

“Компьютерное моделирование работы канального умножителя в приборах ночного видения”



Ключевые слова

- Микроканальный умножитель
- Микроканальная пластина (МКП)
- Электронно-оптический преобразователь (ЭОП)
- Прибор ночного видения (ПНВ)
- Моделирование физических процессов
- Компьютерная модель Геста
- Метод частиц
- Нелинейный режим усиления
- Фактор шума
- Распараллеливание вычислений
- Сетевые технологии.

Цели и задачи проекта

- **Создание компьютерной модели канального умножителя работающего в нелинейных режимах усиления**
- **Разработка компьютерной модели расчета шумов в МКП с учетом новых экспериментальных и теоретических данных**
- **Исследование шумовых характеристик микроканальных пластин (МКП) нового поколения на основе нелинейной модели усиления.**

Актуальность проекта

- Новые поколения МКП с диаметром каналов 5-6 мкм позволяют реализовать режим так называемого зарядового насыщения при напряжениях примерно 800-850 В. В этом режиме выходные импульсы приобретают плоскую вершину с почти одинаковой для всех импульсов амплитудой. Работа каналов в данном режиме просто ограничивает усиление каналов и не нарушает линейную передачу изображения. Очень существенно, что при этом резко уменьшаются (демпфируются) временные флуктуации коэффициента усиления. Следовательно, в этом режиме основной шумовой параметр МКП - фактор шума, в несколько раз уменьшается. На базе МКП нового поколения, работающих в режиме зарядового насыщения, предполагается разработка электронно-оптических преобразователей (ЭОП) нового поколения с существенно лучшими параметрами.

Содержание проекта и основные требования к проведению исследования

Предметом исследования является МКП нового поколения с диаметром каналов 5-6 мкм, в которых влияние поверхностного и объемного зарядов в канале на процессы усиления весьма велико. Для таких МКП даже при типовых рабочих напряжениях использование линейных моделей усиления приводят к существенным отличиям с экспериментальными кривыми. Для достижения поставленной цели необходимо использовать модель работы МКП с обязательным учетом влияния поверхностного и объемного зарядов.

Исходя из таких требований проект должен включать в себя решение следующих вопросов:

- анализ результатов экспериментов, связанных с усилительными и шумовыми характеристиками МКП;
- уточнение физической модели с целью расчета фактора шума;
- доработку математической модели;
- создание компьютерной модели с учетом новых экспериментальных и теоретических данных.

Ожидаемые научно-технические и прикладные результаты

- **Научные результаты:**
- создание более адекватных, чем существующие, математических моделей процессов, происходящих в микроканальных пластинах
- использование алгоритмов, позволяющих реализовать расчет физических процессов с использованием метода частиц, и допускающие возможность распараллеливания процесса вычислений в ЛВС для повышения скорости обработки
- **Прикладные результаты:**
- получение более точных характеристик канала
- расчет шумовых характеристик нового поколения МКП
- исследование работы каналов данных МКП в нелинейном режиме

Приборы ночного видения

Несовершенство собственной природы, компенсируемое гибкостью интеллекта, непрерывно толкало человека к поиску. Желание летать как птица, плавать как рыба, или, скажем, видеть ночью подобно кошке, воплощались в действительность по мере достижения требуемых знаний и технологий. Научные изыскания часто подстегивались нуждами военной деятельности, а результаты определялись существующим технологическим уровнем.



Расширение диапазона зрения для визуализации недоступной для глаз информации является одной из наиболее трудных задач, так как требует серьезной научной подготовки и значительной технико-экономической базы. Первые успешные результаты в этом направлении были получены в 30-х годах XX века. Особенную актуальность проблема наблюдения в условиях низкой освещенности приобрела в ходе Второй мировой войны. Ее практическая реализация предоставила возможность действовать в сумерках и ночью без использования источников видимого света.

Первые успехи применения техники ночного видения, еще не осознанные общественностью, сделали войну при свете звезд мечтой военных специалистов. На достижение результатов были затрачены колоссальные средства, выделяемые как правительствами, так и ведущими фирмами развитых стран. О “победе над ночью” заговорили уже во время войны в Персидском заливе. Последующие конфликты в Югославии и Чечне сделали ночной бой неизбежным атрибутом современной войны.



Естественно, усилия, затраченные в этом направлении, привели к прогрессу в научных исследованиях, медицине, техники связи и других областях. Адаптированные для индивидуального использования, аналоги военной техники находят все более широкое применение для нужд правоохранительных органов, служб охраны, спасения, задач навигации, среди любителей ночной охоты и т.п. Изменение конъюнктуры рынка, ставшей следствием глобальной реструктуризации экономики из-за падения ряда политических барьеров в последние десятилетия, привело к стремительной коммерциализации продукции современного высокотехнологичного производства. В итоге, результаты научно-технических разработок, основанные на знаниях о волнах оптического диапазона не только видимой области спектра, но и инфракрасного (ИК) излучения, сегодня стали доступными потребительским товарам.

Приборы ночного видения могут применяться в следующих сферах деятельности:

- - ночном наблюдении
- ночных фото и видеосъемках
- при проведении военных и специальных операций
- патрулировании
- охране объектов
- навигации воздушных и морских судов
- охоте и наблюдении за животными

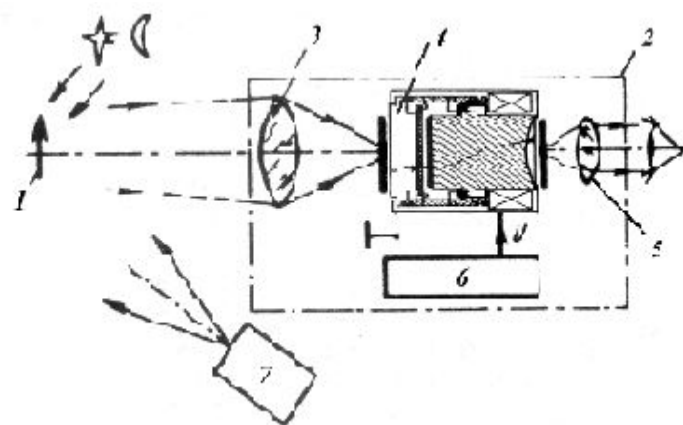


Устройство современного прибора НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Каждый ПНВ работает на принципе многократного усиления яркости изображения в области видимого и ближнего инфракрасного спектра излучений. Прибор состоит из объектива, электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с блоком питания и окуляра. Отраженный от объекта наблюдения свет через объектив создает изображение на входе (катоде) ЭОП, которое электронным способом усиливается и проецируется в желто-зеленом свечении на выходном экране преобразователя, затем передается через окуляр на глаз наблюдателя.

В основном качество ПНВ определяется характеристиками ЭОП и оптикой. По принятой в мире терминологии ЭОП классифицируются на три поколения - I, II и III (с некоторыми промежуточными степенями I+, II+).

- 1. Объект наблюдения
- 2. Корпус ПНВ
- 3. Объектив
- 4. ЭОП со встроенными МКП, ВОЭ и ВИП
- 5. Окуляр
- 6. Элементы питания
- 7. ИК-подсветка



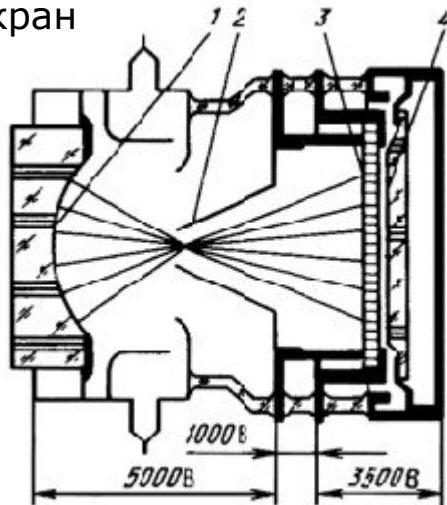
Электронно-оптический преобразователь

Главным признаком, по которому различаются поколения ПНВ, является их основной элемент – электронно – оптический преобразователь, предназначенный для преобразования невидимого для человеческого глаза изображения в видимое и усиления его по яркости.



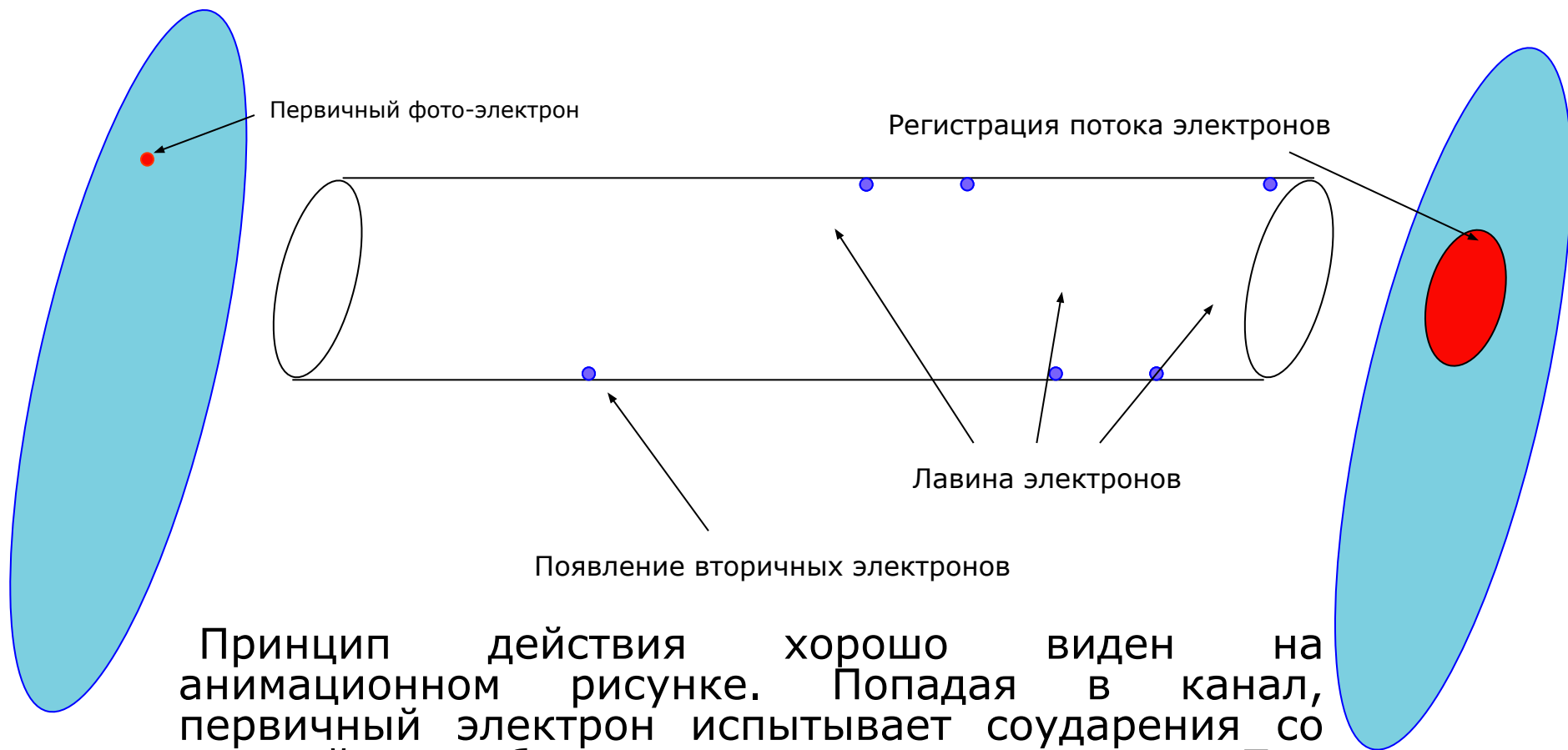
Устройство ЭОПа 2 поколения:

- 1 – фотокатод
- 2 – анод
- 3 – микроканальная пластина
- 4 – экран



Важной частью ЭОП является микроканальная пластина

- Этот элемент представляет собой сито с регулярно расположенными каналами диаметром около 10 мкм и толщиной не более 1 мм. Число каналов равно числу элементов изображения и имеет порядок 10^6 . Обе поверхности МКП полируются и металлизуются, между ними прикладывается напряжение в несколько сотен вольт.
- Для получения каналов МКП используется разнородное по химическому составу оптическое волокно. После получения шайбы сердцевины волокон растворяются в химических реактивах.



Принцип действия хорошо виден на анимационном рисунке. Попадая в канал, первичный электрон испытывает соударения со стенкой и выбивает вторичные электроны. Под воздействием электрического поля этот процесс многократно повторяется, позволяя получить коэффициент усиления $N \times 10^4$ раз.

Моделирование работы МКП

- В основе данного проекта лежит расчет методом частиц (метод Монте-Карло), позволяющий учитывать стохастические процессы в каналах МКП.
- Для моделирования движения электронов используются трехмерные баллистические уравнения движения с учетом действия электрического поля являющегося суммой полей собственно канала, поверхностного и объемного зарядов. Для определения граничных условий нахождения электрона в канале и его столкновения со стенками используются известные алгоритмы моделирования трехмерной графики.
- Процесс вторичной электронной эмиссии представляет собой сложный процесс, состоящий из нескольких этапов. Количество вышедших электронов моделируется в соответствии с законом Пуассона. Энергии эмитируемых электронов вычисляются по распределению Рэля и по экспериментальным кривым распределения электронов по энергиям. Углы вылета вторичных электронов определяются по известному закону Ламберта. Коэффициент вторичной эмиссии электронов рассчитывается по экспериментальным кривым.

Распараллеливание вычислений

Для уменьшения времени расчета предусмотрена возможность распараллеливания вычислительного процесса. Для распараллеливания процессов моделирования усилителя МКП используются математические модели и методы, применяемые при поиске оптимальных режимов функционирования СОПОИ, относящейся к области дискретного программирования.

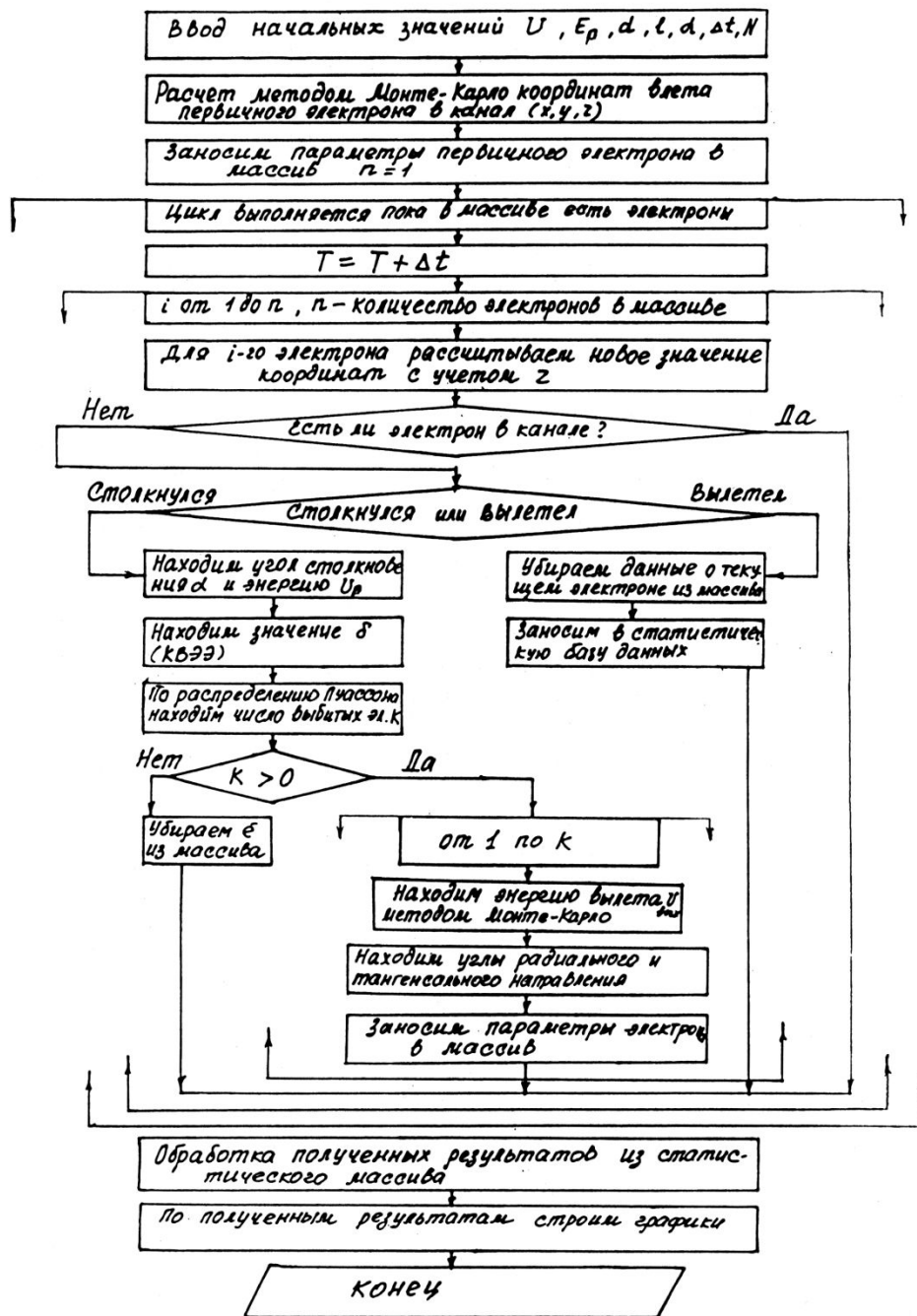
На базе локальной вычислительной сети Северо-Кавказского государственного технологического университета была создана и испытана системы оптимальной параллельной обработки информации (СОПОИ). В основу работы СОПОИ положены методы организации распределенных вычислений в ЛВС. Каждая рабочая станция (РС) ЛВС рассматривается как отдельное решающее поле, с независимой областью памяти, входящей в состав многомашинного вычислительного комплекса (МВК). При распараллеливании также используются общие ресурсы ЛВС доступные всем РС. СОПОИ позволяет наиболее полно использовать ресурсы как отдельных рабочих станций (РС), так и ЛВС в целом, при возможности снижения числа параллельных процессов обработки информации с учетом надежности и времени вычислений. Повышение надежности вычислений достигается за счет того, что выход из строя аппаратуры одного из параллельных процессов вызывает перераспределение задач, решавшихся, но не решенных этим процессом, между продолжающими действовать ветвями.

Блок схема программы моделирующей работу микроканального умножителя

К сожалению, известные компьютерные модели процессов в МКП сравнительно грубые и не учитывают множества факторов. Новая компьютерная модель отличающаяся от предыдущих моделей учитывает эти недостатки. Компьютерная программа, созданная для данной модели, имеет следующие достоинства:

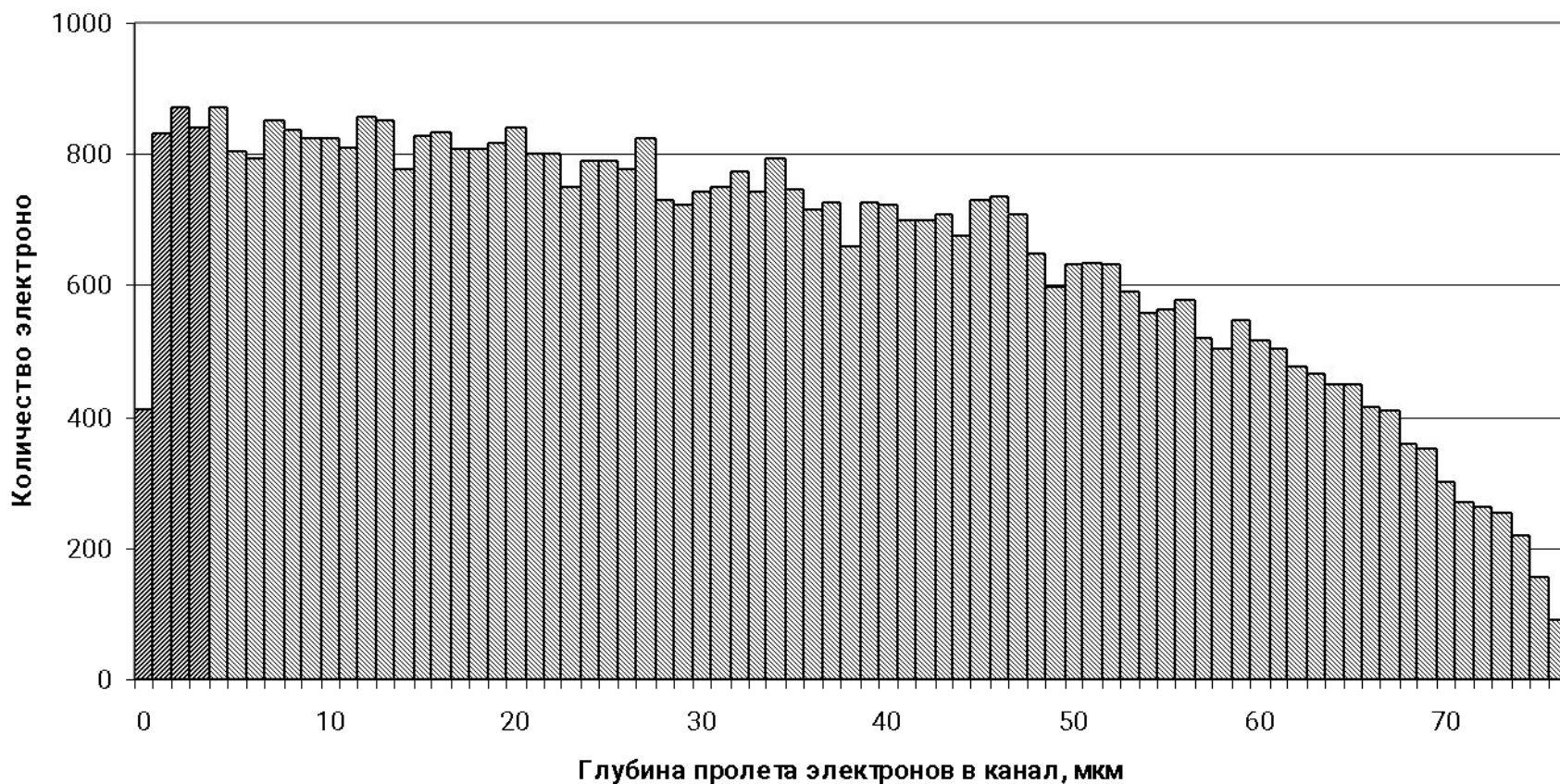
- блочная структура, которая позволяет проводить модификацию путем добавления, изменения блоков и их конфигурации;

- возможность распараллеливание в локальных вычислительных сетях для уменьшения времени расчета при использовании большого числа опытов и факторов.



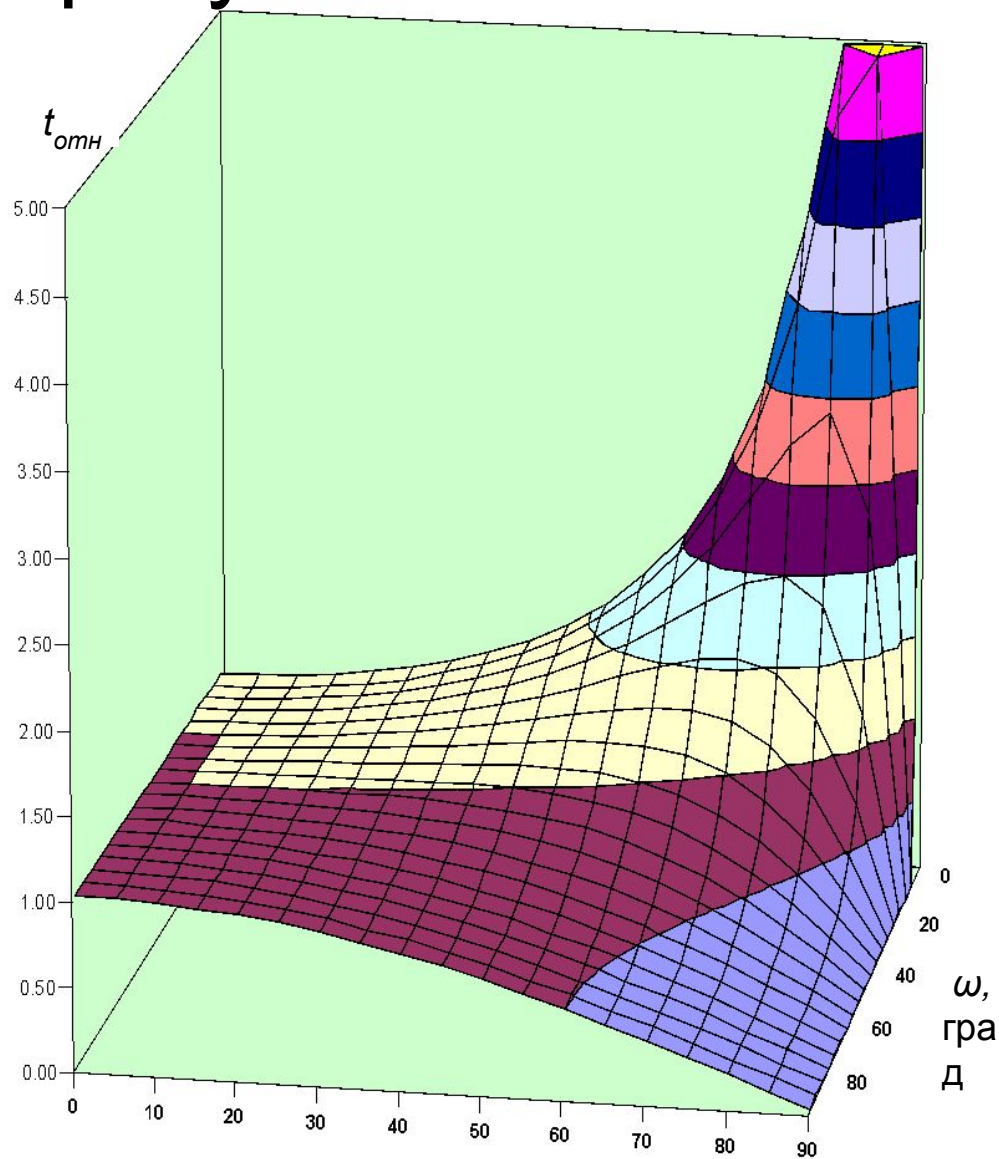
Полученные результаты

Распределение глубины пролета электронов в канале с углом наклона 6°



Полученные результаты

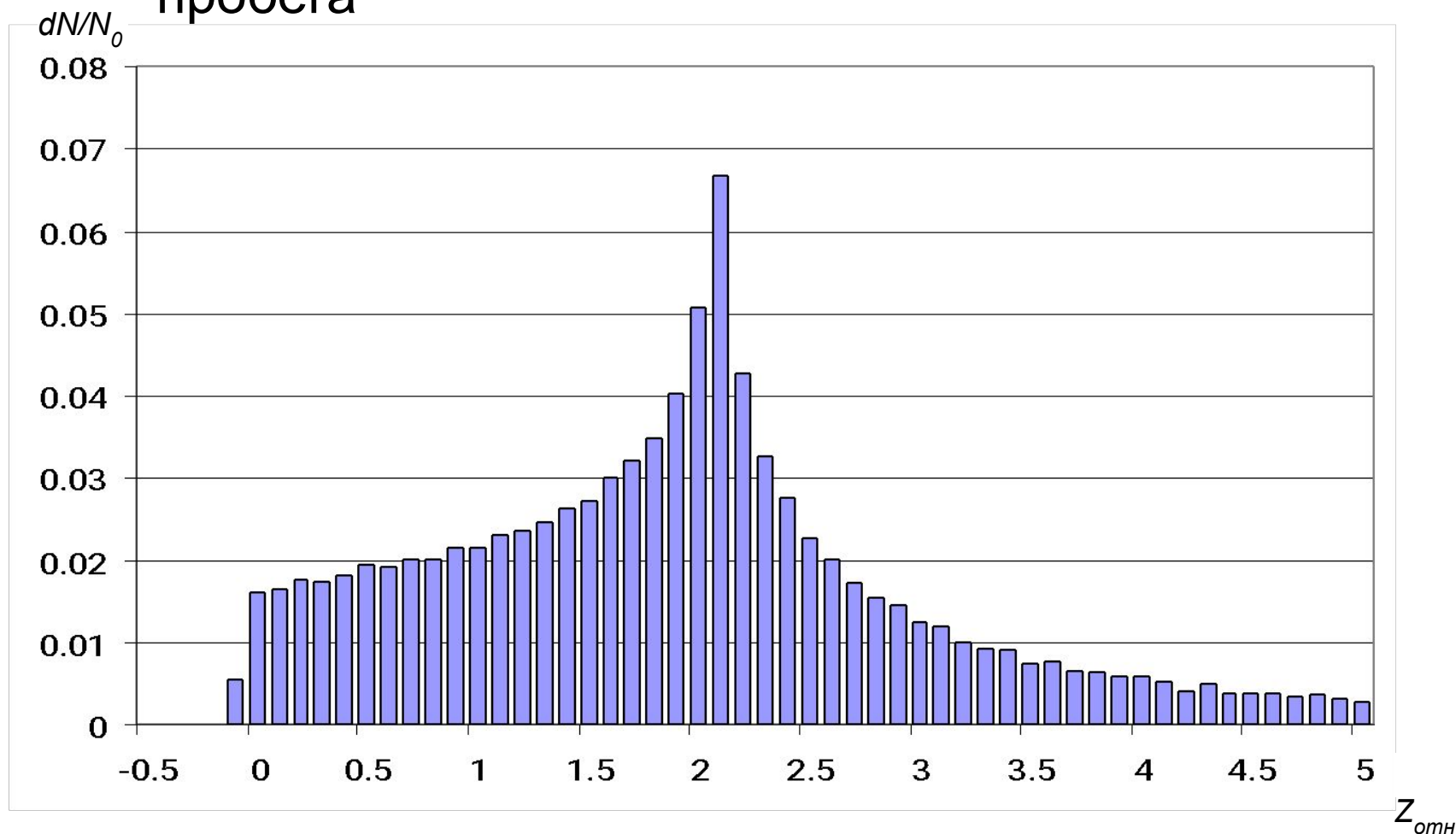
Зависимость
относительного времени
пролета от углов вылета



Угол вылета θ , в градусах

Полученные результаты

Распределение электронов по длине пробега



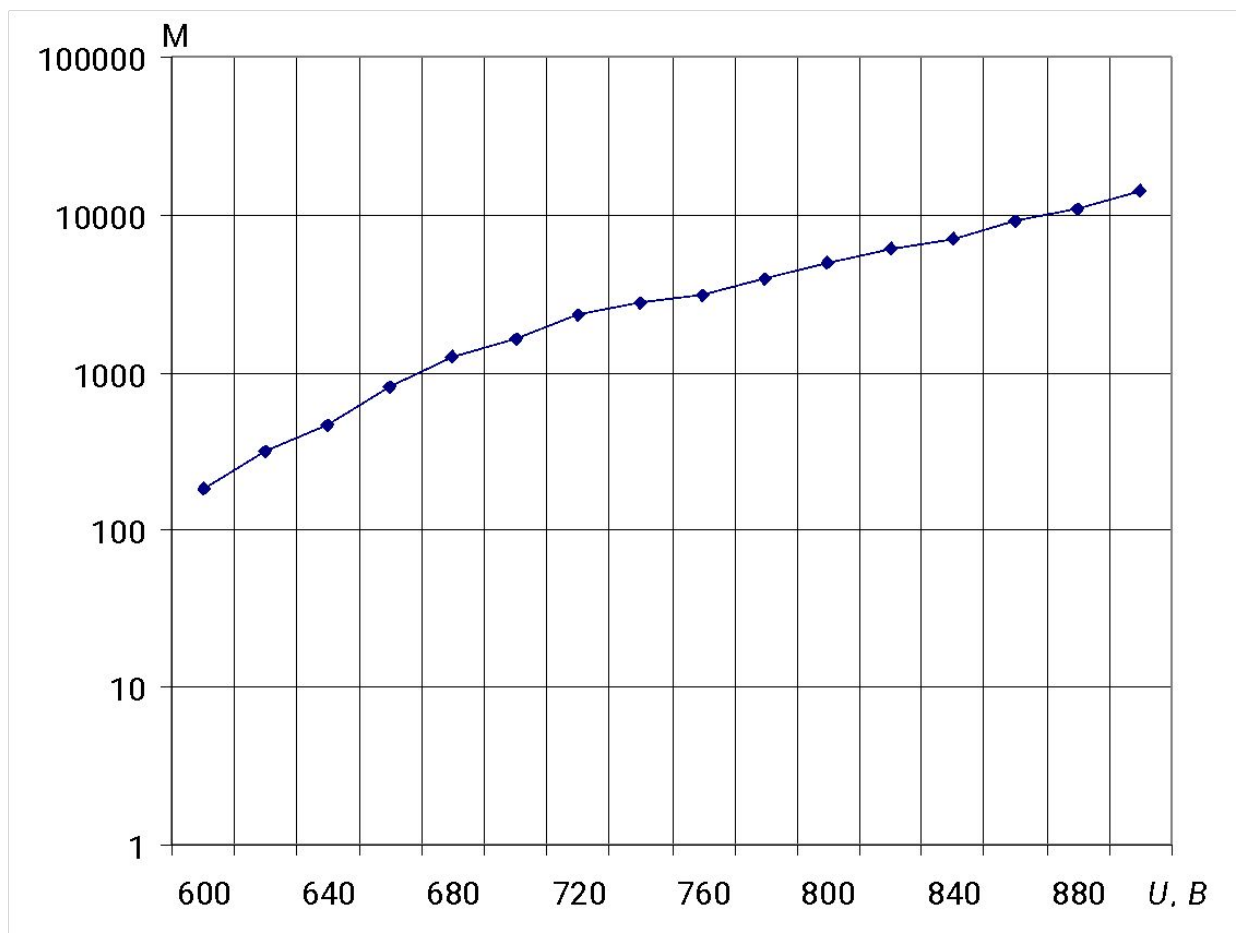
Полученные результаты

Распределение электронов по величине КВЭЭ



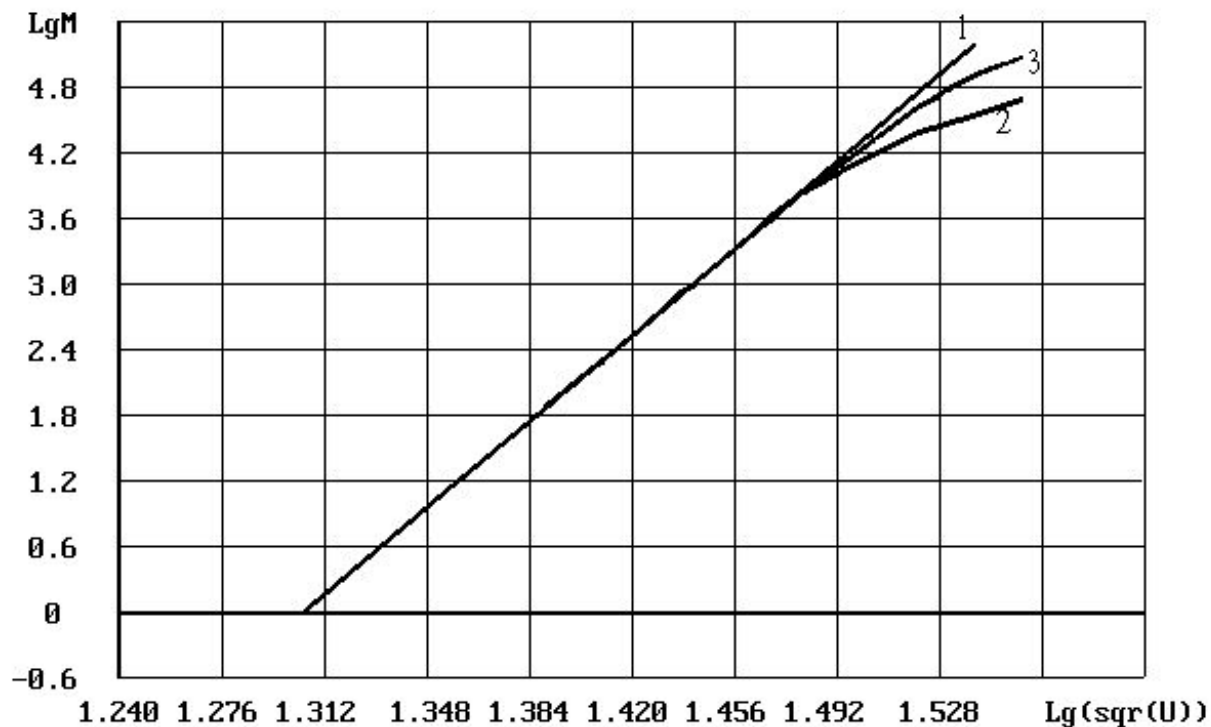
Полученные результаты

Рассчитанные по модели усиления канала



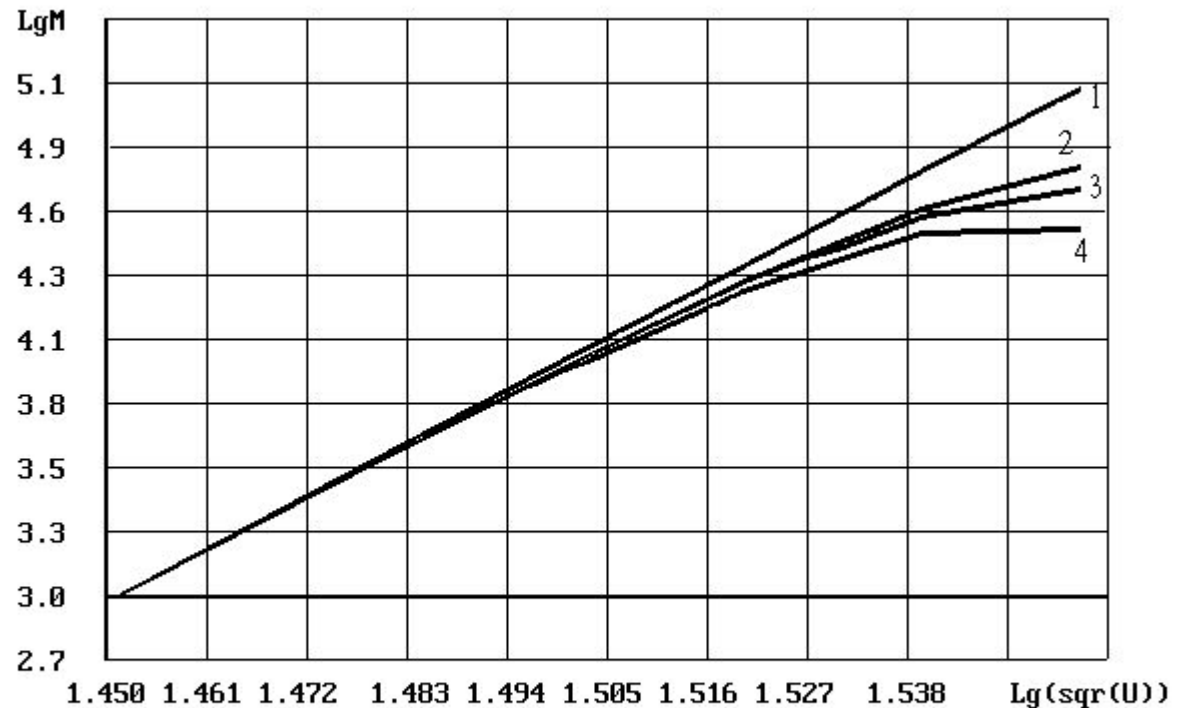
Зависимость коэффициента усиления МКП от приложенного напряжения

- 1 - для линейной модели;
- 2 - экспериментальная ($I_{\text{вх}} = 10^{-10}$ А);
- 3 - теоретическая с учетом стеночного заряда.



Влияние диаметра канала МКП на зависимость коэффициента усиления

- 1 - для линейной модели;
- 2 - для нелинейной модели $d=10$ мкм;
- 3 - для нелинейной модели $d=8$ мкм;
- 4 - для нелинейной модели $d=6$ мкм.

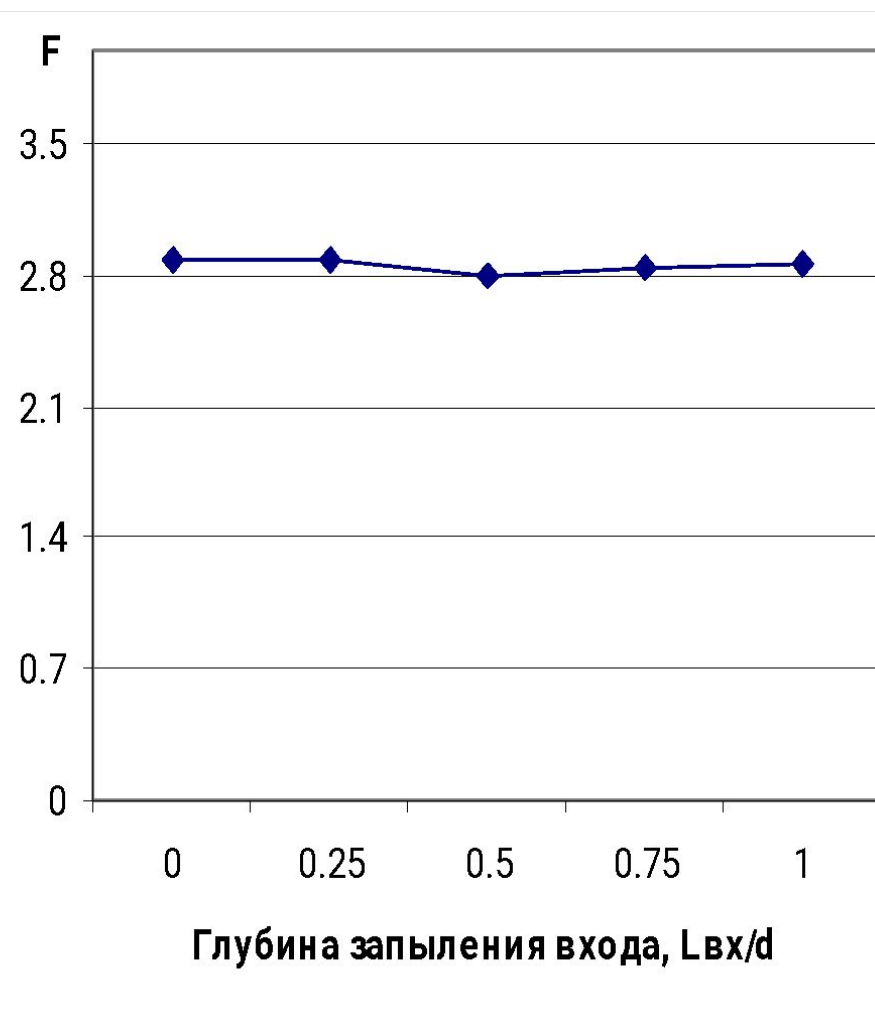
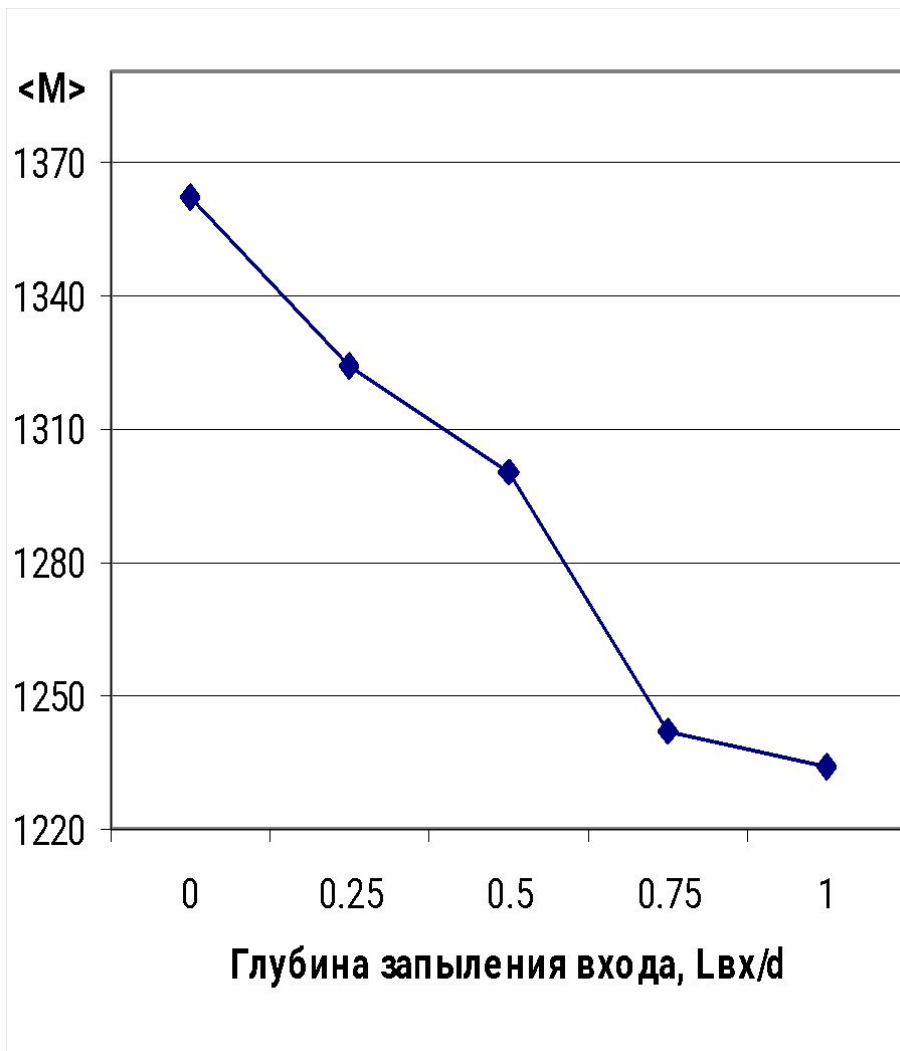


Влияние некоторых факторов на усиление и шум МКП

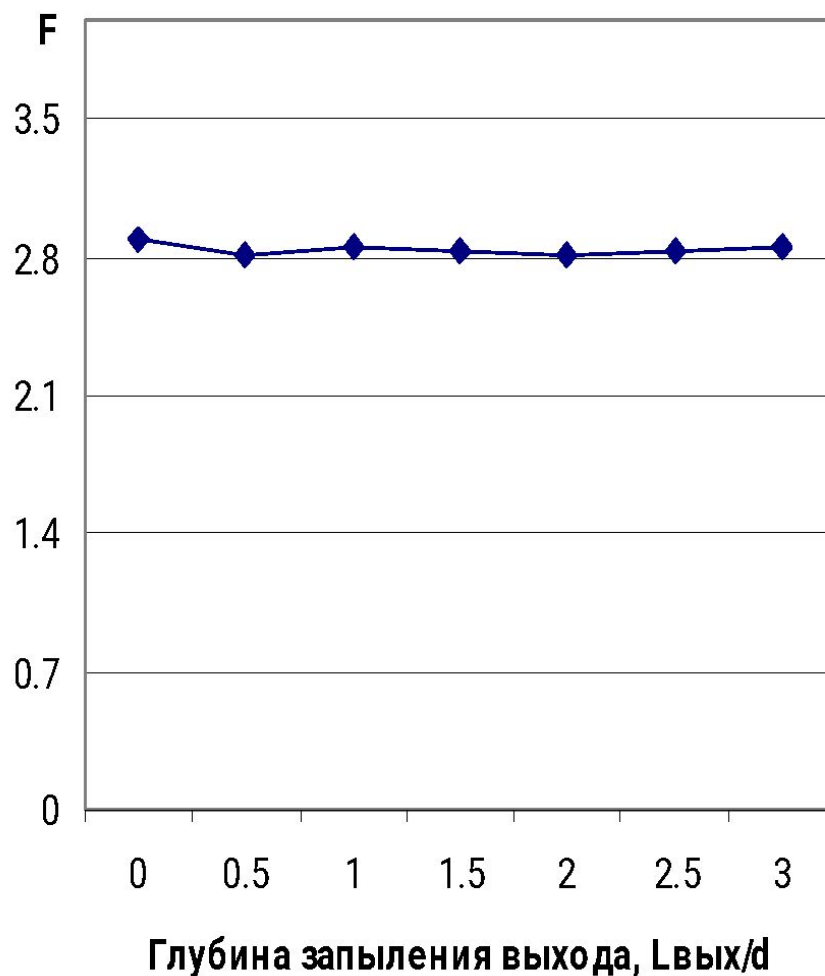
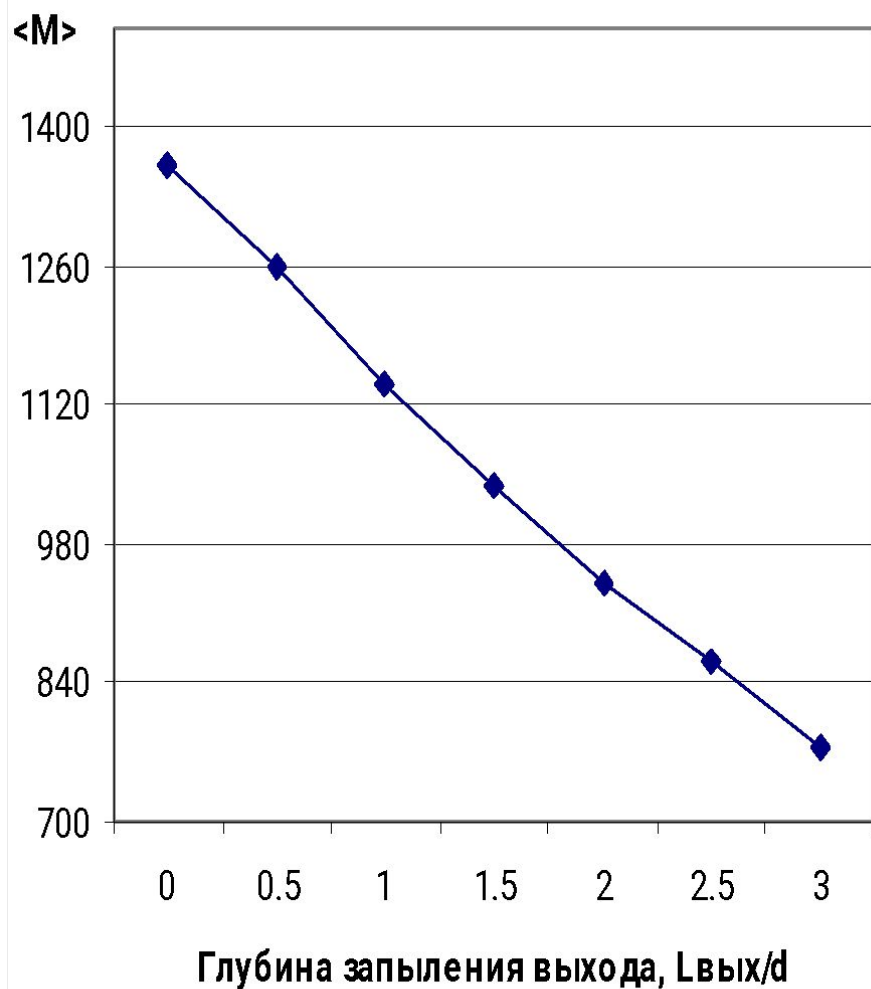
Усилительно-шумовые характеристики микроканальных пластин зависят от многих факторов: энергии и угла соударения электронов со стенкой канала, значения КВЭЭ первого и последующих соударений, калибра канала и приложенного напряжения, материала и размеров контактных электродов и многих других. Знать эти зависимости крайне важно как для выбора оптимальных режимов работы, так и для сравнения экспериментальных зависимостей с результатами расчетов по компьютерным моделям.

Расчеты усиления и шума МКП при воздействии различных факторов проводились на компьютерной модели. Благодаря блочному принципу построения программы, имеется возможность учитывать различные факторы в интересующих нас сочетаниях.

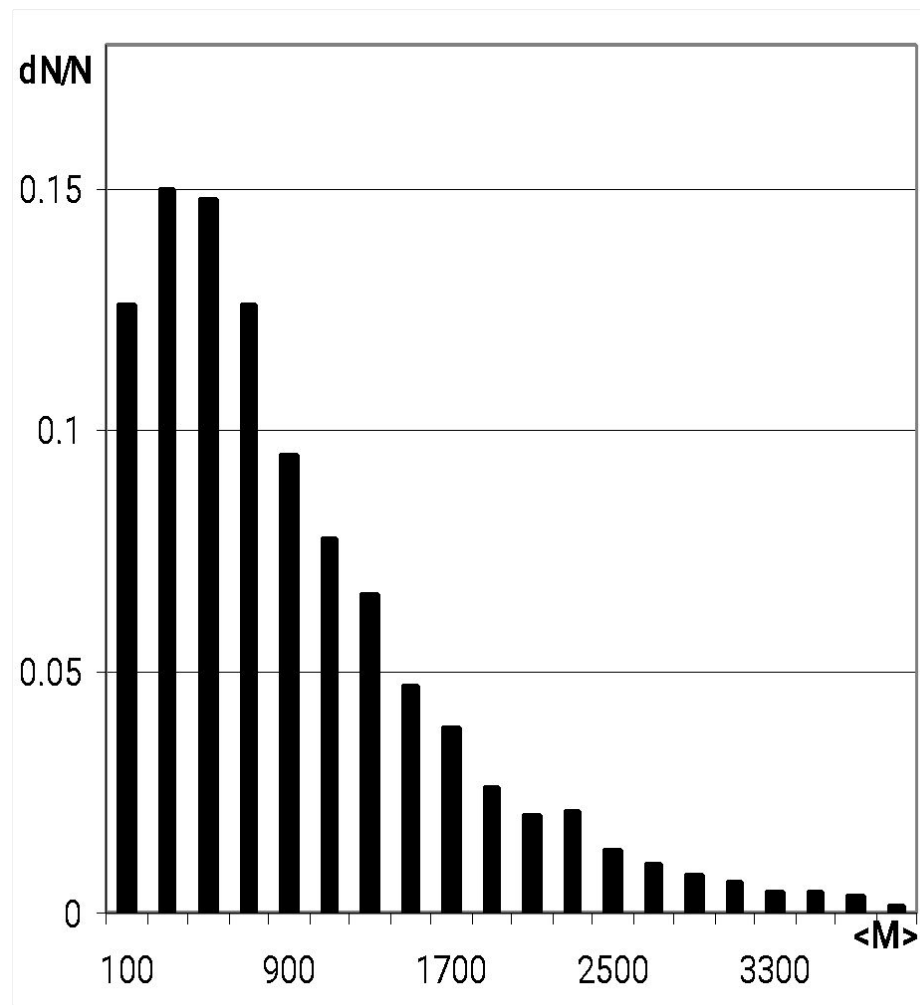
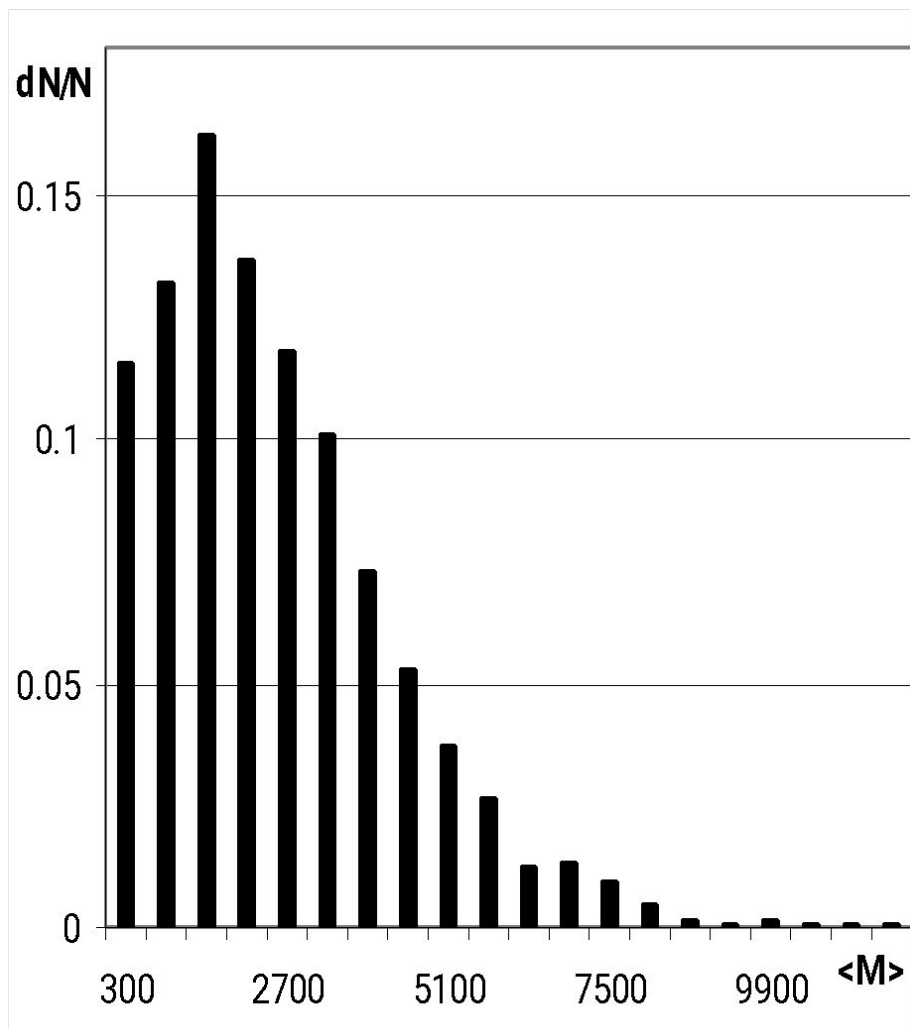
Влияние запыления входа канала на коэффициент усиления $\langle M \rangle$ (a) и фактор шума F (b).



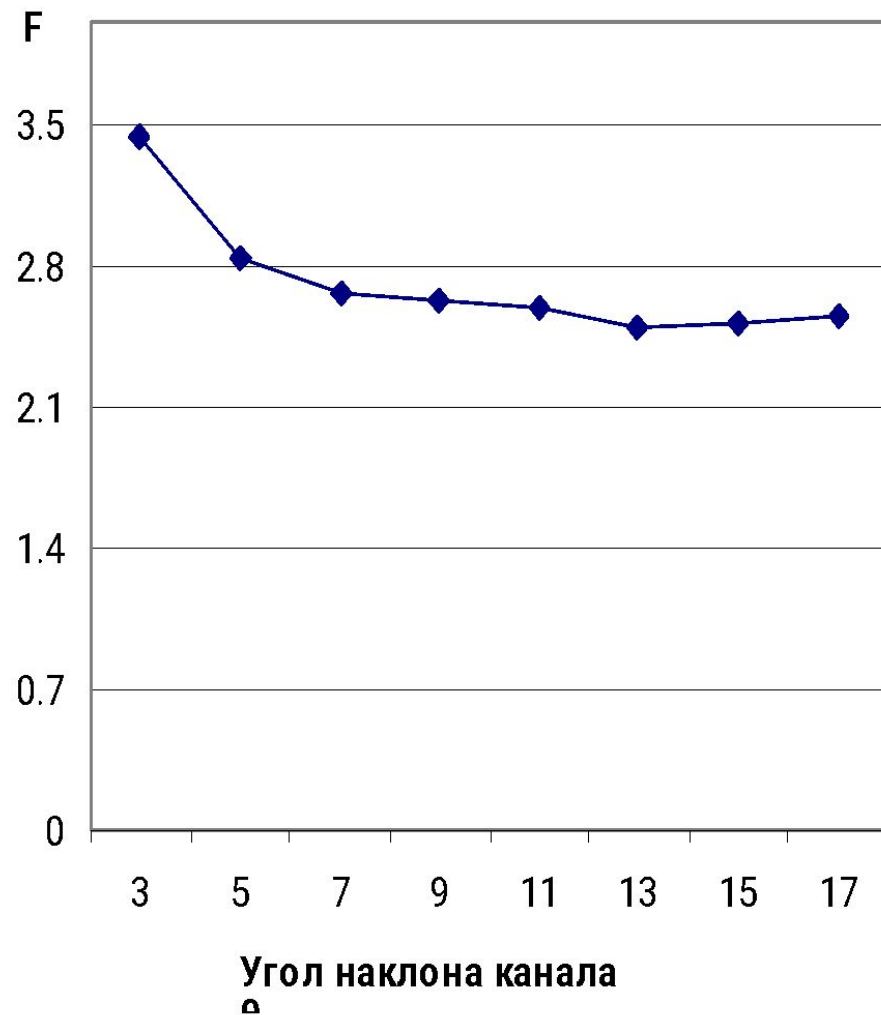
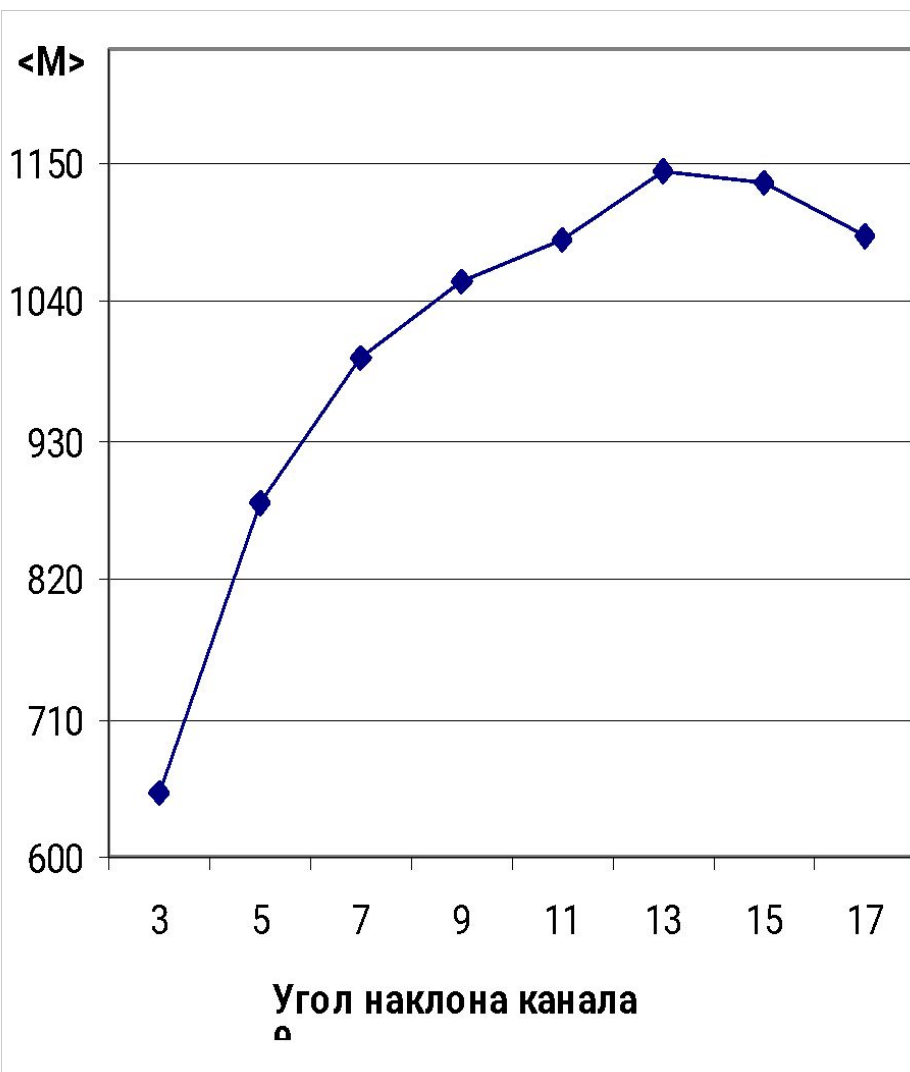
Влияние запыления выхода канала на коэффициент усиления $\langle M \rangle$ (a) и фактор шума F (b).



Амплитудные спектры электронов для идеализированной (a) и реальной модели (b).



Влияние наклона канала на коэффициент усиления $\langle M \rangle$ (a) и фактор шума F (b).



Анализ амплитудного спектра в канальном умножителе

Амплитудный спектр импульсов при различных расстояниях от входа (темный цвет – базовая, светлый - уточненная модель):

а) $Z_{отн} = 20\%$;

б) $Z_{отн} = 50\%$; с) $Z_{отн} = 100\%$

