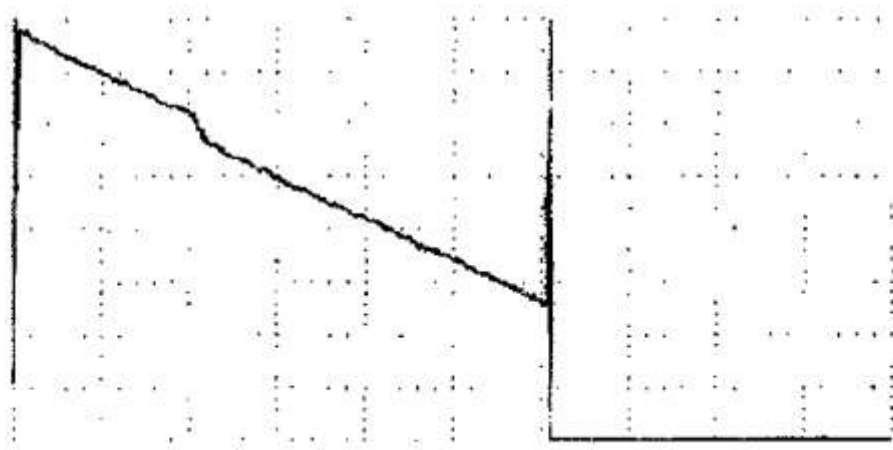


Рис. 12

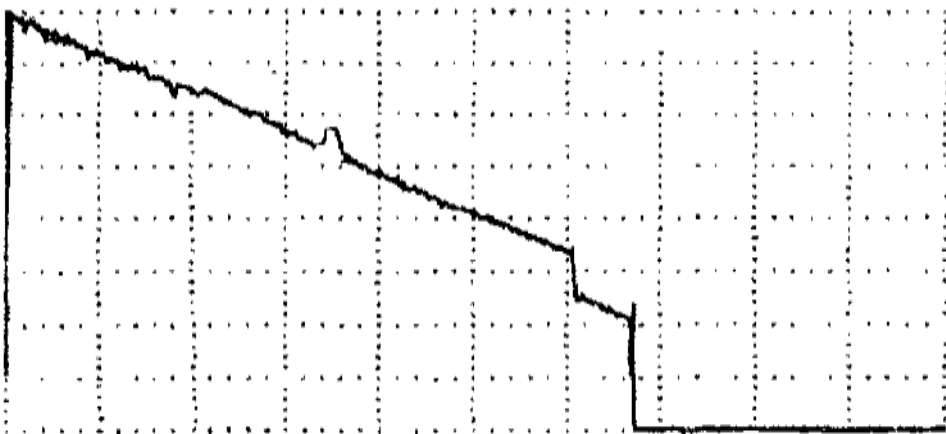


Рис. 13

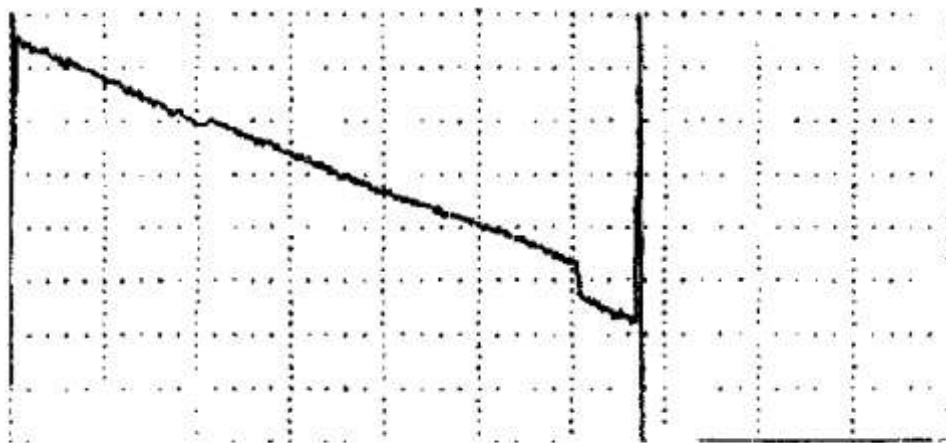


Рис. 14



Рис. 15

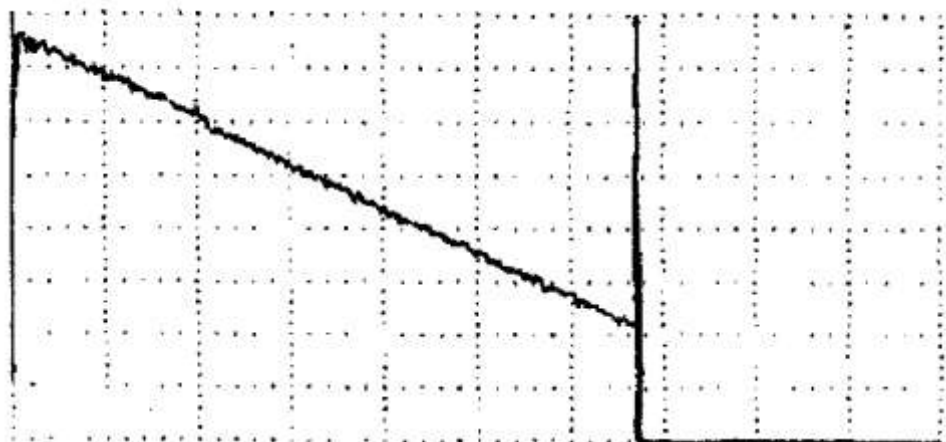


Рис. 16

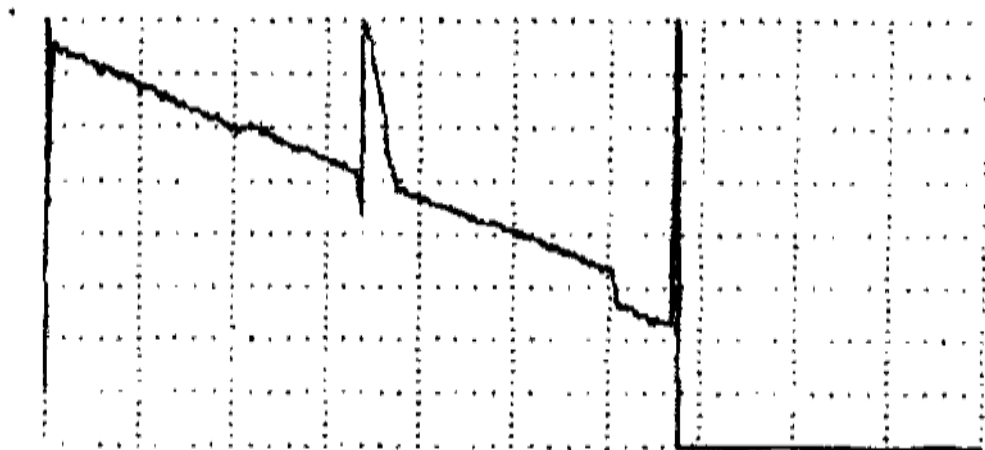


Рис. 17

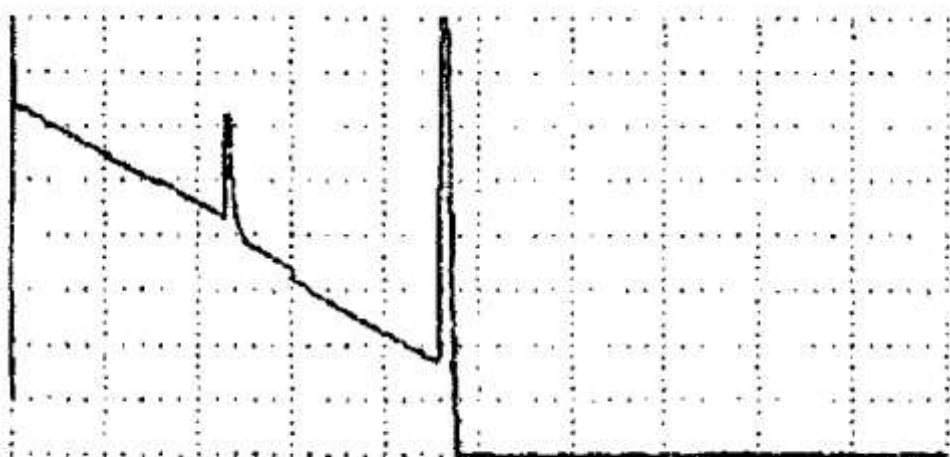


Рис. 18

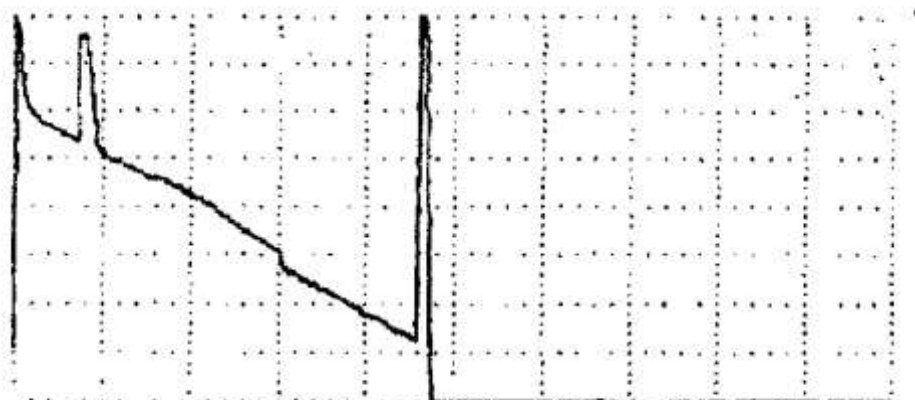


Рис. 19



Рис. 20