

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
(МФТИ)

Кафедра вакуумной электроники

**Лабораторная работа**  
*Электронно-оптический преобразователь*

**Работу выполнили:**  
студенты ФЭФМ  
группы Б04-906  
Махсудов Умар  
Никитин Вадим  
Пикулина Екатерина

г. Долгопрудный, 2021 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Теоретические сведения</b>	<b>2</b>
1.1	Роль микроканальной пластинки . . . . .	2
1.2	Схематичное устройство электронно-оптического преобразователя . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Ход работы</b>	<b>4</b>
2.1	Варьирование напряжения на катоде . . . . .	4
2.2	Варьирование напряжения на экране . . . . .	5
2.3	Варьирование напряжения на МКП . . . . .	6
2.4	Варьирование напряжения на катоде в режиме теневого тока . . . . .	7
2.5	Варьирование напряжения на МКП в режиме теневого тока . . . . .	8
2.6	Исследование граничного режима . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Вывод</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Применение ЭОП</b>	<b>11</b>

**Цель работы:** исследовать влияние изменения разности потенциалов на элементах конструкции электронно-оптического преобразователя и проследить его отклик.

## 1 Теоретические сведения

### 1.1 Роль микроканальной пластинки

**Электронно-оптический преобразователь** (далее ЭОП) представляет собой электровакуумную колбу, внутри которой размещены фотокатод, люминесцентный экран, фокусирующая и ускоряющая электронно-оптические системы. В ЭОП, используемом в лабораторной работе для усиления электрического тока, применяется *микроканальная пластинка* (далее МКП).

**Микроканальная пластинка** представляет собой многоканальный электронный умножитель. Конструктивно МКП – это "сотовая" структура, образованная большим числом стеклянных каналов. Обычно диаметр канала находится в диапазоне 2-15 мкм, а типичный период каналов 5-25 мкм, что обеспечивает плотность от 0.5 до 5 миллионов каналов на  $1\text{см}^2$ . Размеры МКП варьируются от нескольких миллиметров и до десятков сантиметров.

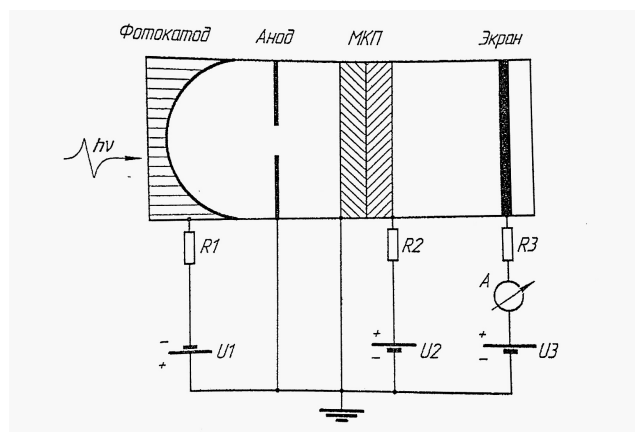
По сравнению с традиционными фотоэлектронными умножителями, МКП имеют **малые габариты**, лучшие **временные характеристики** и заметно **меньшую чувствительность** к магнитным полям. Обычно сопротивление внутренней поверхности канала находится в диапазоне от 20 до 1000 МОм. Для нормальной работы МКП требуется вакуум на уровне не хуже 10 - 4 Па. Когда налетающий электрон попадает в канал, то из стенки канала выбиваются вторичные электроны, которые ускоряются электрическим полем вдоль канала. Электрическое поле внутри канала создается путем приложения напряжения между поверхностям МКП (концами каналов). Вторичные электроны летят, пока не попадут на стенку, в свою очередь, выбивая ещё большее количество вторичных электронов. Этот процесс по мере пролета по каналу повторяется много раз и на выходе канала формируется электронная лавина. Для того, чтобы исключить прямой пролет первичного электрона, а также подавить обратную связь (когда фотоны, испущенные с экрана после МКП, поглощаются в канале МКП и вызывают фотоэмиссию), ось каналов обычно наклонена на 5 - 15 градусов от нормали к поверхности МКП.

МКП обычно характеризуют **коэффициентом усиления**, который определяется обычно как отношение выходного тока к входному. Для однокаскадной МКП коэффициент усиления при оптимальном напряжении составляет  $10^4$ . Если напряжение ниже некоторого порогового значения, то вторичные электроны при пролёте между стенками не успевают набрать достаточной энергии для увеличения коэффициента усиления. Поэтому применяют каскадирование МКП. Например, для двух каскадов можно добиться коэффициента усиления  $10^7$ , а для трёх -  $10^9$ .

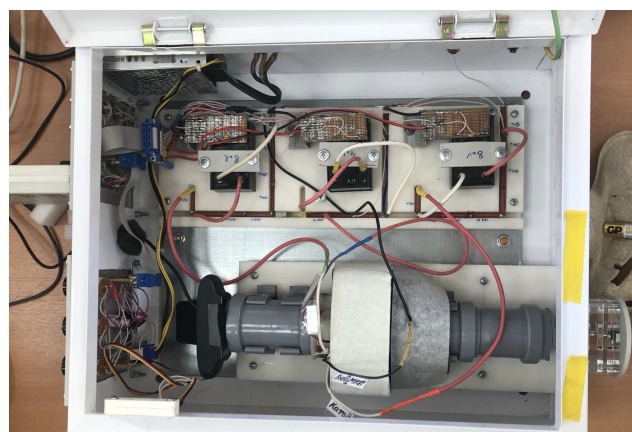
### 1.2 Схематичное устройство электронно-оптического преобразователя

Схематично внутреннее устройство ЭОП и схема его электрического включения показаны на рисунке 1. Входное оптическое излучение попадает на **фотокатод** (далее ФК). Так как поверхность фотокатода, должна быть сферой сравнительно большого радиуса, то для удобства практического применения фотокатод изготовлен на **стекловолокон-**

ной шайбе, плоской со стороны входа оптического излучения и сферической со стороны нанесения фоточувствительного слоя ФК.



(а)



(б)

Рис. 1: Экспериментальная установка: (а) принципиальная схема; (б) рабочая система

**Стекловолоконная шайба** состоит из большого числа стеклянных волокон, спеченных между собой, что позволяет использовать такую шайбу в качестве вакуумноплотной стенки оболочки ЭОП. Каждое волокно транспортирует оптическое излучение с входной плоскости ЭОП к фоточувствительному слою ФК. Фотокатод испускает электроны, которые ускоряются в поле между катодом и анодом. В работе используется ЭОП с мультищелочным фотокатодом. Сферическая форма фотокатода и специально подобранная форма анода образуют иммерсионную электронную линзу, которая формирует изображение поверхности катода во входной плоскости микроканальной пластины (МКП).

Потенциал входной плоскости МКП равен потенциалу анода и для удобства принят за нулевой потенциал. На фотокатод подается отрицательное напряжение до - 4000 В. В данной работе используется ЭОП с двухкаскадной микроканальной пластиной. Напряжение на МКП в зависимости от требуемого коэффициента усиления измеряется в диапазоне от 0 до 1500 В. Поток электронов, усиленный МКП, ускоряется в промежутке между выходной плоскостью МКП и экраном. Ускоряющее напряжение на экране обычно составляет от +3500 до +4000 В. Экран покрыт люминофором, который при электронном возбуждении обеспечивает свечение в зеленой области видимого спектра. Изображение на экране регистрируется с помощью видеокамеры.

## 2 Ход работы

Было проведено несколько измерений, при которых напряжения на МКП, экране и катоде последовательно варьировались при других фиксированных.

### 2.1 Варьирование напряжения на катоде

Зафиксируем напряжение на микроканальной пластине ( $U_{\text{МКП}} = 2 \text{ кВ}$ ) и на экране ( $U_{\text{экр}} = 3 \text{ кВ}$ ). Снимем зависимости токов от напряжения на катоде. Результаты занесём в таблицу 1:

$U_{\text{кат}}, \text{кВ}$	$I_{\text{кат}}, \text{мкА}$	$I_{\text{МКП}}, \text{мкА}$	$I_{\text{экр}}, \text{мкА}$	$I_{\text{ан}}, \text{мкА}$
1,00	0,02	8,90	0,01	4,49
1,41	0,02	8,90	0,01	4,49
1,78	0,02	8,90	0,03	4,50
2,20	0,03	8,90	0,04	4,51
2,59	0,03	8,90	0,09	4,53
3,00	0,03	8,90	0,12	4,56
3,40	0,03	8,90	0,15	4,58
3,80	0,02	8,90	0,16	4,58
4,20	0,03	8,90	0,18	4,59
4,26	0,03	8,90	0,18	4,60

Таблица 1: Варьирование напряжения на катоде

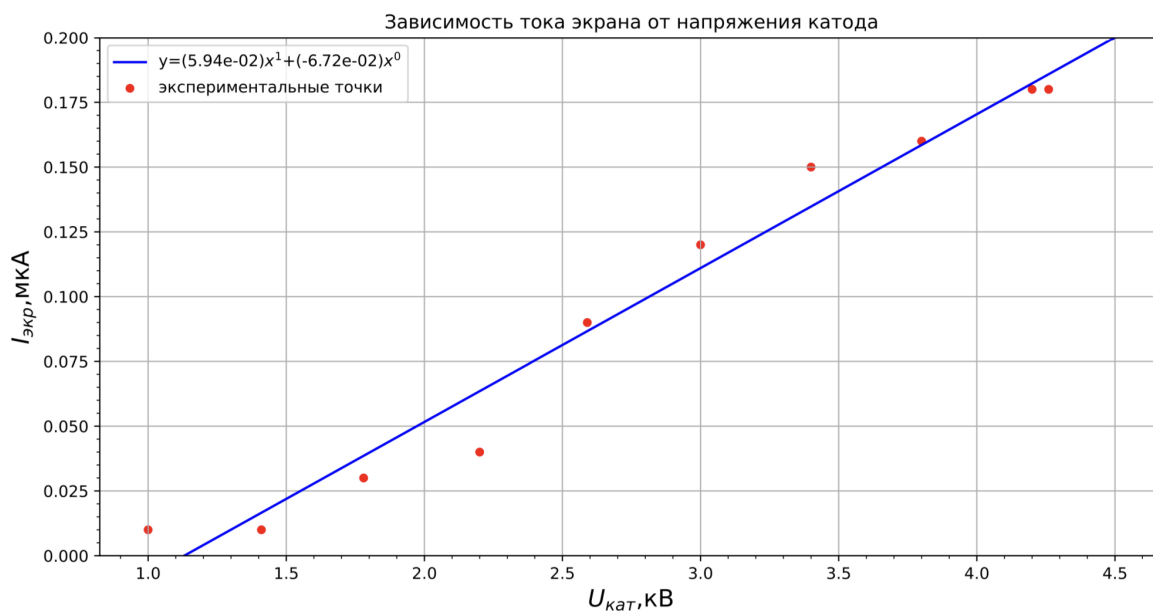


Рис. 2: Зависимость тока экрана от напряжения катода

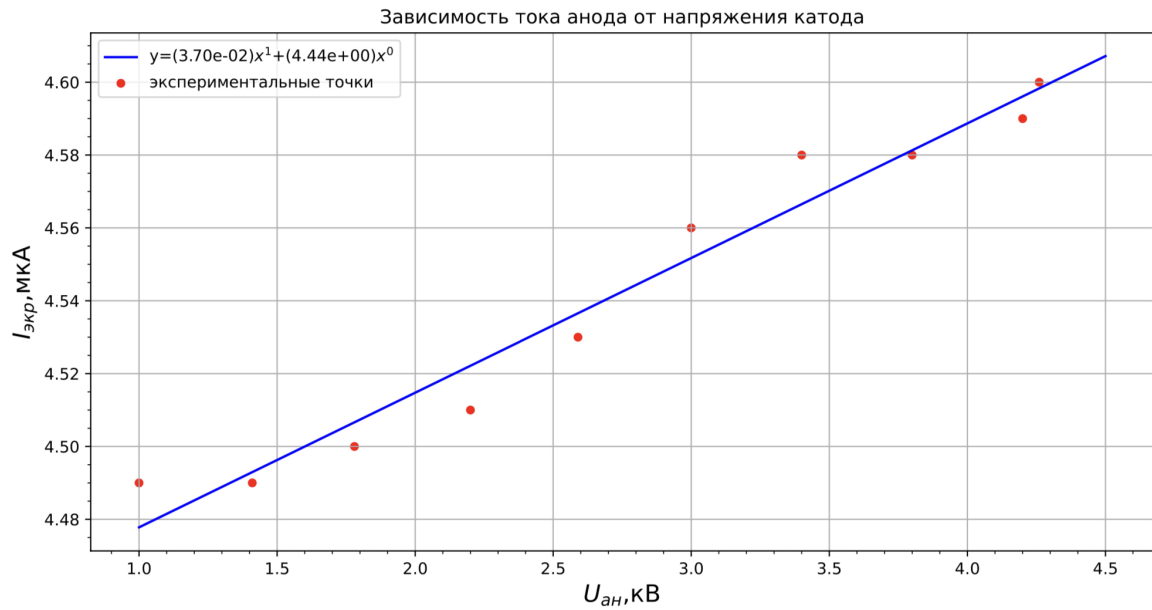


Рис. 3: Зависимость тока анода от напряжения катода

## 2.2 Варьирование напряжения на экране

Зафиксируем напряжение на катоде ( $U_{кат} = 3 \text{ кВ}$ ) и на микроканальной пластине ( $U_{экр} = 2 \text{ кВ}$ ). Снимем зависимости токов от напряжения на экране. Результаты занесём в таблицу 2:

$U_{экр}, \text{кВ}$	$I_{кат}, \text{мкА}$	$I_{мп}, \text{мкА}$	$I_{экр}, \text{мкА}$	$I_{ан}, \text{мкА}$
1	0,03	9,00	0,09	4,6
1,3	0,02	9,00	0,1	4,6
1,6	0,02	9,00	0,1	4,6
1,9	0,02	9,00	0,11	4,6
2,2	0,02	9,00	0,11	4,6
2,5	0,02	9,00	0,11	4,6
2,82	0,02	9,00	0,12	4,6
3,1	0,02	8,98	0,12	4,6
3,4	0,03	8,96	0,12	4,6
3,7	0,03	8,97	0,12	4,6
3,84	0,02	8,97	0,12	4,6

Таблица 2: Варьирование напряжения на экране

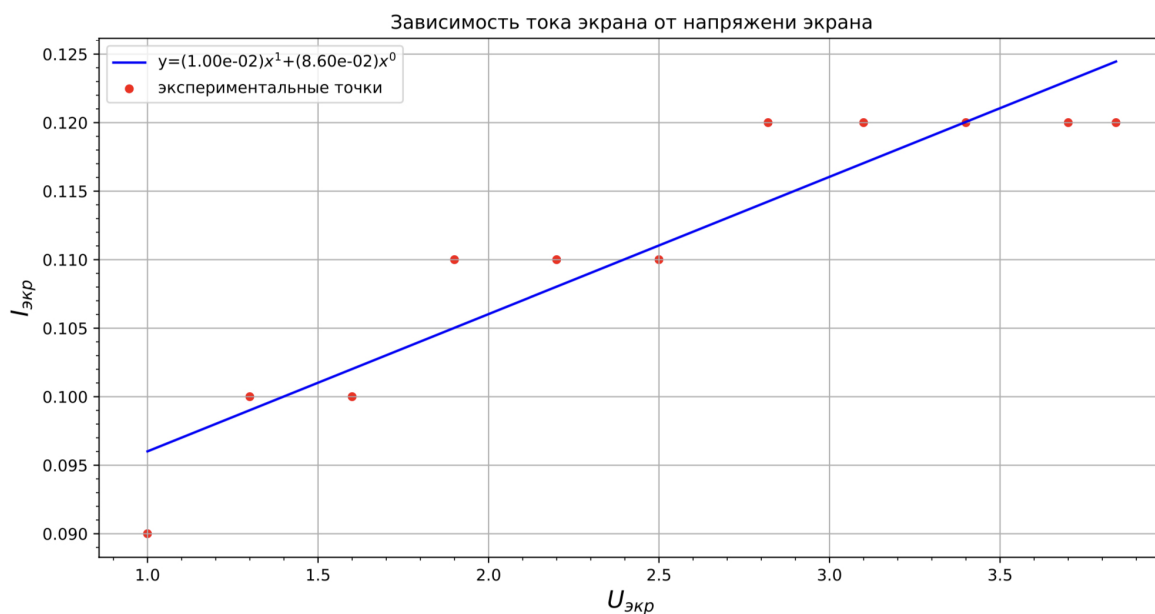


Рис. 4: Зависимоть тока экрана от напряжения экрана

## 2.3 Варьирование напряжения на МКП

Зафиксируем напряжение на катоде ( $U_{\text{кат}} = 3 \text{ кВ}$ ) и на экране ( $U_{\text{экp}} = 3 \text{ кВ}$ ). Снимем зависимости токов от напряжения на микроканальной пластине. Результаты занесём в таблицу 3:

$U_{\text{МКП}}, \text{ кВ}$	$I_{\text{кат}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{МКП}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{экp}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{ан}}, \text{ мкА}$
0,50	0,02	2,09	0,02	1,04
0,75	0,02	3,12	0,02	1,50
1,00	0,02	4,22	0,02	2,11
1,25	0,02	5,32	0,02	2,68
1,50	0,02	6,45	0,02	3,26
1,75	0,02	7,65	0,04	3,87
2,00	0,03	8,89	0,13	4,56

Таблица 3: Варьирование напряжения на МКП

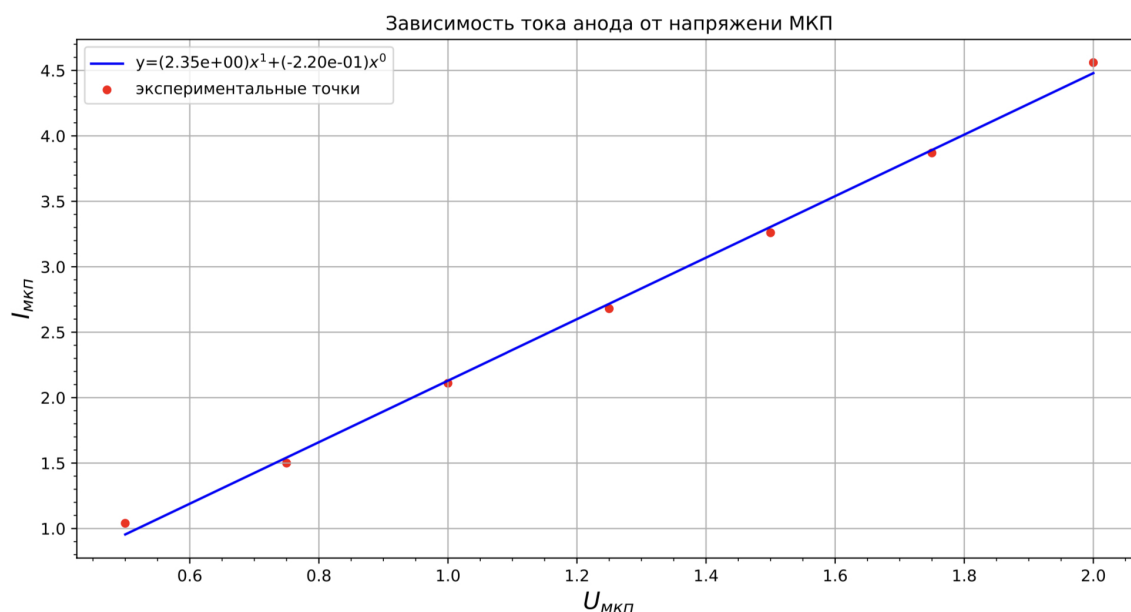


Рис. 5: Зависимость тока анода от напряжения МКП

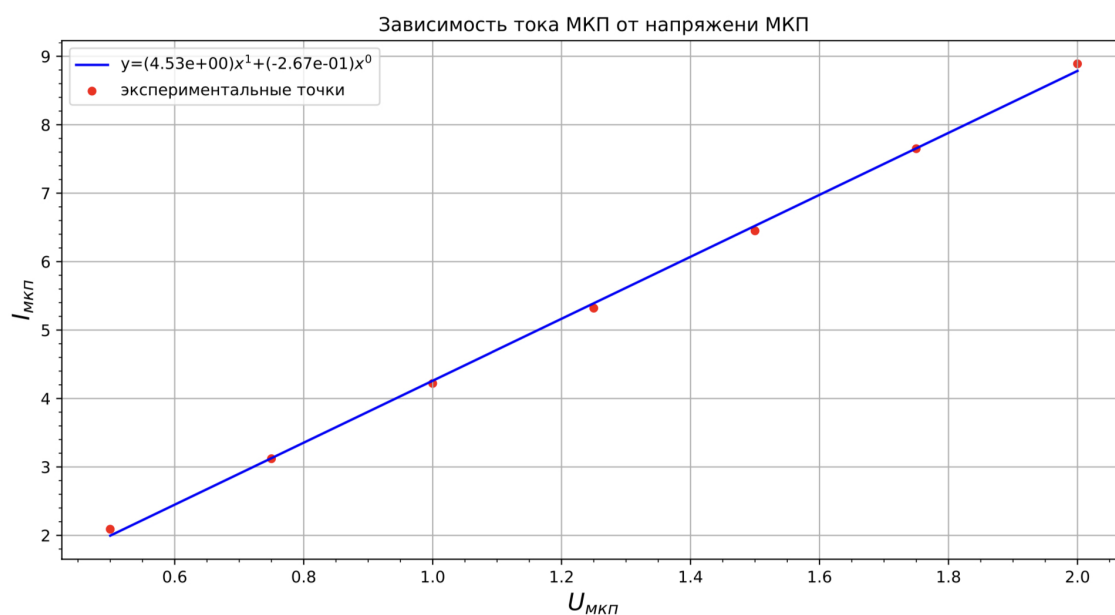


Рис. 6: Зависимость тока МКП от напряжения МКП

## 2.4 Варьирование напряжения на катоде в режиме теневого тока

Отключим освещение в камере и проведем аналогичные пункту 1 измерения. Зафиксируем напряжение на микроканальной пластине ( $U_{МКП} = 2$  кВ) и на экране ( $U_{экp} = 3$  кВ). Снимем зависимости токов от напряжения на катоде. Результаты занесём в таблицу 4:



$U_{\text{кат}}, \text{кВ}$	$I_{\text{кат}}, \text{мкА}$	$I_{\text{мкп}}, \text{мкА}$	$I_{\text{экp}}, \text{мкА}$	$I_{\text{ан}}, \text{мкА}$
1,02	0,01	8,98	0,01	4,53
1,30	0,01	8,98	0,01	4,53
1,60	0,01	8,98	0,02	4,53
1,90	0,01	8,99	0,01	4,53
2,20	0,02	8,98	0,01	4,54
2,50	0,02	8,98	0,02	4,53
2,80	0,02	8,98	0,01	4,53
3,10	0,03	8,99	0,02	4,53
3,40	0,03	8,99	0,01	4,54
3,70	0,03	8,99	0,01	4,54
4,00	0,03	8,99	0,02	4,53
4,25	0,03	8,99	0,01	4,54

Таблица 4: Варьирование напряжения на катоде в режиме теневого тока

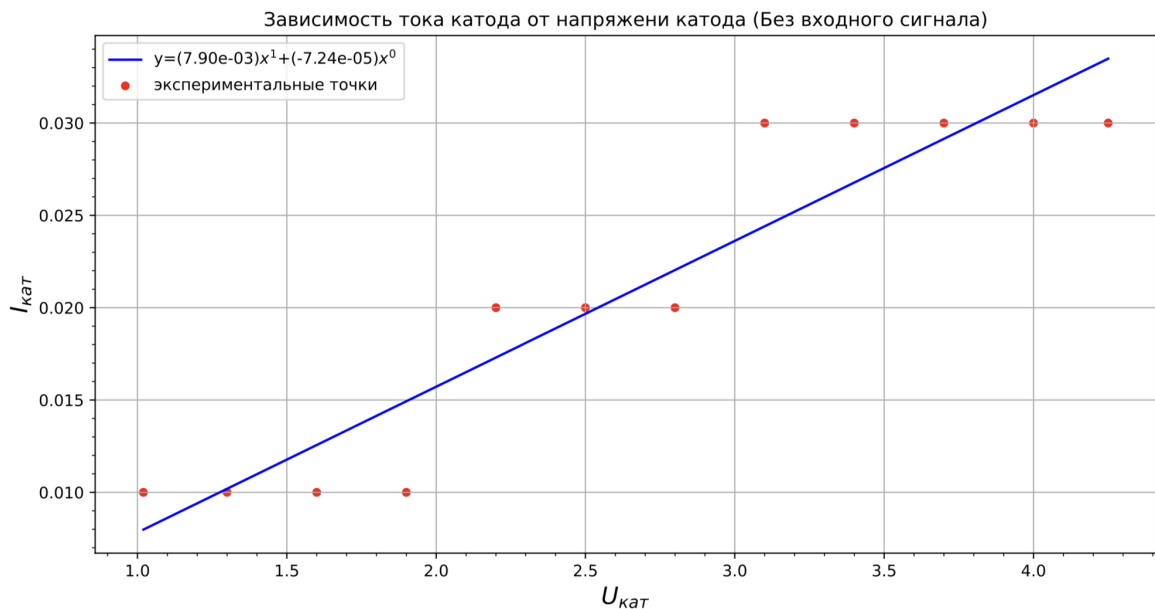


Рис. 7: Зависимость тока катода от напряжения катода (без входного сигнала)

## 2.5 Варьирование напряжения на МКП в режиме теневого тока

Проведем аналогичные пункту 2 измерения (в теновом режиме). Зафиксируем напряжение на катоде ( $U_{\text{мкп}} = 3 \text{ кВ}$ ) и на экране ( $U_{\text{экp}} = 3 \text{ кВ}$ ). Снимем зависимости токов от напряжения на микроканальной пластине. Результаты занесём в таблицу 5:

$U_{\text{МКП}}, \text{кВ}$	$I_{\text{кат}}, \text{мкА}$	$I_{\text{МКП}}, \text{мкА}$	$I_{\text{экp}}, \text{мкА}$	$I_{\text{ан}}, \text{мкА}$
0,50	0,01	2,08	0,01	1,03
0,65	0,01	2,72	0,01	1,36
0,80	0,01	3,36	0,01	1,69
0,95	0,02	4,00	0,02	2,01
1,10	0,02	4,67	0,01	2,35
1,25	0,02	5,34	0,02	2,68
1,40	0,02	6,01	0,02	3,03
1,55	0,02	6,75	0,02	3,41
1,70	0,02	7,46	0,02	3,77
1,85	0,02	8,17	0,02	4,13
2,00	0,02	8,96	0,01	4,53

Таблица 5: Варьирование напряжения на МКП в режиме теневого тока

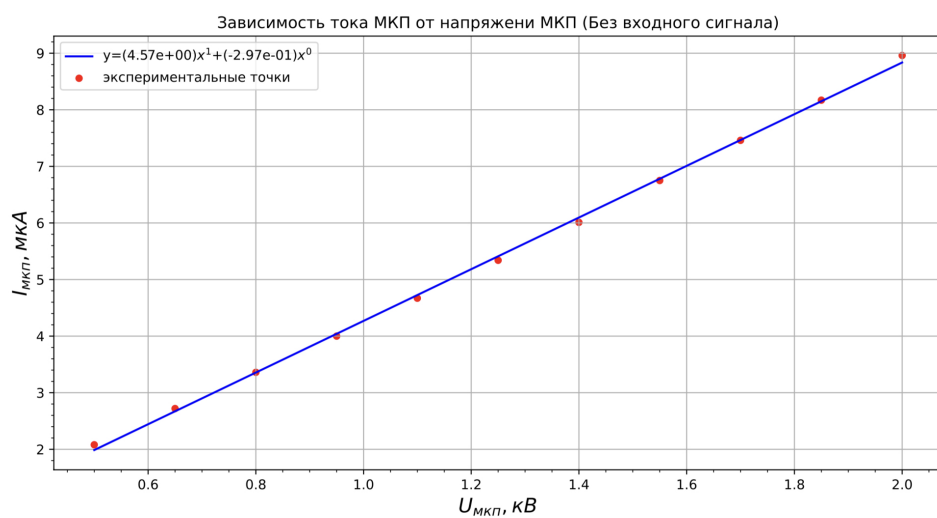


Рис. 8: Зависимость тока МКП от напряжения МКП (без входного сигнала)

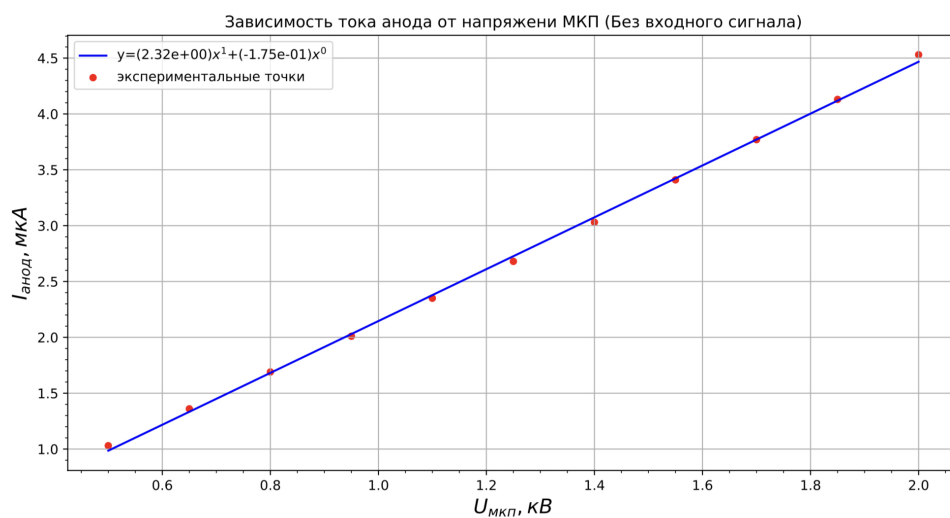


Рис. 9: Зависимость тока анода от напряжения МКП (без входного сигнала)

## 2.6 Исследование граничного режима

Исследуем зависимость напряжения на микроканальной пластине от напряжения катода в граничном режиме - будем записывать значения  $U_{\text{мкп}}$  в тот момент, когда изображение только начинает появляться на экране компьютера. При этом уместно определить погрешность этих измерений следующим образом. Предложить каждому из участников эксперимента определить: наблюдается ли в данный момент какое-либо изображение, или оно отсутствует. Благодаря тому, что у каждого человека границы наблюдения свои, можно определить, с какой точностью проводились данные измерения. Подробные результаты, как обычно, занесём в таблицу 6:

$U_{\text{кат}}, \text{кВ}$	1,75	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,71	2,89	3,10	3,41	3,60	3,80	4,00	4,20
$U_{\text{мкп}}, \text{кВ}$	1,82	1,65	1,50	1,40	1,30	1,20	1,17	1,15	1,14	0,90	1,02	1,02	1,02	1,02

Таблица 6: Зависимость  $U_{\text{мкп}}$  от  $U_{\text{кат}}$  в граничном режиме

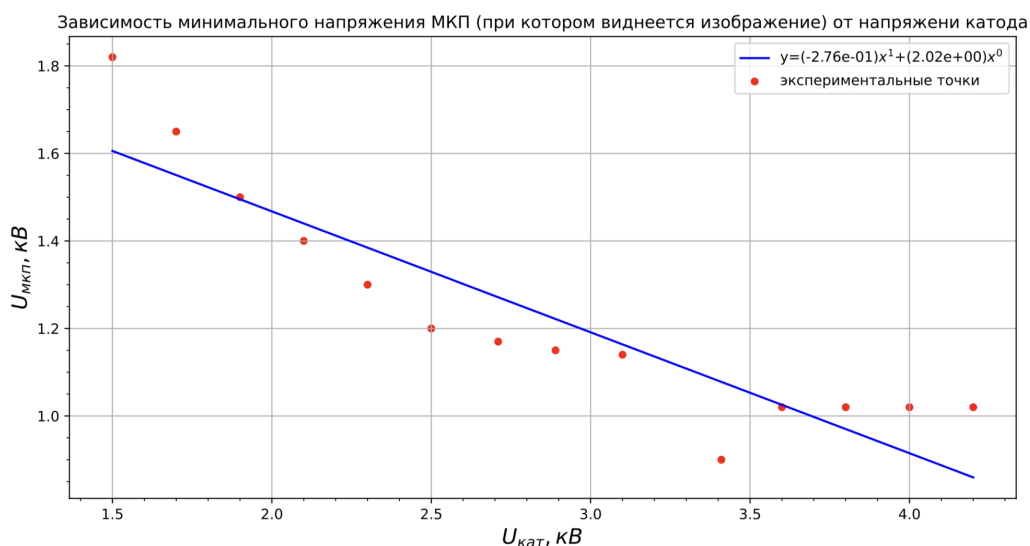


Рис. 10: Зависимость минимального напряжения МКП от напряжения катода

## 3 Вывод

В работе были проведены наблюдения за взаимными зависимостями электрических параметров в схеме ЭОП; фиксировали изменения изображения и токов в различных деталях установки при варьировании напряжений. Получили значения для зависимости минимального напряжения МКП, при котором наблюдается изображение, от напряжения на катоде.

## 4 Применение ЭОП

Электронно-оптические преобразователи применяются в:

- ИК-технике,
- спектроскопии,
- медицине,
- микробиологии,
- ядерной физике,
- астрономии
- и других областях.

Их используют при оптических и микроскопических исследованиях, для наблюдения малоконтрастных и слабоосвещённых объектов, для видения в темноте (при освещении объектов ИК-лучами) и т. д. Созданы ЭОП для регистрации быстропротекающих процессов со световым, рентгеновским и корпускулярным излучением (временное разрешение 10 пс).

## Список литературы

- [1] Лабораторная работа "Электронно-оптический преобразователь" по курсу "Вакуумная электроника". - Долгопрудный: МФТИ, 2021. - 5 с.
- [2] Электронно-оптические преобразователи / Зайдель И. Н., Куренков Г. И. - М.: Изд-во "Советское радио 1970. - 56 с.
- [3] Большая Российская энциклопедия / bigenc.ru