

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ФОТОНИКИ, ГОЛОГРАФИИ, ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления  
200700.68 – Фотоника и оптоинформатика

2012

## **Орликов, Леонид Николаевич**

Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики: методические указания к лабораторным работам для студентов направления 200700.68 – Фотоника и оптоинформатика / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. - 65 с.

Пособие содержит методические указания по выполнению лабораторных работ: «Измерение параметров вакуумной системы на ЭВМ в реальном режиме времени», «Моделирование условий формирования окисных пленок легкоплавких металлов» и «Сервисное обслуживание вакуумной установки УВН 2М-1».

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 200700.68 – Фотоника и оптоинформатика по дисциплине «Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии, интегральной и волоконной оптики»

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОВ ФОТОНИКИ,  
ГОЛОГРАФИИ, ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления 200700.68 – Фотоника и оптоинформатика

Разработчик

д-р техн. наук, проф. каф. ЭП

\_\_\_\_\_ Л.Н. Орликов

\_\_\_\_\_ 2012 г

## Содержание

Введение.....	6
Лабораторная работа 1. Измерение параметров вакуумной системы на ЭВМ в реальном режиме времени.....	7
1 Введение .....	7
2 Теоретическая часть .....	7
2.1 Язык релейно-контактных символов .....	7
2.2 Язык Булевых уравнений .....	8
2.3 Языки типа: «Время – команда». «Время – параметр» .....	8
2.4 Язык управления типа «КАУТ».....	8
2.5 Язык программирования измерительной аппаратуры SCPI.....	9
2.6 Языки, для программирования логических контроллеров .....	11
2.7 Язык LD.....	11
3 Экспериментальная часть .....	11
3.1 Задание на работу .....	11
3.2 Методические указания .....	12
3.3 Содержание отчета .....	20
Лабораторная работа 2. Моделирование условий формирования окисных пленок .....	21
1 Введение .....	21
2 Теоретическая часть .....	22
2.1 Свойства оксида цинка .....	22
2.2 Получение оксида цинка .....	22
2.3 Метод окисления ZnO.....	23
2.4 Модель окисления .....	24
2.5 Взаимодействие потока испаренных атомов в пролетном пространстве .....	27
2.6 Способы испарения.....	28
2.7 Контрольные вопросы .....	29
3 Экспериментальная часть .....	29
3.1 Описания метода термического испарения в вакууме .....	29
3.2 Задание на работу .....	30
3.3 Обработка результатов .....	30
3.4. Содержание отчета.....	31
Лабораторная работа 3. Сервисное обслуживание вакуумной установки УВН 2М-1 .....	33
1 Введение .....	33
2 Теоретическая часть .....	33
2.1 Описание установки.....	33
2.1.1 Вакуумная схема установки.....	33
2.1.2 Схема работы вакуумной установки .....	34
2.1.3 Гидравлическая система вакуумной установки .....	34
2.1.4 Электрические схемы .....	35
2.1.5 Схема охлаждения.....	37

3 Экспериментальная часть .....	38
3.1 Конструкции соединений пушки .....	38
3.2 Высоковольтная схема питания источника электронов .....	40
3.3 Сервисное обслуживание установки .....	41
3.3.1 Исследование и сервисное обслуживание термопарного датчика..	41
3.3.2 Преобразователь манометрический термопарный ПМТ-4М .....	41
3.3.3 Исследование механического насоса на предельный вакуум .....	42
3.3.4 Диффузионный насос 2НВР – 5ДМ .....	44
3.4 Карта течей установки .....	47
3.5 Задание на работу .....	47
3.6 Содержание отчета .....	48
Список литературы .....	48
Приложение А .....	49
Приложение Б .....	57
Приложение В.....	59
Приложение Г .....	62

## Введение

Пособие содержит методические указания по выполнению лабораторных работ:

В ходе выполнения лабораторной работы у студентов формируются:

- готовность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК-4);
- способность определить цели и план научных исследований; способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности (ПК-9);
- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-10);
- способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-34);
- способность владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники (ПК-36);
- способность обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях (ПК-37);
- способность к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации (ПК-42).

# Лабораторная работа 1. Измерение параметров вакуумной системы на ЭВМ в реальном режиме времени

## 1 Введение

Цель работы: измерение параметров вакуумной системы на ЭВМ в реальном режиме времени

В ходе выполнения лабораторной работы у студентов формируются:

- готовность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК-4);

- способность определить цели и план научных исследований; способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности (ПК-9);

- способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-34);

- способность владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники (ПК-36);

- способность обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях (ПК-37);

- способность к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации (ПК-42).

## 2 Теоретическая часть

При проведении технологических операций нет необходимости в применении больших ЭВМ. В основном требуются машины с возможностью выработки сигнала коммутации исполнительного устройства (например, машины фирмы MAKINTOSH). В настоящее время нашли применение, так называемые, языки пользователя: Ассемблер; Паскаль; Си, C<sup>++</sup>, Java; язык релейно-контактных символов; язык «Время – команда»; «Время – параметр»; язык булевых уравнений; язык SCPI; язык программируемых контроллеров.

### 2.1 Язык релейно-контактных символов

Для различных систем робототехники, систем автоматизированных станков и кузнечнопрессового оборудования широко применяется язык, основанный на аналогии включения или выключения контактов электрических схем. На рис. 2.1 представлены условные обозначения такого языка по данным фирмы MODICON.

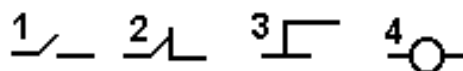


Рисунок 2.1 – Команды языка релейно–контактных символов. 1 – нормально разомкнутый; 2 – нормально замкнутый; 3 – вход в параллельную цепь; 4 – время.

При составлении программы технологических операций первоначально зарисовывают каналы технологических операций, в которых включены контакты. Сверху контакта проставляется порядковый номер операции, а снизу код операции по международному или отраслевому классификатору.

## 2.2 Язык Булевых уравнений

В ряде случаев для отдельного канала оказывается удобным одновременная запись того, что включено и что выключено. В таких случаях удобно пользоваться языком булевых уравнений с использованием операторов типа «и», «или», «не (инверсия)». На рис. 2.2 представлено соответствие булевых и релейных символов.

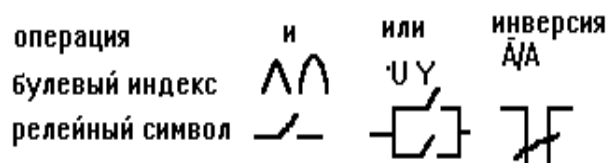


Рисунок 2.2 – Схема соответствия «булевых» и релейных символов

## 2.3 Языки типа: «Время – команда». «Время – параметр»

В ряде случаев подача команд на проведение последующей операции может производиться по истечении определенного времени или по достижении определенного параметра. Подобные реле времени рассчитаны на коммутацию канала в течение времен от секунд до недели и имеют до 48 каналов. Такие системы нашли широкое применение в электрофизических и электровакуумных установках под названием ОРИОН – 3. Система ОРИОН – 3 предполагает контроль ввода сигналов, контроль хода процесса, управление процессом и индикацию параметров.

Система снабжена подсистемами управления типа ТЕХНОЛОГ и включает в себя технические нормалы на материалы, инструменты, а также технические допуски на изготовление и базу данных кадрового обеспечения.

## 2.4 Язык управления типа «КАУТ»

Поиск наиболее универсального и простого языка общения с автоматикой привел к системе включающей контроль, анализ и управление технологией (КАУТ). Язык системы содержит три типа переменных:

- 1) целые числа;
- 2) напряжение (вольты);
- 3) время.

Язык снабжен ключевыми словами, вводимыми вначале программирования: (ТЕМП – температура, ДАВЛ – давление, НАГРЕВ, ТАЙМЕР, ВКЛ., ВЫКЛ., ЕСЛИ, ИНАЧЕ, КЛАПАН, ЖДАТЬ и др.). Каждой операции присваивается порядковый номер (кратный пяти для введения дополнительных команд). В начале программы записываются контролируемые



величины, регулируемые, включаемые, а также наименование отслеживаемого параметра.

**Пример.** Программа для установки термического напыления материалов в вакууме.

Процессу напыления пленки предшествуют операции очистки материалов, их монтаж в вакуумной камере, откачка воздуха из камеры, прогрев всех деталей.

Первоначально составляется последовательность технологических операций. Каждой операции присваивается буква и номер. Присвоение букв производится по признакам подобия операций, а присвоение цифр – кратно пяти. Такое присвоение позволяет дополнительно включать промежуточные операции, возникающие при оптимизации технологического процесса. В нашем случае последовательность технологических операций для очистки изделий (индекс O), текущих операций (индекс M) и собственно напыления (индекс H) выглядит в следующем виде:

(O5, O10, O15...), (M5, M10, M15, M20...), (H5, H10, H15...).

Далее в программу записываются контролируемые, регулируемые, включаемые и выключаемые величины:

контролируемые: К 1 – давление; К 2 – температура;

регулируемые: Р1 – нагрев;

включаемые: В1 – клапан; В2 – откачка; В3 – нагрев;

параметры: П1 – температура; П2 – счетчик.

Пример конкретного исполнения

1. Включение клапана В1.

5. Включение откачки В2

10. ВКЛ. НАГРЕВ

15. ЖДАТЬ 150 (ждать 150 секунд пока нагреется)

20. M 10

25. ЕСЛИ К ТЕМП = 250, ПЕРЕХОД НА M 45 (напыление)

ИНАЧЕ M20 (нагрев) (Комментарий: если температура подложки достигнет 250 градусов, перейти на напыление, в противном случае продолжить нагрев).

В такой последовательности составляется вся программа. Справа программы возможны комментарии.

## 2.5 Язык программирования измерительной аппаратуры SCPI

Язык SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments – Стандартные команды для программируемых приборов) – это язык приборных команд на основе стандартного кода ASCII международного стандарта IEEE-488, предназначенный для программирования измерительных приборов.

Команды языка SCPI имеют иерархическую структуру. Родственные команды сгруппированы в общем узле. В качестве примера показана часть подсистемы SENSE (СЧИТЫВАНИЕ).

SENSe: (считывание)

VOLTage: (вольты)  
 DC:RANGe {<range>/MINimum| MAXimum} VOLTage: (порядок считывания, минимум, максимум, вольты)  
 DC:RANGe? [MINimum| MAXimum] (порядок считывания)  
 FREQuency: (частота)  
 VOLTage: RANGe {<range>/MINimum| MAXimum} FREQuency:  
 VOLTage: RANGe? [MINimum| MAXimum]  
 DETector:  
 BANDwidth {3| 20| 200 | MINimum| MAXimum} DETector:  
 BANDwidth? [MINimum| MAXimum]  
 ZERO:  
 AUTO {OFF | ONCE| ON} ZERO:  
 AUTO?

Синтаксис командного языка показывает большинство команд в виде наборов прописных и строчных букв.

SENSe является ключевым словом команды. VOLTage и FREQuency – ключевыми словами второго уровня. DC и VOLTage – ключевыми словами третьего уровня. Ключевое слово предыдущего уровня от ключевого слова более низкого уровня разделяется двоеточием (:).

**Например:** VOLTage: DC: RANGe {<range>/MINimum| MAXimum} означает измерение напряжения; DC – постоянный ток; цифровой разряд показаний, в скобках указаны предел, минимальные и максимальные значения.

Командная строка заканчивается символом возврата каретки <cr> и символом новой строки <nl>.

Фигурные скобки ({} ) включают варианты параметров и с командной строкой не передаются.

Вертикальная черта (| ) используется для разделения нескольких вариантов параметра командной строки.

Угловые скобки (<> ) показывают, что пользователь должен указать значение заключенного в скобки параметра.

Двоеточие (:) разделяет команды от ключевого слова более низкого уровня.

Аппаратура автоматически программируется на измерения командой MEASure и для более точных измерений командой CONFigure.

**Например:**

MEASure: VOLTage: DC? {<range>| MIN| MAX| DEF}, {<resolution>| MIN| MAX| DEF} – производится измерение постоянного напряжения. Показания пересылаются в буфер вывода. DEF- означает автоматическое переключение пределов равное 51/2 разрядам

MEASure: VOLTage: AC? {<range>/MUST|MAX| DEF} – производится измерение переменного напряжения;

MEASure:RESistance? – производится измерение сопротивления резистора.

Среди различных простых команд наиболее распространенными являются:

AUTO- автоматическое переключение пределов;

BUS – по шине; OFF/ON- выкл/вкл;  
 FETCh- передача показаний из внутренней памяти прибора в буфер вывода и далее в контроллер.

## 2.6 Языки, для программирования логических контроллеров

Международной электротехнической комиссией рекомендованы некоторые стандартные языки для программирования контроллеров.

На рис. 2.3 представлены языки для программирования контроллеров.

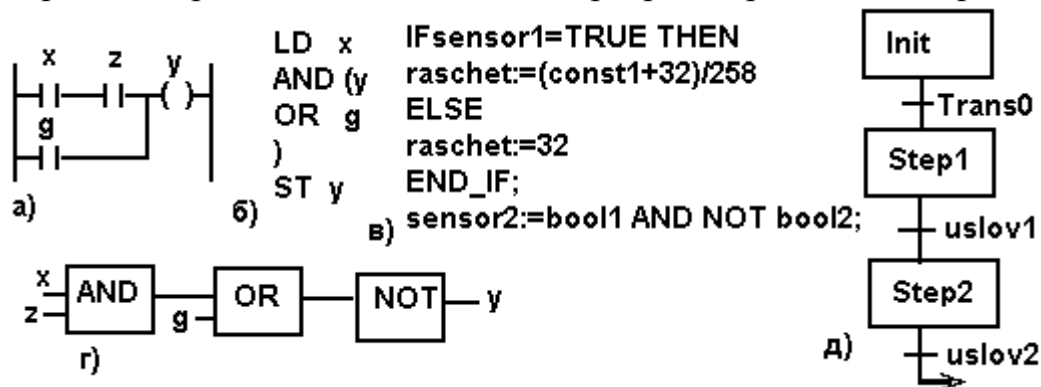


Рисунок 2.3 - Команды языков программирования контроллеров; а) – LD; б) – IL; в) – ST; г) – FBD; д) CFC

## 2.7 Язык LD

Язык LD по сути повторяет язык релейно-контактных символов. Собрав логическую последовательность, можно коммутировать входную и выходную шины, расположенные на экране.

Язык IL – это программирование на ассемблере, используемое всеми производителями.

Язык ST – это аналог языков C, Pascal.

Язык FBD – это язык функциональных блоков. Язык подобен языку релейно-контактных символов и удобен для специалистов, проектирующих системы на элементах логики.

Язык CFC – это язык функциональных блоков FBD, снабженный дополнительными командами выдержки времени или параметров перехода между операциями.

## 3 Экспериментальная часть

### 3.1 Задание на работу

1. Измерить параметры вакуумной системы
2. Проверить надежность заземления
3. Измерить напряжение, ток и сопротивление
4. Измерить частоту и период съема сигнала с датчика давления
5. Измерить температуру отпаянного ионизационного датчика давления
6. Проверки расчеты с использованием ЭВМ.

## 3.2 Методические указания

### 1. Измерение параметров вакуумной системы проводится с помощью мультиметра В7-78.

Перед началом работы следует изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации, а также ознакомиться с расположением и назначением органов управления и контроля на передней и задней панелях прибора.

Разместив прибор на рабочем столе, обеспечив удобство работы и условием естественной вентиляции.

Ручку прибора, возможно, использовать не только для переноски, но и как подставку, обеспечивающую необходимый угол, зафиксируйте на одном из доступных положений.

### 2. Проверка надежности заземления

Переключатель напряжения сети привести в соответствие с параметрами сети. Значение установленного напряжения питания отмечено стрелкой на корпусе держателя сетевого предохранителя.

Для изменения значения напряжения сетевого питания необходимо поддеть отверткой с плоским жалом держатель сетевого предохранителя, изъять его и установить на место таким образом, что бы значение напряжения питания совпало с указателем стрелки

При изменении напряжения питания требуется установка следующих значений сетевых предохранителей (Табл. 3.1)

Таблица 3.1 - Значения сетевых предохранителей для прибора

Установленное значение напряжения, В	Диапазон входных напряжений, В	Значение предохранителя
100	90..110	0,2 А
120	108..132	
220	198..240	
230	207..250	0,1 А

Подсоединить шнур питания к сети. Тумблер «сеть» должен находиться в положении выключенном (Выкл).

Тумблер «сеть» устанавливается в положение «ВКЛ». Сразу после включения тумблера осуществляется автоматическая проверка функционирования прибора и исправности отображения дисплея, высвечиваются версия программного обеспечения и адрес GPIB (при установленной опции 1) и прибор устанавливает следующие режимы работы:

- измерение постоянного напряжения
- запуск – автоматический
- выбор пределов измерения – автоматический
- разрядность индикатора 4 1\2 (если в меню не установлено иное разрешение)

Для проведения работ необходимо прогреть прибор в течении 15 минут.

В случае, если органами управления, расположенными на передней панели, нельзя,

Перестроить параметры прибора (произошел сбой, а программе микро ЭВМ), достаточно выключить прибор и через 10-15 минут включить вновь.

### 3 Измерение напряжения



Предупреждение

В случае, когда неизвестна величина измеряемого напряжения, необходимо использовать режим автоматического выбора предела измерения и начинать измерение в режиме V.

Для реализации всех возможностей прибора используйте следующие функции:

- ручной или автоматический выбор пределов измерения. При проведении большого числа однотипных измерений, вы можете сократить время измерения, зафиксировав предел измерения. Прибор не будет перебирать поддиапазоны измерения, а начнет измерения на выбранном пределе.

- циклический или разовый пуск измерения.

- изменения разрядности индикатора.

- относительные измерения

- допусковый контроль.

- определение минимальных, максимальных или средних значений.

Для измерения постоянного напряжения нажмите кнопку [U---]

На индикаторе появится надпись «VCD» с соответствующей размерностью (mV или V).

Для измерения переменного напряжения нажмите кнопку [U~]

На индикаторе появится надпись «VAC» с соответствующей размерностью (mV или V).

Произведите подключение источника напряжения к вольтметру (данная схема подключения при измерении напряжения, сопротивления по 2-х проводной схеме, частоты, периода звуковой прозвонки целостности цепи и тестирования полупроводниковых диодов). На рис.3.1 представлена схема измерения падения напряжения на резисторе.

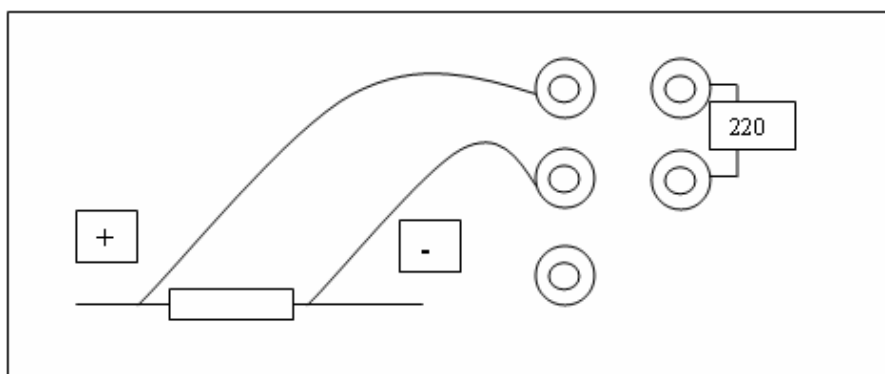


Рисунок 3.1– Схема измерения падения напряжения на резисторе

Произведите отсчет результата измерения.

#### 4. Измерение тока

Для измерения постоянного тока нажмите последовательно [ПРЕФ] и [U---] на индикаторе появится надпись «ADC» с соответствующей размерностью (mA или A)

Для измерения переменного тока нажмите последовательно [ПРЕФ] и [U~] на индикаторе появится надпись «AAC» с соответствующей размерностью (mA или A)

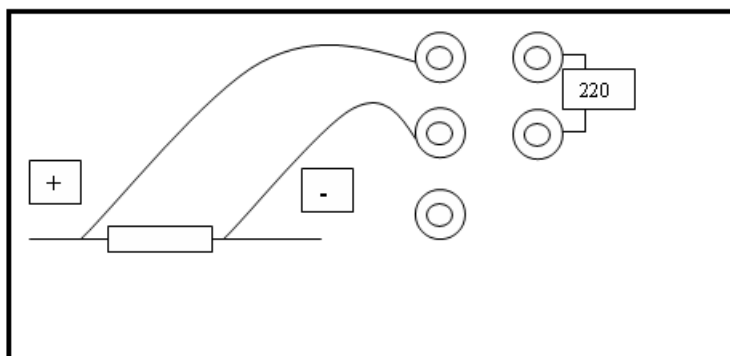


Рисунок 3.2 - Схема измерения тока


Для реализации всех возможностей прибора используйте следующие функции:

- ручной или автоматический выбор пределов измерения. При проведении большого числа однотипных измерений, вы можете сократить время измерения, зафиксировав предел измерения. Прибор не будет перебирать поддиапазоны измерения, а начнет измерения на выбранном пределе.

- циклический или разовый пуск измерения.
- изменения разрядности индикатора.
- относительные измерения
- допусковый контроль.
- определение минимальных, максимальных или средних значений.

Произведите отсчет измерения

#### 5 Измерение сопротивления

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:**  измеряемая цепь предварительно должна быть отключена от источника питания. В случае, когда неизвестно присутствует ли на сопротивлении какое-либо напряжение, необходимо использовать режим автоматического выбора предела измерения и начинать измерение в режиме V/

При измерении сопротивления по 2-х проводной схеме произведите подключение согласно рис 3.3

При измерении сопротивления по 4-х проводной схеме произведите подключение согласно рис 3.3, при этом обратите внимание на правильное подключение токовых и потенциальных концов.

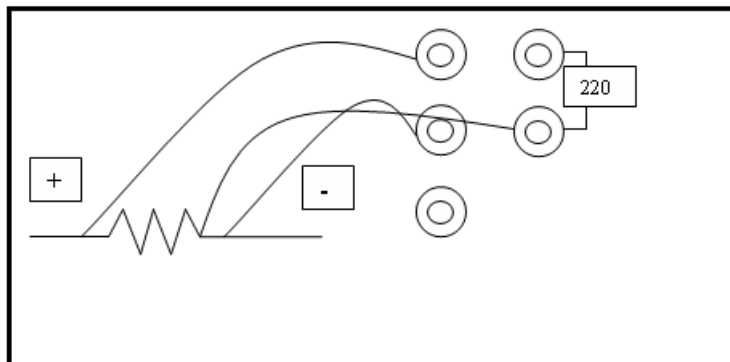


Рисунок 3.3 - Схема измерения сопротивления

Для измерения сопротивления по 2-х проводной схеме нажмите кнопку **[2прΩ]**. На индикаторе появится надпись «ОНМ».

Для измерения сопротивления по 4-х проводной схеме нажмите последовательно кнопки **[ПРЕФ]** и **[2прΩ]**, индикаторе появится надпись «ОНМ<sup>4w</sup>».

Для реализации всех возможностей прибора используйте следующие функции:

- ручной или автоматический выбор пределов измерения. При проведении большого числа однотипных измерений, вы можете сократить время измерения, зафиксировав предел измерения. Прибор не будет перебирать поддиапазоны измерения, а начнет измерения на выбранном пределе.
- циклический или разовый пуск измерения.
- изменения разрядности индикатора.
- относительные измерения
- допусковый контроль.
- определение минимальных, максимальных или средних значений.

Произведите отсчет измерения

Примечание: сопротивление более 10Мом измеряются аналогично токовым по 2-х проводной схеме.

## 6. Измерение частоты и периода

ПРЕФ, HZ – Измерение частоты

ПРЕФ, U~ – измерение периода (на индикаторе появится надпись «S»)

Для измерения частоты нажмите кнопку [ПРЕФ], на индикаторе появится надпись «**HZ**» с соответствующей размерностью(k).

Для измерения периода нажмите последовательно кнопки [ПРЕФ] и [U~], на индикаторе появится надпись «**S**» с соответствующей размерностью (m или  $\mu$ ).

Произведите подключение источника напряжения к вольтметру.

## 7. Измерение температуры

Для измерения температуры в градусах Цельсия нажмите кнопку [Темп] на индикаторе появится надпись «**°C**»

Для измерения температуры в градусах по шкале Фаренгейта нажмите последовательно кнопки [ПРЕФ] и [Темп] на индикаторе появится надпись «**°F**»

Подключить через адаптер датчик температуры (как показано на рис 3.4), термопару поместить в измеряемую среду.

Произведите отсчет результата измерения.

Примечание: при необходимости расширения вольтметра при измерении температуры (температуры жидкостей, гелей, поверхности и т.п.) используйте другие термопары типа «К»

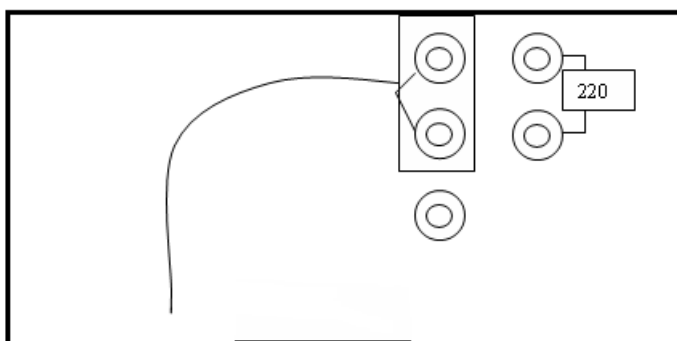


Рисунок 3.4 - Схема измерения температуры

## 8. Порядок проведения расчетов на ЭВМ

Запускаем программу GOTOWORK.EXE. Фрагмаент программы представлен на рис. 3.5.



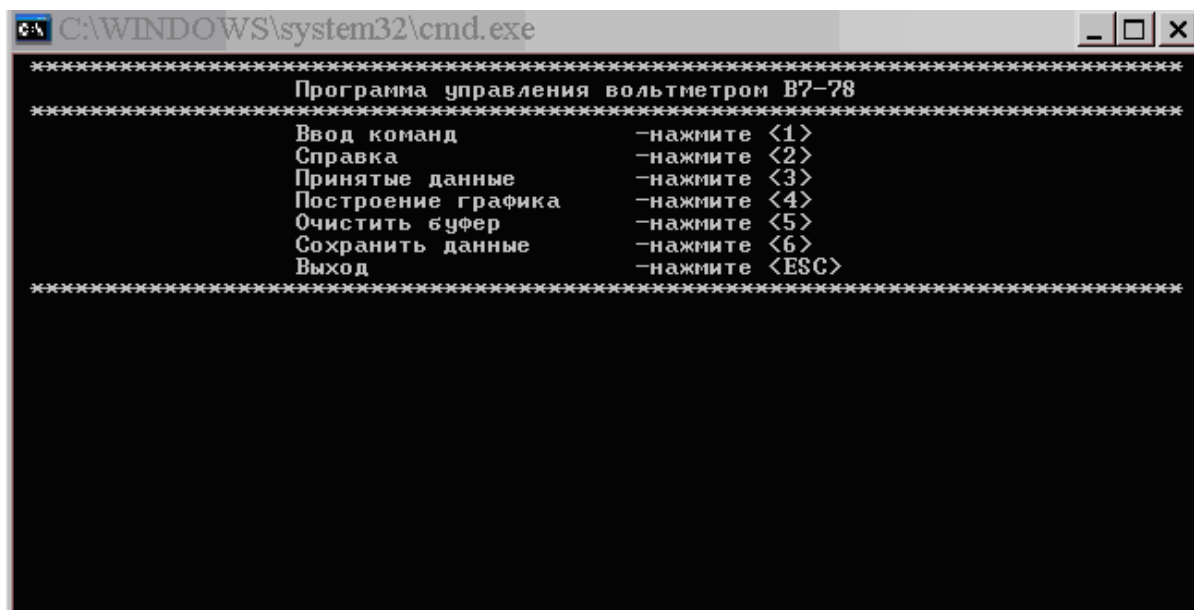


Рисунок 3.5 - Фрагмент запуска программы

## Основные подмодули программы

### 1 Подмодуль «ЗАДАНИЕ КОМАНД ИП»

Подмодуль «ЗАДАНИЕ КОМАНД ИП» предоставляет возможность оператору задать команду для конфигурирования ИП по интерфейсу RS-232. В логике модуля предусмотрено задание команд как в ручную оператором, так и программно.

Задание команд оператором заключается в вводе строки команды в меню и нажатии клавиши **<Enter>**, при запуске команды на исполнение. Команда оператора должна соответствовать формату команд SCPI. Далее программа сама разбивает команду на байты и выставляет данные на COM-порту, откуда они считываются ИП. Если не возникло никакой ошибки при передаче данных, то данные переносятся в память ИП и могут быть считаны. Для этого программа опрашивает COM-порт ЭВМ на наличие данных.

Программное задание команд предусматривает считывание значений постоянного напряжения и тока с максимальной частотой 2 показания в секунду. Смысл производимых программой операций заключается в следующем, вольтметр конфигурируется на работу в удаленном режиме управления командой «**SYST:REM**», затем в зависимости от того какого рода значения хочет получить оператор, производится посылка команды: «**CONF:VOLT:DC**» - для измерения напряжения, «**CONF:CURR:DC**» - тока. Далее оператору предоставляется возможность сконфигурировать процесс измерения, задав значения интервала между считываниями показаний и число отсчетов. Считывание данных в буфер вывода происходит по команде «**READ?**». Алгоритм работы подмодуля приведен на рисунке 3.6.

### 2 Подмодуль «ВЫЗОВ СПРАВКИ»

Подмодуль «ВЫЗОВ СПРАВКИ» осуществляет вывод на экран монитора справки по пользованию программой. Вывод справки на экран осуществляется

процедурой **HelpMenu** реализованной в модуле INTERFAC. Листинг данного модуля приведен в Приложении Б.

### 3 Подмодуль «ВЫВОД ДАННЫХ НА ЭКРАН»

Подмодуль «ВЫВОД ДАННЫХ НА ЭКРАН» осуществляет удобный вывод данных на экран монитора полученных от ИП. Вывод осуществляется только при наличии хотя бы одного значения в буфере. Вывод осуществляется по 10 значений, затем оператору необходимо нажать клавишу **<Enter>** для просмотра следующих десяти. Реализация данной функции изложена в модуле MAIN.

### 4 Подмодуль «ВЫВОД ГРАФИКА НА ЭКРАН»

Подмодуль «ВЫВОД ГРАФИКА НА ЭКРАН» осуществляет построение графика по полученным значениям и вывод его на экран монитора. Все процедуры необходимые для вывода графика на экран реализованы в модуле PAINT. Для построения изображения на экране монитора необходимо наличие цветного дисплея и драйвера адаптера VGA. Полученное изображение имеет разрешение 640\*480 пикселей. Максимальное число точек построения 512. Процедуры по выводу и построению графика реализованы в модуле PAINT. Листинг модуля PAINT приведен в Приложении В. На рисунке 2.2 изображена блок-схема данного подмодуля

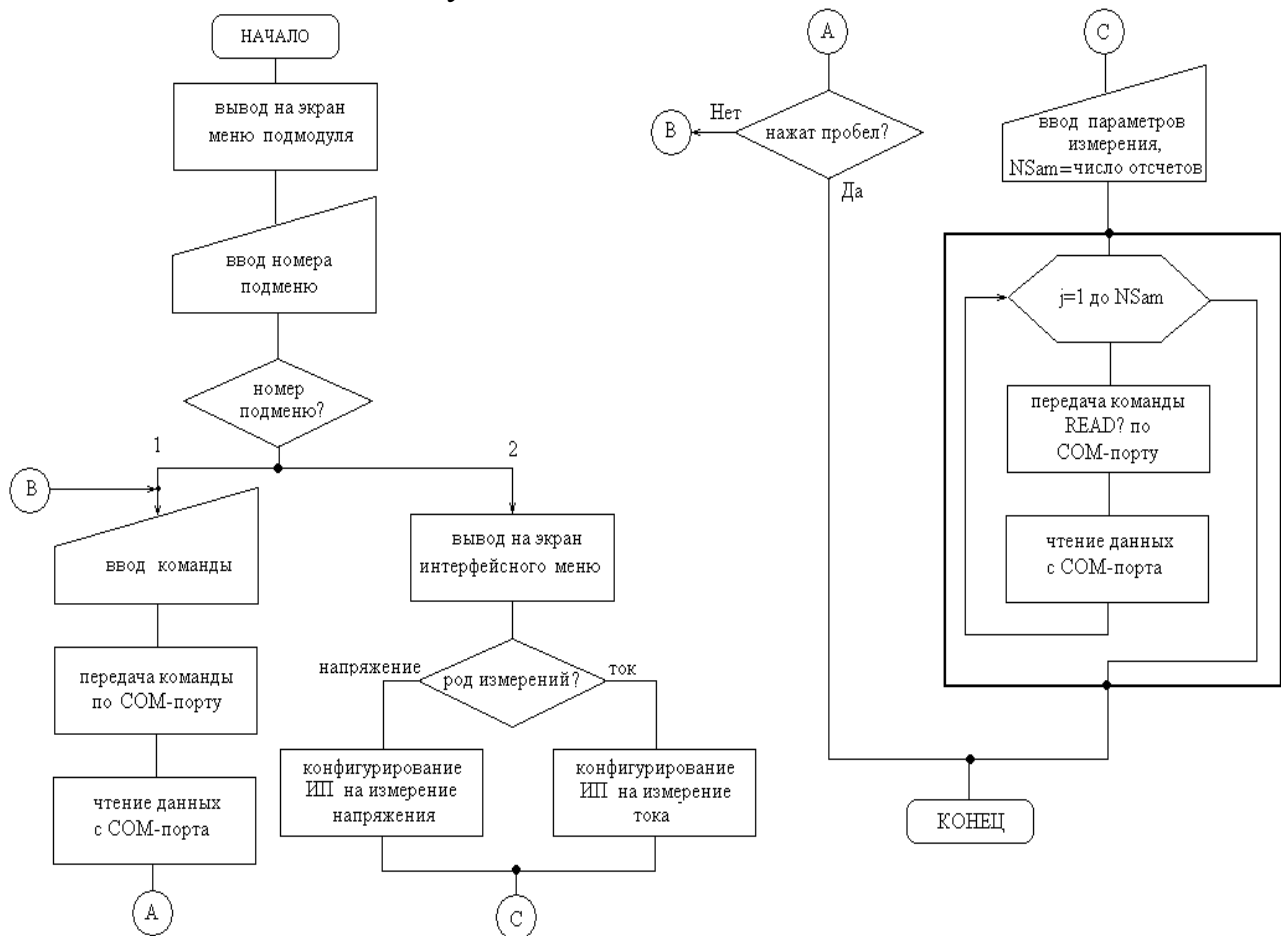


Рисунок 3.6 – Блок - схема работы подмодуля «ЗАДАНИЕ КОМАНД ИП»

### 5 Подмодуль «СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ»

Подмодуль «СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ» осуществляет сохранение данных находящихся в буфере на жесткий диск ЭВМ в файл указанный оператором. Ошибка сохранения может возникнуть, если указанного диска не существует, указанный диск переполнен или диск защищен от записи. При сохранении файла по умолчанию создается папка В7-78 в корневом каталоге указанного диска. Функцию сохранения данных осуществляет процедура **SaveFile** реализованная в модуле MAIN. На рисунке 3.7 изображена блок-схема данного подмодуля.

### 6 Подмодуль «ОЧИСТКА БУФЕРА»

Подмодуль «ОЧИСТКА БУФЕРА» осуществляет удаление данных из буфера и освобождение занятой памяти.

### 7 Подмодуль «ВЫХОД»

Подмодуль «ВЫХОД» осуществляет корректный выход из программы с освобождением занятой памяти для работы, закрытие СОМ-порта.

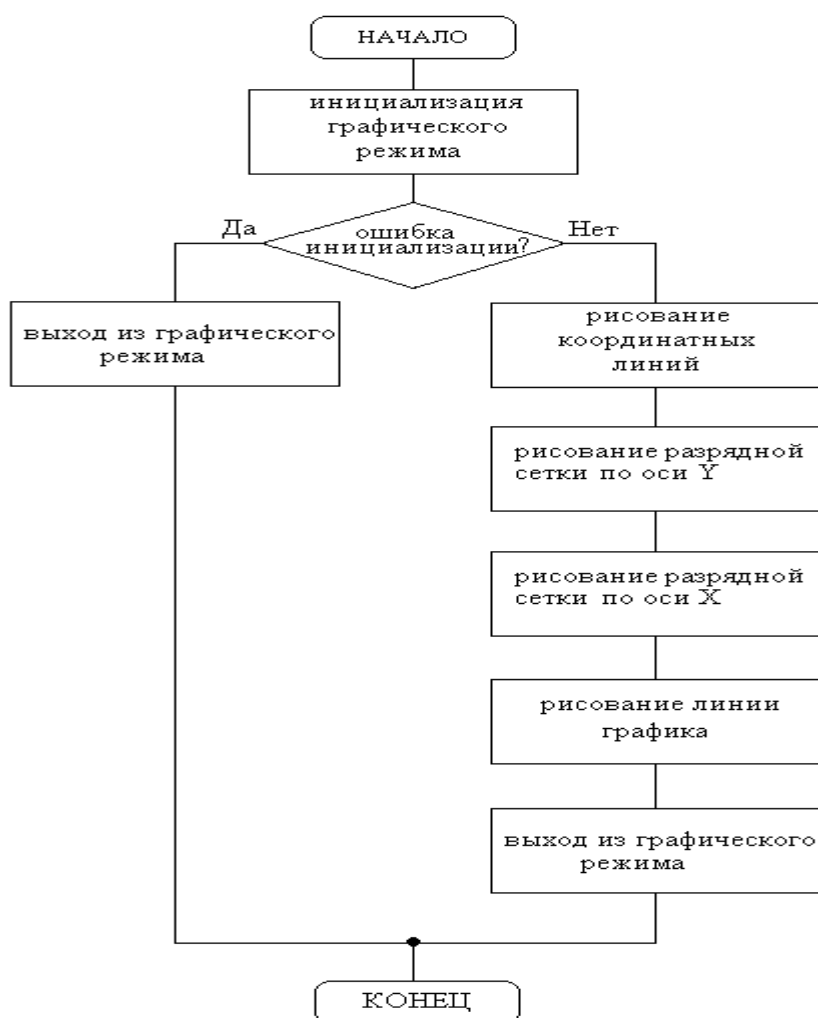


Рисунок 3.7 – Блок-схема подмодуля «ВЫВОД ГРАФИКА НА ЭКРАН»

### 3.3 Содержание отчета

1. При составлении отчета необходимо руководствоваться общими требованиями и правилами оформления отчета о лабораторной работе.

2. В соответствующих разделах отчета необходимо представить:

1) задание (какие параметры измеряются и в каких частях вакуумной установки) (ПК-4, ПК-9, ПК-37);

2) схему измерения параметров процесса (ПК-34);

3) таблицы экспериментальных данных (ПК-36);

4) результаты расчетов, предусмотренных заданием (ПК-10, ПК-36, ПК-42);

5) выводы (ПК-36, ПК-42);

6) листинг программы (ПК-42).

## Лабораторная работа 2. Моделирование условий формирования окисных пленок

### 1 Введение

Цель работы: испытать метод термического испарения для напыления нашей пленки, определить достоинства и недостатки данного напыления. В результате – напыление пленки ZnO.

Оксид цинка входит в круг полупроводниковых материалов, которые в настоящий период наиболее интенсивно изучаются. Благодаря своим уникальным оптическим, акустическим и электрическим свойствам оксид цинка нашел применение при изготовлении прозрачных электродов в солнечных элементах, в газовых сенсорах, в варисторах, в устройствах генерации поверхностных акустических волн.

Будучи прозрачным в широкой области спектра, ZnO обладает высокой стойкостью к облучению, он податлив к химическому травлению и относительно дешев, что делает его привлекательным для применения в микроэлектронике. Благодаря некоторым достоинствам этого широкозонного полупроводника ( $E_G=3.4$  эВ при  $T=300K$ ) имеются перспективы его использования в коротковолновой и высокотемпературной оптоэлектронике, фотопреобразователях и т.п. ZnO имеет большую энергию связи экситона (60 мэВ), что является рекордным для твердотельных бинарных полупроводников (для сравнения энергия связи экситона в GaN - 25 мэВ, в ZnSe - 20 мэВ).

Большая энергия связи экситонов ZnO и его сплавов особо привлекательны для создания излучающих устройств и фотоприемников УФ диапазона на основе ZnO.

В настоящее время металлопленочные элементы используются во многих электровакуумных и полупроводниковых приборах, интегральных схемах, в точных измерителях мощности, вентилях и фильтрах сверхвысоких частот.

На основе пленочной технологии изготавливаются термопары, тензометры, пленочные терморезисторы и многие другие приборы электронной техники. Тонкие пленки находят широкое применение в металлографических исследованиях, при нанесении оптических покрытий. В электровакуумном производстве широко применяются тонкие пленки при изготовлении приемных и передающих электроннолучевых приборов, фотоэлектронных умножителей, электрооптических преобразователей, приборов СВЧ. Они выполняют функции подложек фотокатодов, защитных и отражающих поверхностей, проводящих и резистивных покрытий, электростатических экранов и т. д.

В ходе выполнения лабораторной работы у студентов формируются:

– готовность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК-4);

– способность определять цели и план научных исследований; способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности (ПК-9);

- готовностью обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-10);
- способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-34);
- способность владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники (ПК-36);
- способность обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях (ПК-37);
- способность к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации (ПК-42);

## **2 Теоретическая часть**

### **2.1 Свойства оксида цинка**

1. Белый, желтеющий при нагревании порошок, кристаллы при комнатной температуре бесцветны.

2. Температура плавления:

- при давлении 52 атмосферы — около 2000° С;
- при атмосферном давлении и 1950 °С;

3. Растворяется в щелочах; водном растворе аммиака.

Оксид цинка обладает высокой стойкостью к облучению, податлив к химическому травлению и относительно дешев, что делает его привлекательным для применения в микроэлектронике.

Он нашел применение при изготовлении прозрачных электродов в солнечных элементах, в газовых сенсорах, в варисторах, в устройствах генерации поверхностных акустических волн.

### **2.2 Получение оксида цинка**

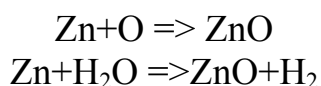
1. Природный минерал цинкит;
2. Сжиганием паров цинка в кислороде («французский процесс»);
3. Термическим разложением соединений:
  - ацетата  $Zn(CH_3COO)_2$
  - гидроксида  $Zn(OH)_2$
  - карбоната  $ZnCO_3$
  - нитрата  $Zn(NO_3)_2$
4. Окислительным обжигом сульфида  $ZnS$
5. Гидротермальный синтез - метод получения различных химических соединений и материалов с использованием физико-химических процессов в закрытых системах, протекающих в водных растворах при температурах выше 100 °С и давлениях выше 1 атм

6. Извлечением из пылей и шламов металлургических комбинатов, особенно тех, что работают на металлоломе в качестве сырья (он содержит значительную долю оцинкованного железа).

7. Извлечением из тройной системы фазового равновесия «нитрат цинка-нитрат амина-вода» (с нитратом пиридина и хинолина размерность частиц порядка 5-10 нм до 75 %)

### 2.3 Метод окисления ZnO

Особенности роста пленки и кинетики окисления кремния определяются структурой и свойствами пленки  $2 SiO_2$ . Окисел обладает открытой пространственно-полимерной структурой с прочными связями  $\equiv Zn - O \equiv$ . Это один из лучших диэлектриков с шириной запрещенной зоны более 8 эВ. Рост окисла происходит в атмосфере сухого кислорода или паров воды согласно реакциям



При этом происходит перераспределение валентных электронов между кремнием и кислородом и образуется ковалентная связь между атомами. Рост окисла сопровождается перемещением границы двух фаз  $Zn - ZnO$  в глубь полупроводника. Однако происходящее при этом расширение объема приводит к тому, что внешняя поверхность  $ZnO$  не совпадает с первоначальной поверхностью цинка (рисунок 2.1)



Рисунок 2.1 – Рост оксида цинка

Если учесть значение плотности и молекулярной массы  $Zn$  и  $ZnO$ , то рост пленки  $ZnO$  толщиной  $x$  происходит за счет цинка толщиной  $0,44 x$ , т.е. можно считать, что толщина окисла примерно в два раза больше толщины поглощаемого им цинка

## 2.4 Модель окисления

Кинетика процесса окисления описывается моделью Дила и Гроува. Она применима для температурного диапазона 700-1300 оС, парциальных давлений  $(0,2-1,0) \times 10^5$  Па (возможно, и для более высоких значений) и толщины окисных пленок 0,03-2 мкм в атмосфере, состоящей из кислорода и (или) паров воды. Процесс окисления состоит из двух этапов - массопереноса окислителя в растущем окисле и протекания химической реакции цинка с окислителем.

На рисунке 2.2 показана модель термического окисления, описываемая тремя потоками окислителя.

1. Массоперенос окислителя через внешнюю границу растущего окисла ZnO из газовой фазы (поток  $F1$ )

$$F1 = h (C^* - C_0) \quad (2.1)$$

где  $h$  - коэффициент переноса окисляющих частиц через внешнюю границу окисла;  $C^*$  и  $C_0$  концентрации окисляющих частиц вне окисла и вблизи поверхности внутри окисла в любой момент времени окисления  $t$ ;

2) диффузия окисляющих частиц через окисел к границе ZnO – Zn (поток  $F2$ )

$$F_2 = D \frac{C_0 - C_i}{x} \quad (2.2)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии окисляющих частиц;  $C_i$  - концентрация окислителя на границе ZnO - Zn ;

3) химическая реакция взаимодействия окислителя с кремнием (поток  $F3$ )

$$F3 = k * C_i \quad (2.3)$$

где  $k$  - константа скорости поверхностной химической реакции окисления кремния. В условиях установившегося равновесия имеет место равенство потоков ( $F1=F2=F3$ )

$$h(C^* - C_0) = D \frac{C_0 - C_i}{x} = k * C_i \quad (2.4)$$

из которого можно определить значения концентрации окисляющих частиц  $C_i$  и  $C_0$

$$C_i = \frac{C^*}{\frac{k}{h} + \frac{kx}{D} + 1} \quad (2.5)$$



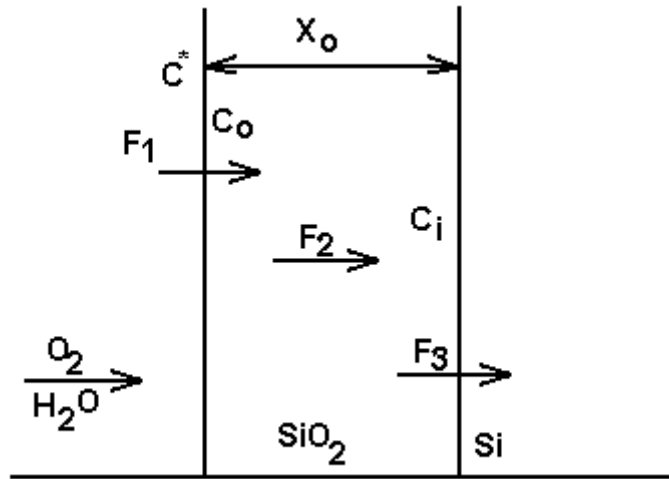


Рисунок 2.2 – Модель термического окисления

$$C_0 = \frac{C^* \left(1 + \frac{kd}{D}\right)}{1 + \frac{k}{h} + \frac{kx}{D}} \quad (2.6)$$

Анализ уравнений (2.5) и (2.6) показывает, что возможны два предельных случая, когда коэффициент диффузии либо слишком мал, либо очень велик. Когда коэффициент диффузии мал,  $C_i \rightarrow 0$ , а  $C_0 \rightarrow C^*$ . В этом случае говорят, что реакция идет при диффузионном контроле, т.е. лимитирующей является диффузионная стадия протекания реакции. Вследствие малого  $D$  поток окислителя через окисел мал по сравнению с потоком, соответствующим реакции на границе Zn - ZnO. Следовательно, скорость реакции зависит от доставки окислителя к границе раздела фаз, а не от скорости его взаимодействия с цинком на этой границе.

Во втором предельном случае, когда коэффициент диффузии велик,  $C_i = C_0 = \frac{C^*}{1 + \frac{k}{h}}$ . Можно сказать, что реакция идет при кинетическом контроле, т.е.

лимитирующей стадией является кинетическая стадия протекания самой реакции. Большое количество окислителя достигает границы раздела ZnO- Zn, и скорость окисления контролируется константой скорости реакции  $k$  и концентрацией  $C_i = C_0$ .

Для расчета скорости окисления необходимо определить число молекул окислителя  $N$ , входящих в единичный объем окисного слоя. В термически выращенном окисле содержится  $2,2 \times 10^{22}$  молекул/см<sup>3</sup>, а для создания одной молекулы ZnO требуется одна молекула кислорода или две молекулы воды. Следовательно, при выращивании пленки в сухом кислороде  $N$  должно быть равно  $2,2 \times 10^{22}$ , а при выращивании в парах воды - вдвое больше. Тогда поток  $F_1 = F_2 = F_3$  можно представить как произведение числа молекул окислителя  $N$  на скорость роста пленки  $\frac{dx}{dt}$

$$N \cdot \frac{dx}{dt} = k \cdot C_i = \frac{k \cdot C^*}{\frac{k}{h} + \frac{kx}{D} + 1} \quad (2.7)$$

Решим это дифференциальное уравнение, предположив, что окисел мог присутствовать на поверхности кремния вследствие предварительных этапов окисления в ходе технологического процесса или его рост мог происходить под воздействием окружающей атмосферы. Это означает, что  $0 \leq x \leq x_0$  при  $t = 0$ . Решение уравнения (2.7) выглядит следующим образом:

$$x^2 + \frac{2D}{k} \left(1 + \frac{k}{h}\right) x = \frac{2DC^*t}{N_1} + x_0^2 + \frac{2D}{k} \left(1 + \frac{k}{h}\right) x_0 \quad (2.8)$$

Обозначим:

$$\frac{2D}{k} \left(1 + \frac{k}{h}\right) = A, \quad \frac{2DC^*t}{N_1} = B, \quad \tau = \frac{x_0^2 + A \cdot x_0}{B}$$

Тогда уравнение 2.8 примет вид:

$$X^2 + Ax - B(t + \tau) = 0 \quad (2.9)$$

Величина  $t$  соответствует сдвигу по временной оси, который учитывает наличие первоначального окисла толщиной  $x_0$ . Решение квадратного уравнения (2.9) для  $x$  как функция времени запишется

$$x = \frac{A}{2} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{t + \tau}{\frac{A^2}{4B}}\right)} - 1 \right] \quad (2.10)$$

Анализ уравнения (2.10) можно провести, задав два значения времени. Один из предельных случаев имеет место при большом времени окисления, т.е. когда  $t \gg \tau$

$$x^2 = Bt \quad (2.11)$$

Уравнение (2.11) представляет собой параболический закон, где  $B$  - параболическая константа скорости окисления. Другой предельный случай имеет место при очень коротком времени окисления, т.е. когда справедливо соотношение  $(t + \tau) \ll A^2 / 4B$

$$x = \frac{B}{A} (t + \tau) \quad (2.12)$$

Уравнение (2.12) представляет собой линейный закон, где  $B / A$  - линейная константа скорости окисления, определяемая выражением

$$\frac{B}{A} = \frac{kh}{k + h} \cdot \frac{C^*}{N_1}$$

реакции окисления с диффузионным и кинетическим контролем. Достаточно простая модель окисления Дила и Гроува обеспечивает хорошее совпадение теоретических результатов с экспериментальными данными для окисления во влажном и сухом кислороде. Эксперименты проводились при окислении в очищенном сухом кислороде (содержание паров воды меньше  $5 \times 10^{-4} \%$ ) и во влажном кислороде (парциальное давление паров воды  $85 \times 10^3$  Па). Учитывая основные уравнения, описывающие процесс роста окисла (2.11) и (2.12), Дил и Гроув получили значения констант  $A$  и  $B$  для процессов окисления в сухом и влажном кислороде, приведенные в табл.2.1 и 2.2. При окислении во влажном кислороде не наблюдается сдвига по временной оси, т.е. при  $t = 0$  толщина окисла  $x_0 = 0$  и, соответственно,  $\tau = 0$

Таблица 2.1 - Константы скорости окисления цинка в сухом кислороде

Температура окисления, °С	A, мкм	Параболическая константа скорости окисления B, мкм <sup>2</sup> /ч	Линейная константа скорости окисления B/A, мкм/ч	$\tau$ , ч
1200	0,040	0,045	1,12	0,027
1110	0,090	0,027	0,30	0,076
1000	0,165	0,0117	0,071	0,37
920	0,235	0,0049	0,0208	1,40
800	0,370	0,0011	0,0030	9
700	.....	.....	0,00026	81

Таблица 2.2 - Константы скорости окисления цинка во влажном кислороде

Температура окисления, °С	A, мкм	Параболическая константа скорости окисления B, мкм <sup>2</sup> /ч	Линейная константа скорости окисления B/A, мкм/ч	$\tau$ , ч
1200	0,05	0,720	14,40	0
1110	0,11	0,510	4,64	0
1000	0,226	0,287	1,27	0
920	0,50	0,203	0,406	0

При окислении в сухом кислороде при  $t = 0$  толщина окисла  $x_0$  примерно равна 0,025 мкм, поэтому при расчетах следует учитывать величину  $\tau$ .

## 2.5 Взаимодействие потока испаренных атомов в пролетном пространстве

Схема испарения представлена на рисунке 2.3.

Условия испарения:

- 1) достаточно интенсивное испарение материала;
- 2) направленный молекулярный поток к подложке;
- 3) конденсация пара на подложке.

В пролетном пространстве должны быть созданы условия для образования атомарного потока. Тогда траектории атомов будут прямолинейны, рассеяния не будет, тень за маской на подложке будет четкой и для атомарного потока станут справедливы законы геометрической оптики Ламберта. Эти условия будут выполняться, если длина свободного пробега молекул газа в технологической камере будет превышать расстояние между испарителем и подложкой. Если

принять расстояние между испарителем и подложкой 10-20 см, то рабочее давление газа в камере распыления должно быть ниже  $10^{-2}$  Па.

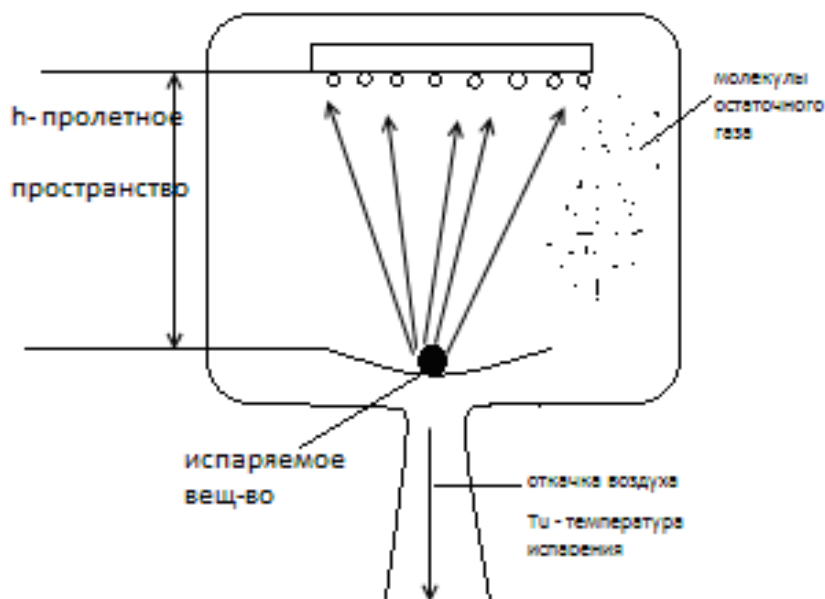


Рисунок 2.3 – Процессы в пролетном пространстве

## 2.6 Способы испарения

Существующие испарители можно разделить на две группы: испарители с непосредственным нагревом и испарители с косвенным нагревом. Испарителями с непосредственным нагревом называются такие испарители, в которых ток пропускается непосредственно через испаряемый материал.

Такой метод испарения может быть применен только для проволочных или ленточных материалов, температура испарения которых ниже температуры плавления. Преимущество метода испарения с непосредственным нагревом заключается в том, что при этом отсутствуют элементы подогревателя, способные загрязнить наносимую тонкую пленку.

При испарении с косвенным нагревом предусматриваются специальные подогреватели, при помощи которых испаряемое вещество нагревается до температуры, соответствующей температуре испарения. Выбор материала подогревателей определяется в основном следующими основными требованиями:

1) давление насыщенных паров материала подогревателя должно быть пренебрежимо малым при рабочих температурах испарения;

2) испаряемый материал в расплавленном состоянии должен хорошо смачивать материал подогревателя, обеспечивая таким образом хороший тепловой контакт;

3) не должно происходить никаких химических реакций между материалом подогревателя и испаряемым металлом, а также не должны образовываться сплавы между этими веществами. Образование сплавов может привести к загрязнению и разрушению подогревателя.

## 2.7 Контрольные вопросы

1. Перечислить основные способы получения оксида цинка?
2. Какие основные свойства оксида цинка?
3. Нарисовать зависимость массопереноса от расстояния?
4. Описать метод термического испарения в вакууме.
5. Как будет изменяться время напыления пленки при уменьшение температуры?
6. Перечислите основные условия испарения (метод термического испарения)?

## 3 Экспериментальная часть

### 3.1 Описание метода термического испарения в вакууме

Суть метода заключается в нагреве вещества до температуры испарения, его испарении и последующей конденсации в вакууме на подложке. Получение пленок возможно только при низких давлениях в вакуумных установках. Схема установки показана на рисунке 3.1.

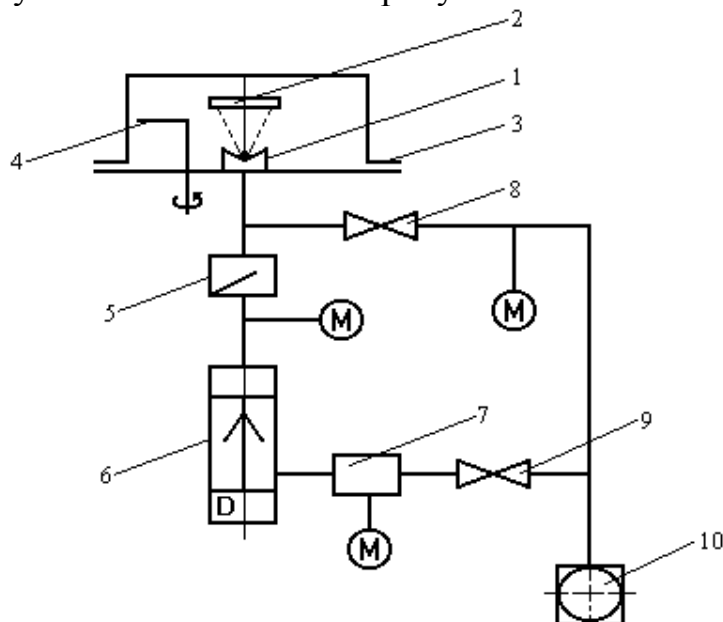


Рисунок 3.1 - Схема установки вакуумного напыления

В условиях высокого вакуума материал, помещенный в испаритель 1, разогревается и испаряется, в результате чего молекулы вещества движутся к подложке 2, где они конденсируются, образуя пленку. Процесс осуществляется

внутри камеры 3, связанной с непрерывно работающей системой откачки воздуха. Вакуумная система состоит из высоковакуумного паромасляного насоса 6 и механического насоса 10. Подключение насосов к рабочей камере осуществляется с помощью вакуумных вентиляей по основной и вспомогательной линиям откачки. Откачка рабочей камеры 3 производится через отверстие в рабочей плите установки. На входе паромасляного насоса 6 устанавливаются маслоотражатель и затвор 5, отделяющий входной патрубок насоса от рабочего объема. По основной линии откачка производится следующим образом: рабочая камера 3 - открытый затвор 5 - насос 6 – форбаллон 7 - открытый ventиль 9 - насос - 10, а по вспомогательной линии: камера 3 - открытый ventиль 8 - насос 10.

При этом ventиль 9 должен быть закрыт. С помощью вспомогательной линии откачки в рабочей камере создается давление порядка 10 Па, необходимое для работы высоковакуумного насоса. Затем ventиль 8 закрывают, открывают ventиль 9 и затвор 5 и дальше производят откачку по основной линии, предварительно включив нагреватель паромасляного насоса.

Таким образом, для осуществления процесса термического испарения в вакууме необходимо обеспечить следующие основные условия: достаточно интенсивное испарение материала, направленный молекулярный поток к подложке и конденсацию пара на подложке.

### 3.2 Задание на работу

1. Выбор режимов формирования пленки (температура, расстояние)
2. Провести раскрой стекла (1x2 см). Очистка элементов от загрязнений. Стекла обработать ацетоном, саму камеру промыть проточной водой, так же провести очистку цинка.
3. Провести формирование пленки
4. Измерить поверхностное сопротивление и толщину пленки
5. Провести визуальный анализ пленки
6. Поместить генератор пара (вымоченный в воде кирпич) и напыленные стекла с барокамерой в печь.
7. Прогреть образцы (1 час, 100 градусов)
8. Провести анализ полученного окисленного слоя на светопропускание, на сопротивление, на цветовую гамму

### 3.3 Обработка результатов

Проследите за полученными результатами, как происходит напыление? Какая получается пленка? Что необходимо сделать, чтобы устранить недостатки (если такие имеются) напыленной пленки?

Сравнить полученные результаты с эталонами.

Ориентировочные данные эталона

1. При испарении сопротивление  $\sim 0\text{М}/\text{кв.м}$ , при окислении -  $R \gg \sim 16\text{кОм}$  в течение 3 часов (график 3.2), 300 °С

2. Массоперенос от расстояния - из графика 3.3 видно, что оптимальное расстояние для напыления пленки - 70 мм. Окисление связано с оптимальной толщиной пленки.

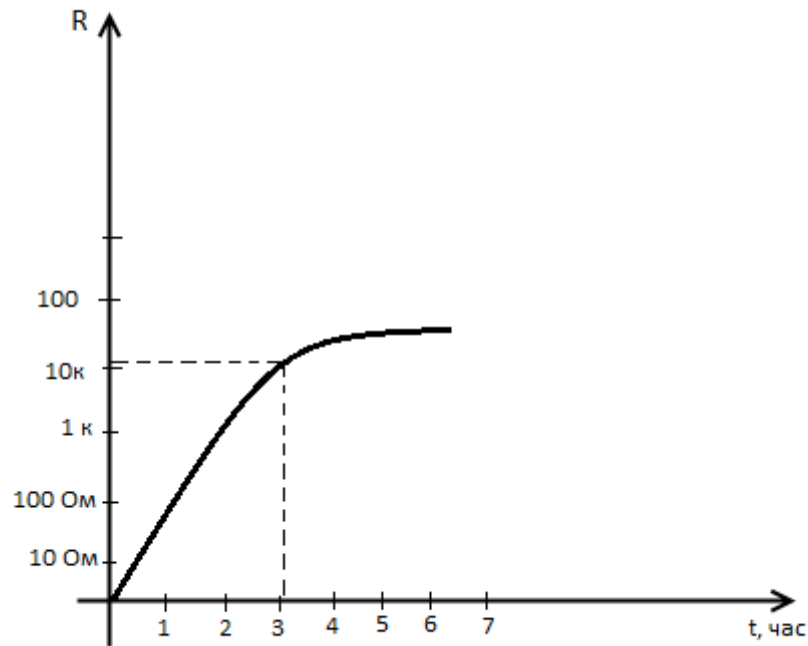


Рисунок 3.2 – График зависимости сопротивления от времени

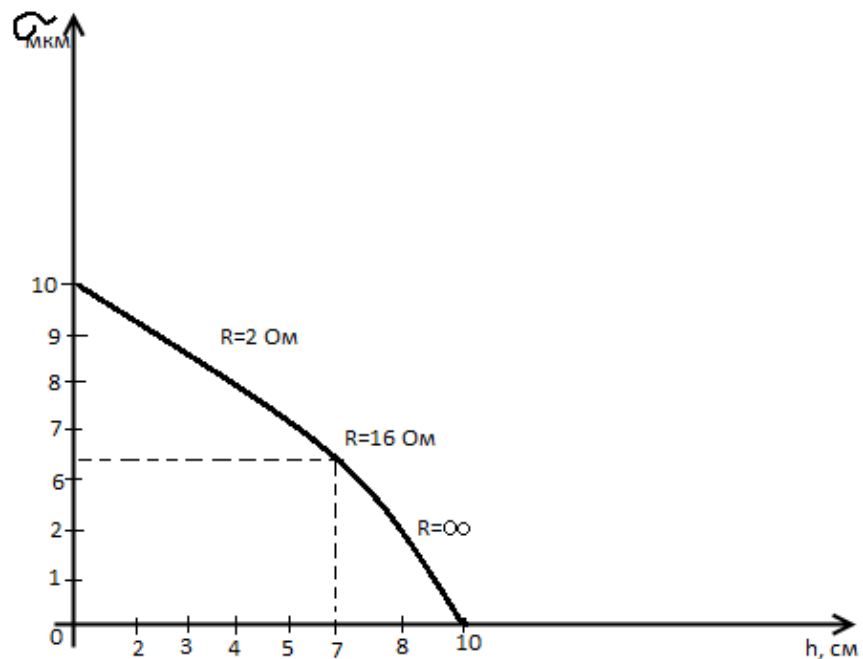


Рисунок 3.3 – График зависимости массопереноса от расстояния

### 3.4. Содержание отчета

3.4.1. В отчете представляется цель, задание на работу и материалы, подтверждающие выполнение. (ПК-9, ПК-10)

3.4.2. Графические материалы должны содержать схему установки с назначением всех элементов и их основными характеристиками, экспериментальные зависимости. Варианты вакуумных вводов и соединений (ПК-34, ПК-36, ПК-37).

3.4.3. Расчетные материалы должны содержать расчет проводимости трассы, расчет скорости откачки объема, расчет времени откачки, расчет газовыделений с поверхности элементов системы, расчет потока из измерений изменения давления во времени, расчет согласования откачных средств (ПК-9, ПК-10, ПК-42).

3.4.4. Пояснительные записи должны содержать алгоритм включения и выключения установки, основной перечень аварийных ситуаций и методов их устранения (ПК-4, ПК-36)

3.4.5. Выводы по работе, включая сведения по диапазону работы датчиков, насосов (ПК-36, ПК-42)

3.4.6. Список использованных источников

3.4.7. Приложения могут содержать распечатку расчетов и графиков на ЭВМ, но обязательно иметь промежуточные и заключительные комментарии (ПК-36, ПК-42)



## Лабораторная работа 3. Сервисное обслуживание вакуумной установки УВН 2М-1

### 1 Введение

Целью настоящей работы является комплексное исследование УВН 2М-1.

В ходе выполнения лабораторной работы у студентов формируются:

- готовность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК-4);

- способность определить цели и план научных исследований; способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере профессиональной деятельности (ПК-9);

- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-10);

- способность владеть методикой оценки технологических нормативов при производстве новой техники (ПК-36);

- способность обеспечивать экологическую безопасность производства на предприятиях (ПК-37);

- способность к разработке методов инженерного прогнозирования и диагностических моделей состояния приборов и систем фотоники в процессе их эксплуатации (ПК-42).

## 2 Теоретическая часть

### 2.1 Описание установки

#### 2.1.1 Вакуумная схема установки

На рисунке 2.1 изображена вакуумная схема установки.

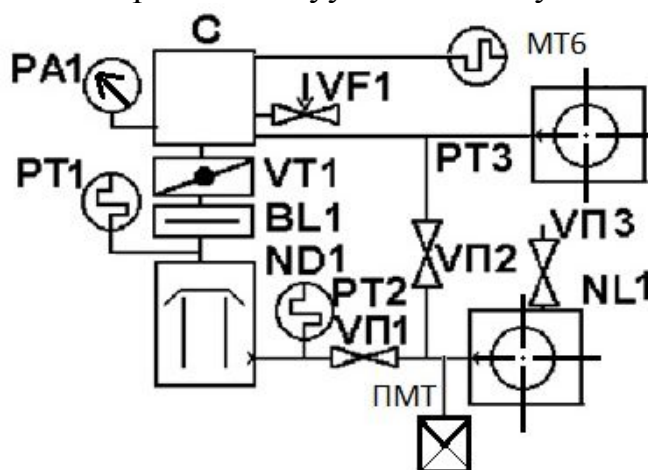


Рисунок 2.1 – Вакуумная схема установки

На рисунке 2.1 вакуумная камера С откачивается с помощью диффузионного насоса ND1 с ловушкой BL1 и двумя диффузионными насосами

NL1, NL2. Так же присутствуют вакуумные затворы VT1, VP2, VP3. Давление измеряется с помощью датчиков ПМТ, МТ6, РТ1, РА1.

Вакуумную камеру следует содержать в чистоте. При разгерметизации вакуумная камера работает как пылесос. Пыль воздуха оседает в труднодоступных местах. Чистка вакуумных камер и отдельных элементов установок от ранее распыленных материалов должна проводиться по специальной технологии, разрешенной отделом техники безопасности. Не допускается чистка камер механическими средствами или наждачными шкурками без использования вытяжных пылесосов и противогазов с протяженными воздуховодами. Иногда для чистки камер могут использоваться слабые щелочные или кислотные растворы. В некоторых случаях очистка мелких деталей может проводиться путем прокаливания.

### **2.1.2 Схема работы вакуумной установки**

*Алгоритм включения установки рекомендуется проводить в следующей последовательности:*

- 1) составить вакуумную схему установки;
- 2) закрыть все вентили;
- 3) перевести все тумблеры влево/вниз;
- 4) провести внешний осмотр установки на наличие нагревателя на диффузионном насосе, наличие воды для охлаждения, отсутствие посторонних предметов, проводов и т.п.;
- 5) провести импульсное включение механического насоса (рывками);
- 6) открыть обводную (байпасную) систему для откачки рабочей камеры;
- 7) по достижении вакуума  $\sim 0,1$  мм рт. ст. включить нагреватель диффузионного насоса и ждать 45 минут до выхода установки на высокий вакуум.

При работе категорически запрещается оставлять установку без присмотра, отвлекаться на посторонние дела или проводить работы, не предусмотренные программой процесса.

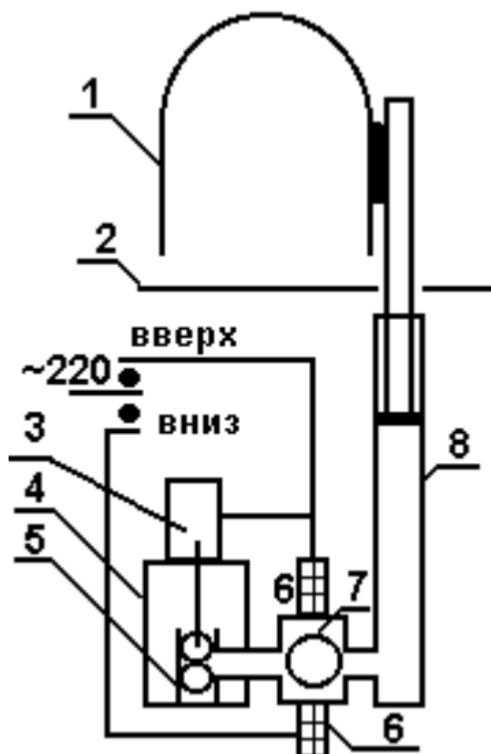
*Алгоритм выключения установки рекомендуется проводить в следующей последовательности:*

- 1) производится выключение измерительной аппаратуры и вакуумметров;
- 2) закрывается вентиль на входе диффузионного насоса. Выключается нагреватель диффузионного насоса. Выдерживается время  $\sim 40$  мин для остывания диффузионного насоса;
- 3) закрываются вентили на выходе диффузионного насоса;
- 4) выключается форвакуумный насос;
- 5) выключается охлаждение установки.

### **2.1.3 Гидравлическая система вакуумной установки**

На рисунке 2.2 представлена схема гидравлической системы вакуумных

установок.



1 – вакуумная камера; 2 – рабочая плита установки; 3 – электродвигатель; 4 – масляный бак; 5 – масляный шестеренчатый насос; 6 – электромагниты; 7 – распределитель с шариком; 8 – гидроцилиндр.

Рисунок 2.2 – Схема гидравлической системы вакуумной установки

При нажатии кнопки «ВВЕРХ» замыкается цепь электродвигателя и верхнего электромагнита. Шарик поднимается электромагнитом и шестеренчатый насос качает масло в гидроцилиндр 8. В это время вакуумная камера поднимается вверх. При нажатии кнопки «ВНИЗ» замыкается цепь нижнего электромагнита. Шарик уходит вниз и масло сливается обратно в масляный бак.

#### 2.1.4 Электрические схемы

В устройствах электропитания трансформаторы применяются для преобразования напряжения, преобразования числа фаз в фазовращателях и т.д.

В установках нашли применение несколько схем регулирования напряжения. Наиболее распространенная схема – это схема с автотрансформатором. На рисунке 2.3 представлены схемы с применением автотрансформатора для нагрева испарителя

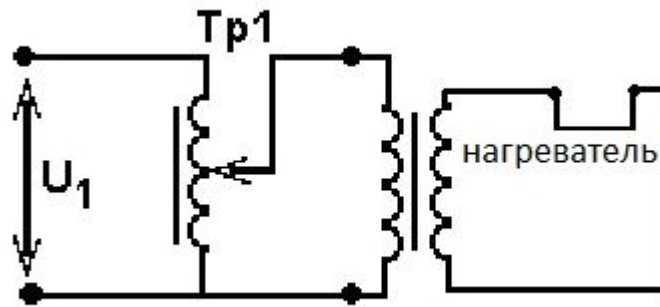


Рисунок 2.3 – Схемы питания испарителя.

Достоинством схем с авторегуляторами являются:

- 1) плавная регулировка напряжения до нуля;
- 2) передача синусоиды напряжения без искажений.

Недостатком автотрансформаторных схем являются:

- 1) отсутствие развязки по напряжению. (При малом снятом напряжении относительно конца обмотки, напряжение относительно «земли» равно 220 В);
- 2) наличие подвижного изнашиваемого контакта провоцирует съём напряжения сразу с двух соседних витков. Вследствие этого возникает КЗ-виток и загорание регулятора.

Регулирующим элементом могут выступать тиристорные регуляторы. На рисунке 2.4 представлены схема для нагрева подложки.

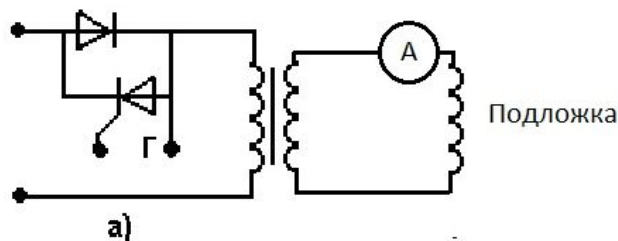


Рисунок 2.4 – Схемы для нагрева подложки

Тиристорные схемы позволяют регулировать напряжение по первичной и по вторичной обмотке трансформатора (а). Преимущества тиристорных схем проявляются при необходимости регулировать большие токи. Тиристор открывается импульсами, подаваемыми от генератора Г. Известно достаточно большое количество выпрямительных устройств. Однополупериодные схемы содержат один выпрямляющий диод на фазу и нагрузку. Такие схемы применяются при небольших мощностях нагрузки и малых требованиях к пульсациям напряжения. На рис. 2.5 приведена схема питания магнетрона.

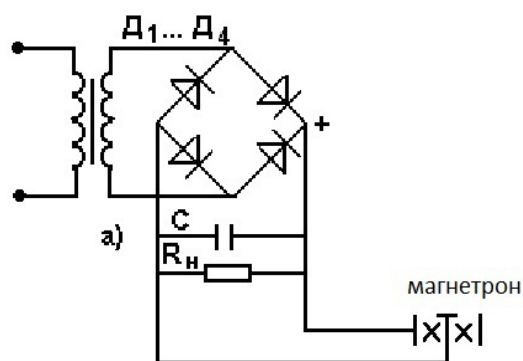


Рисунок 2.5 – Схема питания магнетрона

Схема может содержать емкость  $C$  для сглаживания пульсаций.

Для получения вакуума в рабочей камере служит вакуумный агрегат, электрическая схема которого представлена на рис. 2.6. Электродвигатель форвакуумного насоса ФН соединен с электросетью 220/380 В через плавкие предохранители  $F_u$  и включается замыканием контактов магнитного пускателя П1 через тумблер  $K1$ , расположенный на пульте управления. Сигнальные неоновые лампы  $Л$  подключены параллельно контактам пускателя через резисторы  $R$  величиной по 150 кОм и свидетельствует о наличии напряжения на выводах электродвигателя. Обычно такие лампы стоят в каждую фазу. Это позволяет заметить обрыв цепи питания, и не допустить работу двигателя на двух фазах, поскольку в таком режиме двигатель перегревается и может выйти из строя. (При работе на двух фазах от электродвигателя исходит характерный несвойственный звук).

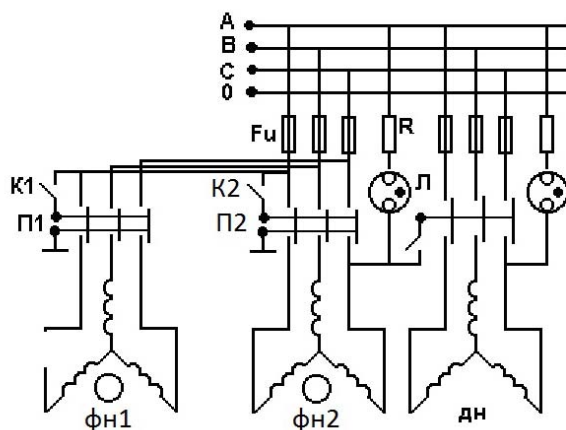


Рисунок 2.6 – Электрическая схема вакуумного агрегата

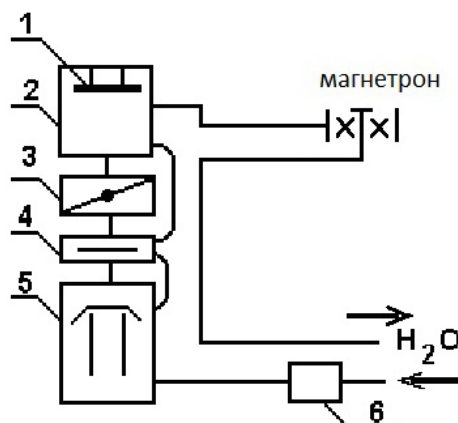
### 2.1.5 Схема охлаждения

Воздушное охлаждение применяется при наличии передвижных вакуумных постов или для охлаждения источников частиц с выделяемой тепловой мощностью до ста ватт. Чаще всего охлаждается катод, находящийся под высоким потенциалом. Особенность воздушного охлаждения источников

является наличие турбины со скоростью вращения 2800 об/мин и более, расположенной на расстоянии большем, чем может развиться пробой по воздуху на турбину.

На рисунке 2.7 представлена упрощенная обобщенная схема водяного охлаждения электрофизических установок

Вода из магистрали подается на водяное реле 6, а затем поступает на коллектор. Часть трассы направляется на охлаждение высоковакуумного насоса 5, стенок вакуумной камеры 2, стенок трансформаторов, токовводов или элементов привода обрабатываемой детали. Прощедшая вода направляется в выходной коллектор.



1 – катод-мишень; 2 – вакуумная камера; 3 – вакуумный затвор; 4 – ловушка паров масел; 5 – диффузионный насос; 6 – водяное реле.

Рисунок 2.7 – Схема водяного питания вакуумной установки

Другая часть водяной магистрали из приемного коллектора через длинные шланги (змеевик 5 метров и более) укладывается в емкость 7 из изолятора и направляется на охлаждение катода или мишени 1, находящихся под высоким потенциалом. После катода шланг опять укладывается в емкость из изолятора и далее направляется к выходному коллектору. Такая длинная трансмиссия шлангов необходима для обеспечения высокого водяного сопротивления, чтобы высокое напряжение «не уходило в землю» по воде. Ток утечки через воду не должен превышать 2-3 мА при напряжении 20 кВ. В ряде случаев для сокращения габаритов и повышения рабочего напряжения водяное охлаждение подводят к баку с маслом. В баке располагается масляный насос, прокачивающий охлажденное масло через катод, или мишень.

### 3 Экспериментальная часть

#### 3.1 Конструкции соединений пушки

Приведем пример соединения с резиновым уплотнением рисунок 3.1.

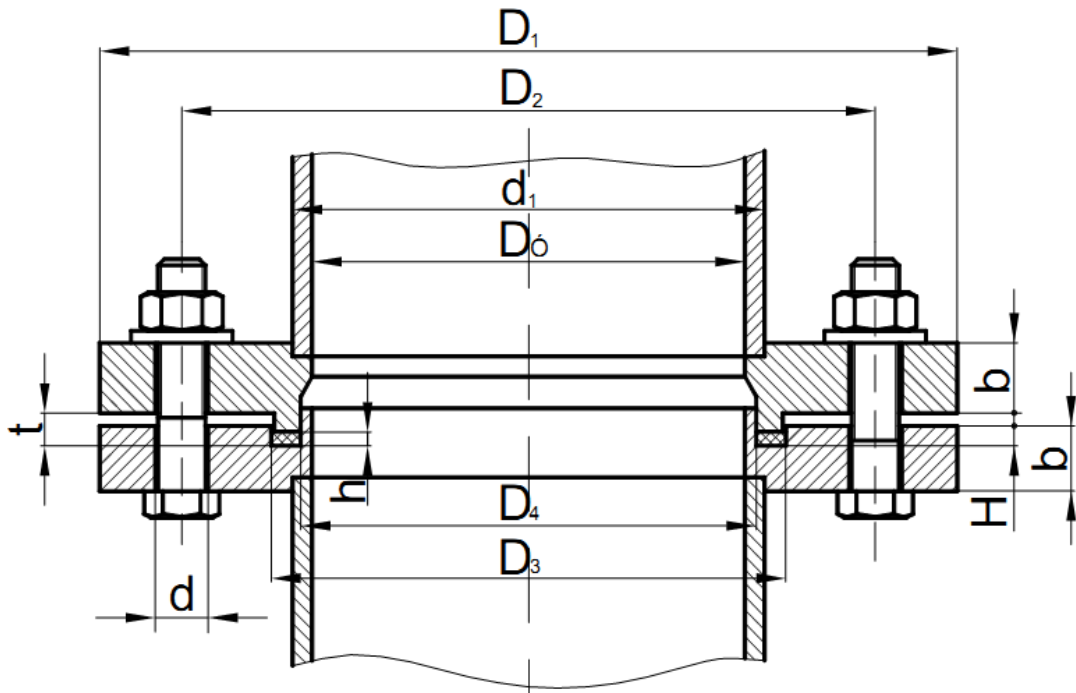


Рисунок 3.1 – Соединение с резиновым уплотнением

Ниже изображен пример соединения с плоской металлической прокладкой и канавочно-клиновым уплотняющим профилем (рис.3.2).

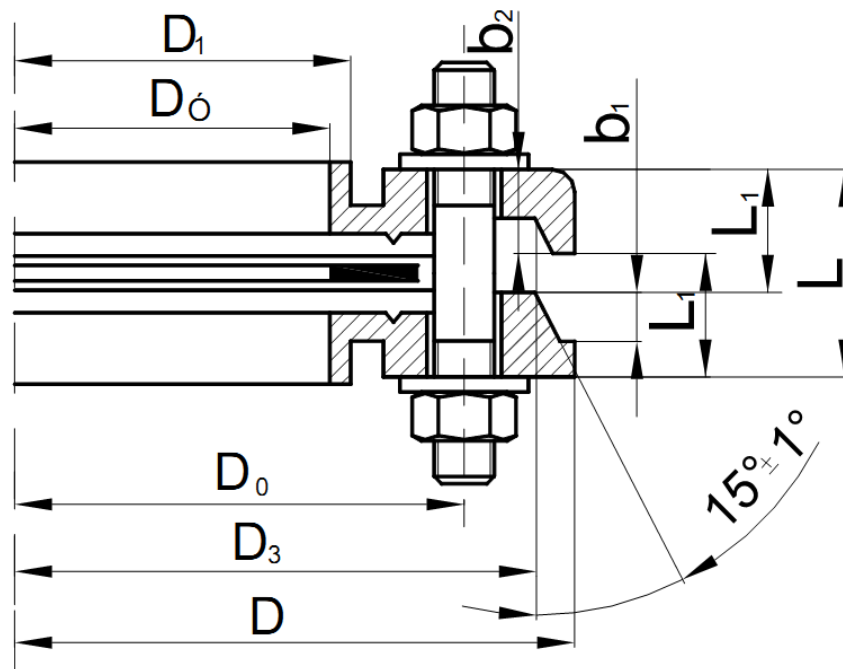


Рисунок 3.2 – Соединение с плоской металлической прокладкой и канавочно-клиновым уплотняющим профилем

Рассмотрим конструкцию соединений пушки на примере плазменного источника электронов (рис.3.3).

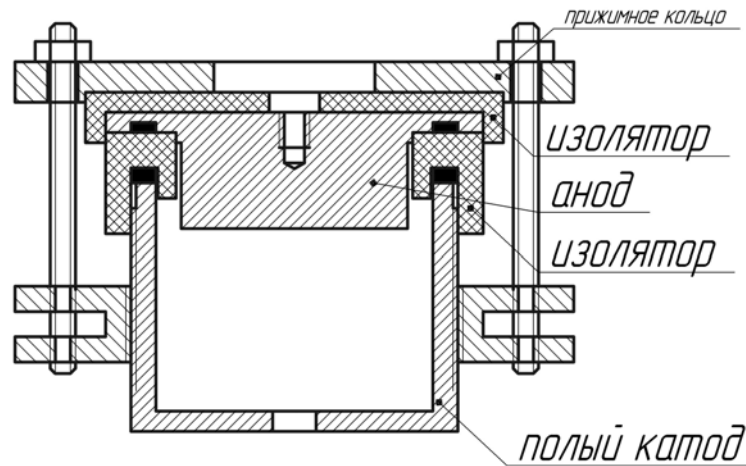


Рисунок 3.3 – Конструкция соединений пушки на примере плазменного источника электронов

### 3.2 Высоковольтная схема питания источника электронов

Источники на основе разряда Пеннинга построены на основе извлечения частиц из плазмы газового разряда. Газовый разряд может гореть при давлениях от 1-0,1 Па. Стимулирование горения разряда при малом давлении достигается магнитным полем.

На рисунке 3.4 приведена схема питания электронно-лучевой пушки на основе разряда Пеннинга.

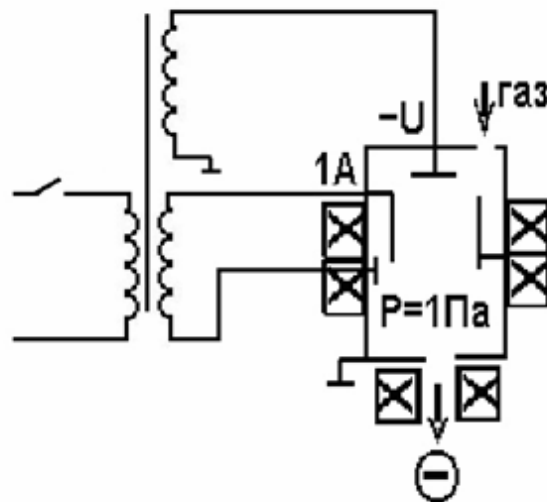


Рисунок 3.4 – Схемы питания электронно-лучевой пушки на основе разряда Пеннинга



### 3.3 Сервисное обслуживание установки

#### 3.3.1 Исследование и сервисное обслуживание термопарного датчика

Чаще всего измерители вакуума выходят из строя из-за включения их на высоком давлении. В это время происходит перегорание катода, окисление электродов, уменьшение эмиссии, запредельная генерация тока ионов и т.д, что выводит из строя усилитель и датчик. Сервисное обслуживание (ремонт) аналоговой техники заключается в замене датчиков и замене элементов выходного каскада. В последнее время появились цифровые измерители вакуума и температуры типа МИНИТЕРМ, МЗТА, ПРОТЕРМ и др. Сервисное обслуживание подобных устройств заключается в соблюдении условий эксплуатации, указанных в инструкции к приборам. Если срок эксплуатации более двух лет, то в микросхемах возможна взаимодиффузия слоев и могут появляться ложные команды.

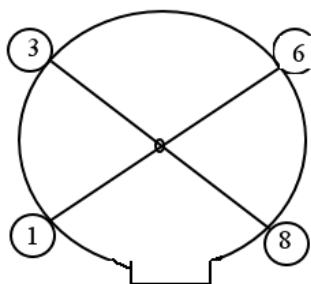
*Поиск причин неисправности термопарного датчика давления ПМТ-4М.*

При разборе датчика давления были обнаружены следы масла и посторонние предметы. Датчик был промыт бензином-калошей, а посторонний предмет – извлечен.

Приведем основные технические данные датчика.

#### 3.3.2 Преобразователь манометрический термопарный ПМТ-4М

Преобразователь манометрический термопарный ПМТ-4М предназначен для преобразования изменения давления газа в электрический сигнал.



ключ

Рисунок 3.5 – Схема соединения электродов с выводами

Обозначение вывода	Наименование электрода
1	Хромель (+)
3,8	Нагреватель
6	Копель (-)

Таблица 3.1 – Основные технические данные

Рабочий диапазон давлений, Па (мм рт. ст.)	0,133-13,3 ( $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-1}$ )
Ток накала нагревателя, при котором Э.Д.С. термопары равна 10 мВ, мА	100 - 140
Сопротивление термопары, Ом	6 – 8
Отклонение индивидуальной градуировочной кривой от типовой, не более, %	$\pm 50$

На рисунке 3.6 приведена градуировочная кривая представленного датчика.

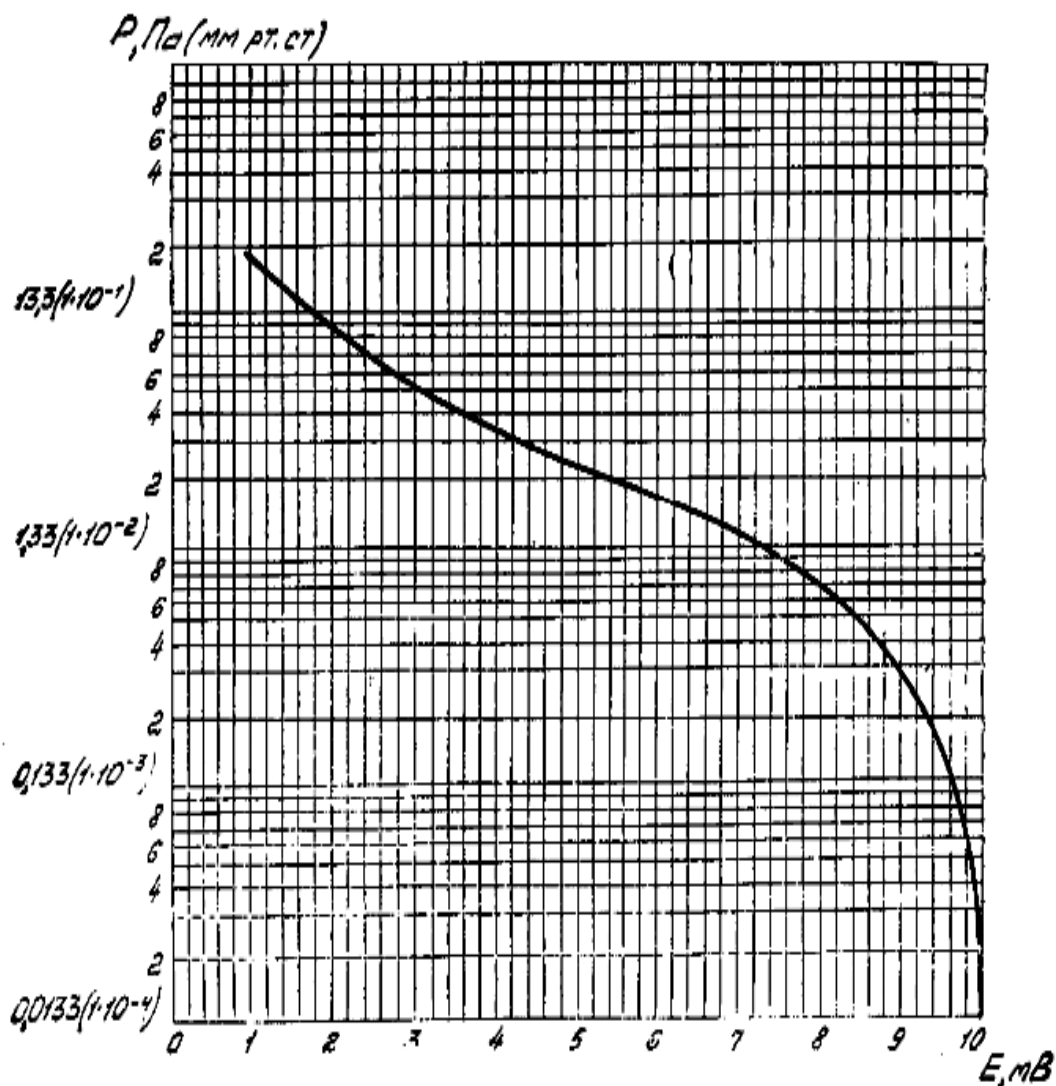


Рисунок 3.6 – Типовая градуировочная кривая

### 3.3.3 Исследование механического насоса на предельный вакуум

В исследуемой установке используется насос вакуумный двухступенчатый пластинчато - роторный НВПР-16-066 производит откачку воздуха, химически неагрессивных газов, паров и парогазовых смесей из герметичных объемов в диапазоне давлений от атмосферного до 0,66 Па ( $5 \times 10^{-3}$  мм рт. ст.). Наличие газобалластного устройства позволяет исключить конденсацию паров при их парциальном давлении на входе насоса до 2000 Па (15 мм рт. ст.). Минимальные габаритные размеры насоса и концентрация узлов регулировки режимов работы, обслуживания и информации во фронтальной зоне насоса улучшает компануемость изделия и его техническое обслуживание. Минимальная масса допускает транспортировку и монтаж насоса без применения средств

механизации.

В таблице 3.2 представлены технические характеристики насоса.

Таблица 3.2 – Технические характеристики насоса НВПР-16-066

Быстрота действия насоса при входных давлениях $1,01 \times 10^5 \dots 133,3$ Па (760...1 мм рт. ст.)	л/с	$16^{+15\%}_{-10\%}$
Предельное остаточное давление, не более при применении масла:		
ВМ-1, ВМ-5 ГОСТ 23013-78		
- полное без газобалласта	Па (мм рт. ст.)	$0,66 (5 \times 10^{-3})$
- полное с газобалластом	Па (мм рт. ст.)	$1,33 (1 \times 10^{-2})$
ВМ-6 ГОСТ 23013-78		
- полное без газобалласта	Па (мм рт. ст.)	$1,33 (1 \times 10^{-2})$
- полное с газобалластом	Па (мм рт. ст.)	$3,9 (3 \times 10^{-2})$
Мощность, потребляемая насосом при номинальном напряжении электропитания в безрасходном режиме, не более	кВт	0,8
Питание насоса - трехфазный переменный ток: напряжение	В	$380 \pm 10\%$
Частота	Гц	$50 \pm 1$
Габаритные размеры	мм	655x235x260
Масса насоса (без масла), не более	кг	50

В таблице 3.3 приведены результаты исследования насоса на предельный вакуум.

Таблица 3.3 – Результаты исследование насоса на предельный вакуум

Время откачки, мин.	2	5	7	10	12	14	36
Скорость откачки, дел.	30	33	34	34	34	34	34

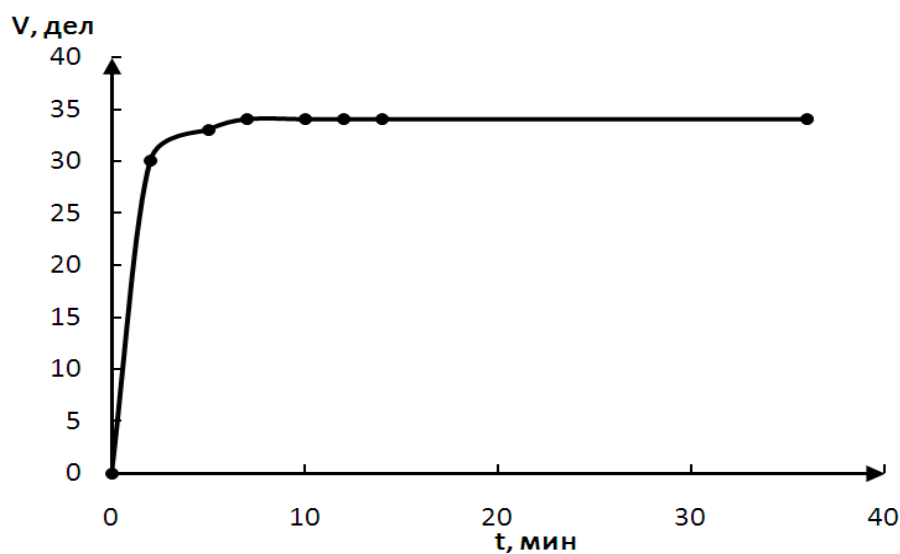


Рисунок 3.7 – Результаты исследование насоса на предельный вакуум

### Десорбционная характеристика

Десорбционная характеристика – это изменение давления во времени в откаченной камере при закрытых затворах. На рисунке 3.8 представлен возможный вариант характеристики.

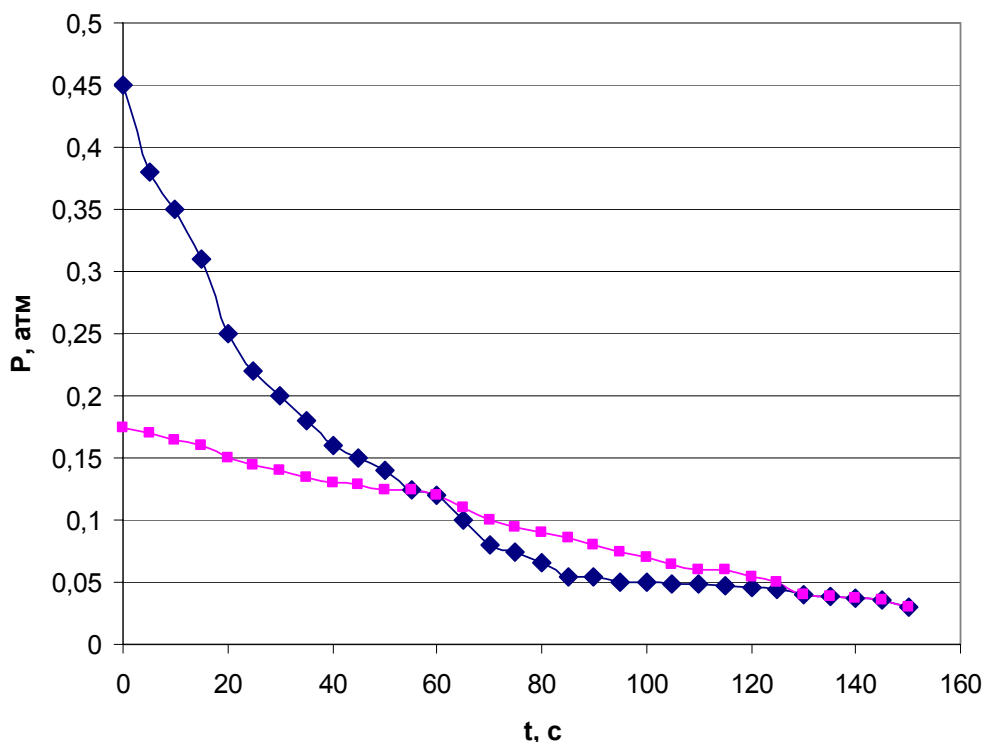


Рисунок 3.8 – Десорбционная характеристика

### 3.3.4 Диффузионный насос 2НВР – 5ДМ

Характеристики насоса представлена в таблице 3.4-3.5 и на рисунках 3.9-3.11.

Таблица 3.4 – Технические характеристики

Характеристика	Параметры
1	2
Быстрота действия в диапазоне давлений на входе от атмосферного до 0.26 кПа (2мм рт. ст.), м <sup>3</sup> /ч л/с	19,8(5,5)
Предельное остаточное давление кПа, (мм рт.ст.), не более, при применении масла: VM-1С ТУ 38.101 1187-88	
парциальное без газобалласта	$1 \times 10^{-5}$ ( $7,5 \times 10^{-5}$ )
полное без газобалласта	$6,7 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-3}$ )
полное с газобалластом	$2,6 \times 10^{-3}$ ( $2,0 \times 10^{-2}$ )
VM-6 ТУ 38.401-58-3-90	
парциальное без газобалласта	$1,3 \times 10^{-5}$ ( $1,0 \times 10^{-4}$ )
полное без газобалласта	$1,3 \times 10^{-3}$ ( $1 \times 10^{-2}$ )
полное с газобалластом	$6,7 \times 10^{-3}$ ( $5,0 \times 10^{-2}$ )
Наибольшее рабочее давление, кПа (мм рт. ст.)	1,33(10)
Объём откачиваемого сосуда, м, не более	3,5

Окончание таблицы 3.4

1	2
Наибольшее давление паров воды на входе насоса, кПа (мм рт.ст.)	2,7(20)
Количество рабочей жидкости, заливаемой в насос, л	1,2±0,1
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	555
ширина	170
высота	280
Масса, кг, не более***	26

\*С таходатчиками типа ТС-210 У2.

\*\* Без учёта фильтра.

\*\*\* Без учёта рабочей жидкости.

Примечание: Быстрота действия и предельное остаточное давление обеспечиваются при температуре окружающего и откачиваемого воздуха от +10 до +25 °С и атмосферном давлении на выходе.

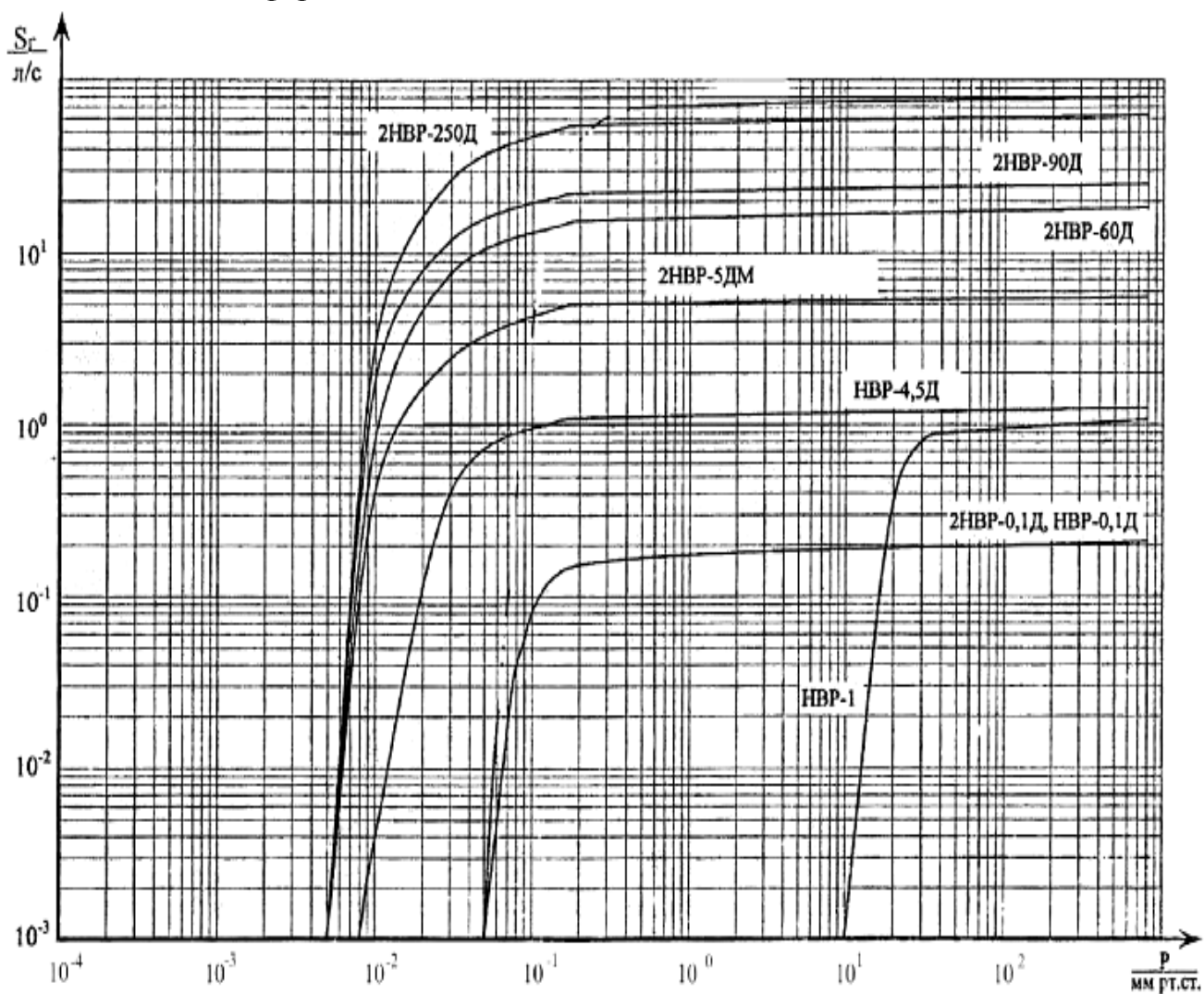


Рисунок 3.9 - Зависимость быстроты действия насосов типа НВР от давления на входе

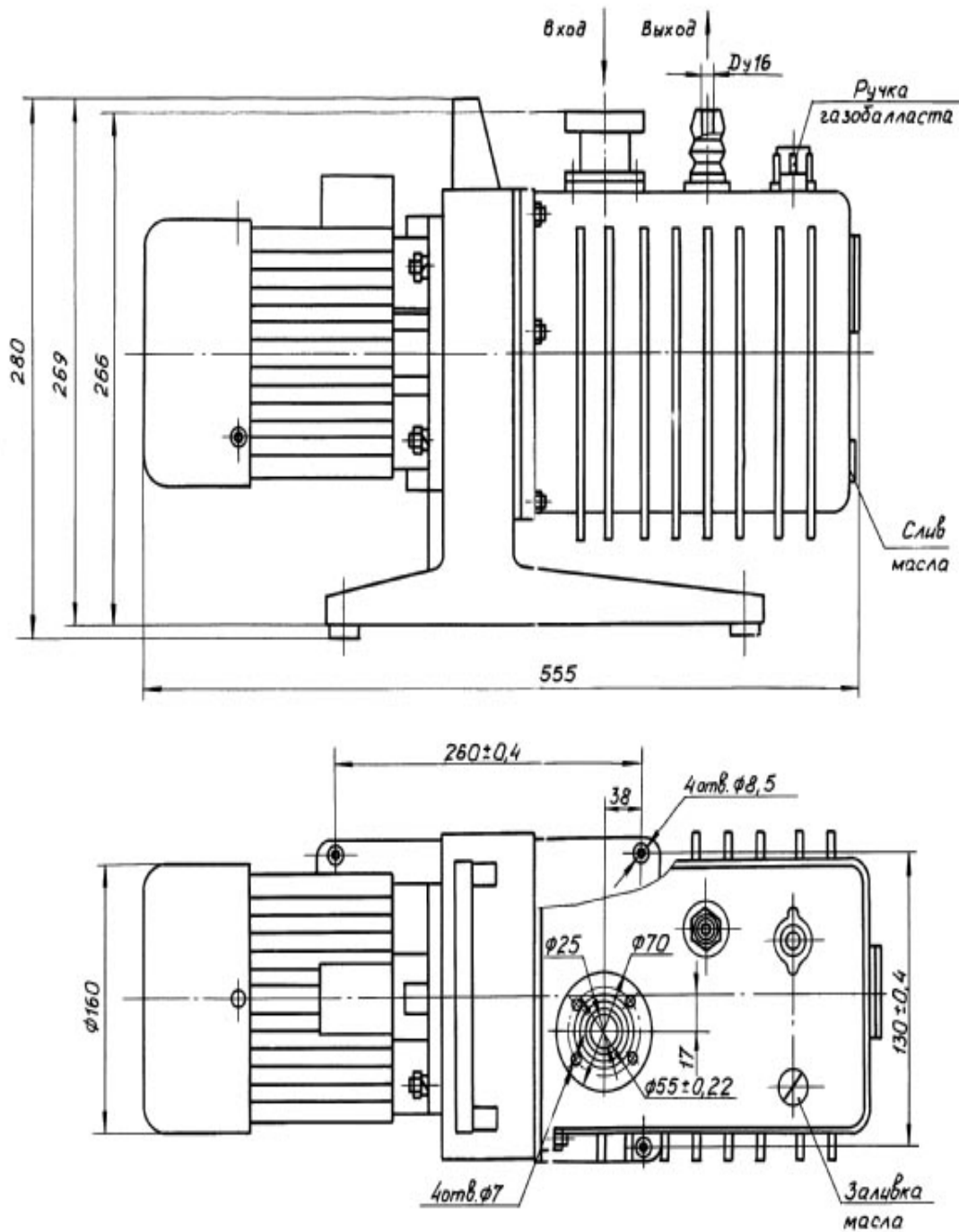


Рисунок 3.10 - Габаритный чертёж насоса 2НВР-5ДМ

Таблица 3.5 – Характеристика времени откачки системы с диффузионным насосом

t, с	1	2	3	4	5	6	8
P, деление	20	25	27	29	29	29	30

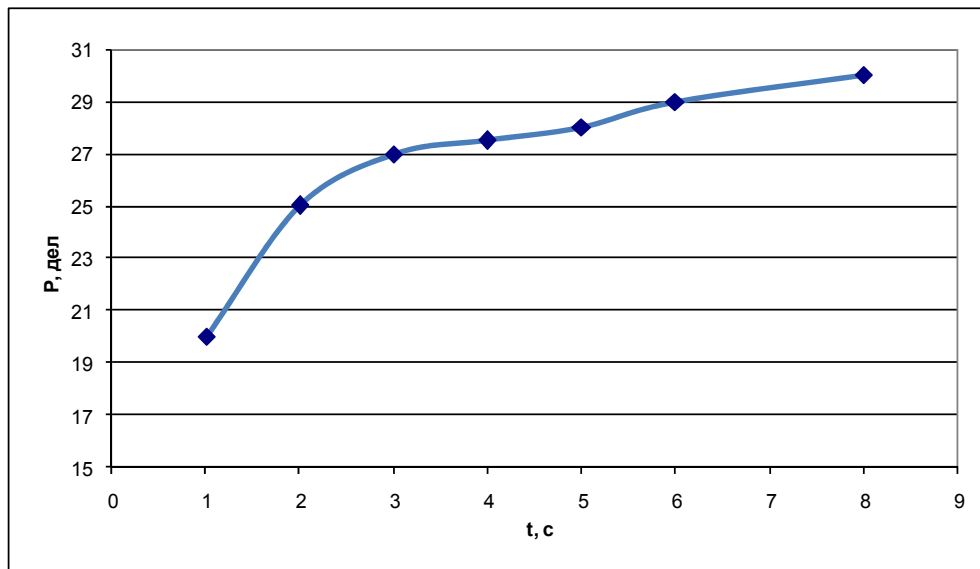


Рисунок 3.11 – Характеристика времени откачки диффузионного насоса

### 3.4 Карта течей установки

Возможные места натекания атмосферы в камеру

1. Система охлаждения магнетрона.
2. Вводы питания магнетрона.
3. Ввод охлаждения магнетрона.
4. Высоковольтный изолятор.
5. Трансмиссия камеры (поворот подложек).
6. Ввод вращения подложек.
7. Система напуска газа (основное, натекатели).
8. Датчик давления.
9. Герметические вводы нагревателя подложки
10. Ввод движения затвора.
11. Байпасная система.
12. Источник электронов.

### 3.5 Задание на работу

1. Составить схему вакуумной системы с указанием диапазонов работы датчиков и вакуумных насосов.
2. Провести расчет вакуумной системы
3. Провести согласование откачных средств
4. Проконтролировать герметичность соединений, составить карту возможных течей
5. Привести чертежи вакуумных соединений в разрезе (не менее одного соединения на каждого члена бригады)
6. Снять зависимость изменения давления в вакуумной камере от времени.
7. Снять десорбционную характеристику

### 3.6 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы и задание на работу (фрагменты, подлежащие сервису) (ПК-9, ПК-10, ПК-42)
2. Схему вакуумной установки с системой выхлопа и ее расчет (ПК-4, ПК-37)
3. Алгоритм обкатки нового оборудования (ПК-4, ПК-37)
4. Действия при выходе из аварийных режимов (ПК-4, ПК-36)
5. Диагностическую карту возможных течей (ПК-36, ПК-42)
6. Зависимости производительности насосов от давления (ПК-36, ПК-42)
7. Кривые откачки и десорбционные кривые

### Список литературы

1. Орликов Л.Н. Специальные вопросы технологии: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007 – 229 с.
2. Браун Я., Келлер Р., Холмс А. Физика и технология источников ионов. – М.: Мир, 1998. – 500с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: В 3-х томах. – М.: Машиностроение, 1980. – 728 с.
4. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронно-ионной технологии. – М.: Высшая школа. 1988. – 255с.
5. Технологичность конструкции изделия.: Справочник./ под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990, 768 с. – ISBN 5-217-01121
6. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 320с.
7. Элементы и устройства пневмоавтоматики высокого и низкого давления..Ч.3: Каталог-справочник./ВНИИТЭМР.М.: Каталог, 2000, 124с.
8. Интенсификация производственных процессов: Техническое обслуживание производства./ Под ред. В.М. Семенова. М.: Машиностроение, 1993, 348с. – ISBN 5-2170020237.



## Приложение А

```

Unit MAIN;

INTERFACE

{Использованные модули }
Uses Crt,RS232Dos,Interfac, Dos, Paint;

{Запускает программный комплекс }
Procedure RUN;

IMPLEMENTATION

{Запускает программный комплекс }
Procedure RUN;
Label lab1;

{Размер буфера памяти }
Const BuffSize=512;

{Тип определяет строку и ее длину 80 }
Type
Str80=String[80];
{Тип определяет данные, которые хранит буфер и его размер }
ArStr80=Array [1..BuffSize]Of Str80;
Str2=String[2];
Str11=String[11];

Var
{ DelayTime - Задержка времени }
DelayTime:real;
{ ExitY - условие "выход?" }
{ HaveFolder - условие "имеется папка?" }
ExitY,HaveFolder : Boolean;
{ B - принятый байт }
B : Byte;
{TimeOut - delay }
TimeOut:LongInt;
{ C - клавиша выбора }
{ Ch - клавиша меню "Ввод команд"}
C,Ch : Char;
{ I - переменная счета вхождений в цикл }
{ N - число элементов сохраненных в буфере }
{ P - счетчик числа элементов сохраненных в буфере }
{ E - код ошибки при переводе из буквенного формата в цифровой }
{ Q - число строк выводимых на экран при просмотре принятых значений }
{ CountE - число ошибок при получении данных }
{ DelayTime - время задержки между замерами }
{ CS - число замеров }
I,J,N,P,E,Q,CountE,NSam,DT : Integer;
{ Buffer - буфер принятых значений }
Buffer : ^ArStr80;
{ Izmerenie - массив принятых значений }
{ Watch - массив значений таймера }
Izmerenie : Mas;
Watch : ArStr20;

{*****}
{ Читаем данные с COM1-порта ручной }
{ L - счетчик числа вхождений в процедуру }
{ M - счетчик числа вхождений после получения байта }

```

```

Procedure ReadFromComMan (K:Integer; var T:Integer);
Begin
  {Увеличиваем счетчик буфера}
  K:=K+1;
  {Заносим данные в буфер}
  Buffer^[K]:='';
  While Not KeyPressed Do
    Begin
      {Ожидаем данные на порту}
      If ReadData (B,2000) Then
        Begin
          {Заполняем буфер}
          If (B<=126) and (B>=32) then Buffer^[K]:=Buffer^[K]+chr (B);
        End;
      End;
    {Если очередное сообщение пустое, то не заносим его в буфер}
    If Buffer^[K]='' Then K:=K-1;
    {Сохраняем значения числа элементов буфера}
    T:=K;
  End;
}
{*****}
{      Читаем      данные      с      COM1-порта      автоматически
}
{ L - счетчик числа вхождений в процедуру}
{ M - счетчик числа вхождений после получения байта}
Procedure ReadFromComAuto (L:Integer; Var M:Integer);
Var Q:Integer;
Begin
  L:=L+1;
  Buffer^[L]:='';
  {Ожидаем данные на порту}
  For Q:=1 To 16 Do
    Begin
      If ReadData (B,1500) Then
        Begin
          {Заполняем буфер}
          If (B<=126) And (B>=32) Then
Buffer^[L]:=Buffer^[L]+chr (B);
          End;
        End;
      End;
    If L<>1 Then
      Begin
        If Buffer^[L]='' Then Buffer^[L]:=Buffer^[L-1];
      end;
    M:=L;
  End;
}
{*****}
{Сохраняем данные в файл }
{CountOfBuffer - число элементов сохраненных в буфере}
{HaveF - условие "данные сохранены?"}
Procedure SaveFile (CountOfBuffer:Integer; var HaveF:Boolean);
{F - файловая переменная}
{FileName - имя файла}
{DiskName - диск на котором находится папка "B7-78"}
{J - переменная счета вхождений в цикл }
{IOR - ошибка ввода/вывода}
Var F:Text;
  FileName, DiskName, Commentary:String[30];
  Year, Mon, Day, Dow, Hour, Min, Sec, Msec:word;
  J, IOR:Integer;
Begin
  {Задаем файл на диске, на котором будут храниться данные}

```

```

Writeln(' Введите имя диска');Write(' ');
Readln(DiskName);
Writeln(' Введите имя файла');Write(' ');
Readln(FileName) ;
{$I-}
MkDir(DiskName+':\B7-78');
{$I+}
IOR:=IORResult;
{Если ошибка, то не сохраняем данные}
If IOR<>0 Then
  If IOR<>5 Then
    Begin
      {Устанавливаем условие "данные сохранены?" }
      HaveF:=False;
      Writeln(' Ошибка при открытии файла для записи!');
      {Чистим буфер}
      While Keypressed Do Readkey;
      {Выход из подпрограммы}
      Exit;
    End
  {Если ошибки нет, то сохраняем}
Else
  Begin
    {Создаем и записываем файл }
    Assign(F,DiskName+':\B7-78\'+FileName);
    Rewrite(F);
    {Комментарий}
    Writeln(' Комментарий');
    Write(' ');
    Readln(Commentary);
    {Устанавливаем условие}
    HaveF:=True;
    {Передаем в файл дополнительную информацию : время, дату,
комментарий}

    GetTime(hour,min,sec,msec);
    GetDate(year,mon,day,dow);
    Writeln(F,' Date ',day:0,'/',mon:0,'/',year:0,' ');
    Writeln(F,' Time ',hour:0,':',min:0,':',sec:0,' ms: ',msec);
    Writeln(F,' ');
    Writeln(F,' Commentary:');
    Writeln(F,' '+Commentary);
    J:=0;
    While J<(CountOfBuffer) Do
      Begin
        J:=J+1;
        Writeln(F,' ',J:3,': ', Buffer^[J]);
      End;
    Close(F);
  End;
End;
End;
{*****}
Begin
  {Инициализируем буфер}
  New(Buffer);
  {Задаем входные значения переменных}
  C:=#0;
  N:=0;
  P:=0;
  ExitY:=true;
  {Выводим главное меню}
  Menu;
  {Основная программа}
  While ExitY Do
    Begin

```

```

C:=Readkey;
Case C of
#49:
Begin
  {Вывод меню выбора режима задания команды}
  Menu;
  CommEnterMenu;
  Ch:=readkey;
  If (Ch=#49) or (Ch=#50) Then
    Begin
      If Ch=#49 Then
        Begin
          Ch:=#0;
          While Ch<>#32 Do
            Begin
              Menu;
              {Инициализация порта}
              InitCOM(1, 9600, 7);
              {Введение командной строки}
              CommandLine(Command);
              {Преобразуем команду из строки в массив скан-кодов
клавиш}

              Writeln(' Выход из меню <Пробел> ');
              StrToByte(Command,CmdByte);
              {Передаем байты}
              For I:=1 To Length(Command) Do
                Begin
                  WriteData(CmdByte[i], 3000);
                End;
              {Передаем дополнительный байт конца команды}
              WriteData($0A,3000);
              Delay(1000);
              {Записываем данные в буфер}
              ReadFromComMan(N,P);
              {Запоминаем значение счетчика элементов буфера}
              N:=P;
              Str(P,Watch[P]);
              Ch:=ReadKey;
            End;
          End;
        If Ch=#50 Then
          Begin
            Lab1: Dispose(Buffer);
            New(Buffer);
            N:=0;
            P:=0;
            {Инициализация порта}
            InitCOM(1, 9600, 7);
            Menu;
            CommMeasMenu;
            Ch:=Readkey;
            Command:='SYST:REM';
            {Преобразуем команду из строки в массив скан-кодов
клавиш}

            StrToByte(Command,CmdByte);
            {Передаем байты}
            For I:=1 To Length(Command) Do
              Begin
                WriteData(CmdByte[i], 3000);
              End;
              {Передаем дополнительный байт конца команды}
              WriteData($0A,3000);
              If (Ch=#49) Or (Ch=#50) Then
                Begin

```

```

If Ch=#49 Then
  Begin
    { Перевод ИП в режим - измерение напряжения}
    Command:='CONF:VOLT:DC';
    Menu;
    Writeln(' ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ');
    Writeln('');
  End;
If Ch=#50 Then
  Begin
    { Перевод ИП в режим - измерение тока}
    Command:='CONF:VOLT:AC';
    Menu;
    Writeln(' ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА');
    Writeln('');
  End;
Writeln('Введите время задержки между замерами в
секундах ');

  {$I-}
  Write(' ');Readln(DelayTime);
  {$I+}
  If IOresult<>0 Then GoTo Lab1;
  Writeln(' Введите число замеров (не более 512) ');
  {$I-}
  Write(' ');Readln(NSam);
  {$I+}
  If IOResult<>0 Then GoTo Lab1;
  {Преобразуем команду из строки в массив скан-кодов
клавиш}

  StrToByte (Command,CmdByte);
  {Передаем байты}
  For I:=1 To Length(Command) Do
    Begin
      WriteData(CmdByte[I], 3000);
    End;
  {Передаем дополнительный байт конца команды}
  WriteData($0A,3000);
  Command:='Read?';
  StrToByte (Command,CmdByte);
  Writeln(' Ждите... ');
  For J:=1 To NSam Do
    Begin
      {Передаем байты}
      For I:=1 To Length(Command) Do
        Begin
          WriteData (CmdByte[i],3000);
        End;
      {Передаем дополнительный байт конца команды}
      WriteData($0A,3000);
      {Задержка}
      If DelayTime >= 1 Then
        Begin
          DT:=Round(DelayTime);
          For I:=1 To DT Do
            Begin
              For TimeOut:= 1 To 125000000 Do;
            End
          End
        End
      Else
        Begin
          DT:=Round(100*DelayTime/2) Div 100;
          For TimeOut:=1 To Round(125000000/2) Do;
        End;
    End;

```

```

End;
For J:=1 To NSam Do
  Begin
    {Записываем данные в буфер}
    ReadFromComAuto (N,P);
    {Запоминаем значение счетчика элементов
буфера}

    N:=P;
    Delay(3000);
    End;
    {Значения таймера }
    For J:=1 To N Do Str(DT*J,Watch[J]);
  End;
End;
End;
End;
Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
{Чистим буфер клавиатуры, задержка}
While Keypressed Do Readkey;
End;

#50:
Begin
  {Выводим меню "СПРАВКА"}
  Menu;
  HelpMenu;
End;

#51:
Begin
  {Выводим меню "ПРИНЯТЫЕ ДАННЫЕ"}
  N:=P;
  Q:=0;
  Menu;
  Writeln(' ПРИНЯТЫЕ ДАННЫЕ ОТ ВОЛЬТМЕТРА: ');
  {Выводим данные с шагом 10 значений }
  If N=0 Then Writeln(' В буфере нет данных! ')
  Else
    For I:=1 to N Do
      Begin
        Q:=Q+1;
        Writeln(' ',I,' : ',Buffer^[I]);
        If Q=10 Then
          Begin
            Q:=0; Writeln(' <Enter>');Readln;
          End;
        End;
      End;
    Writeln(' Нажмите клавишу меню...')
  End;

#52:
Begin
  {Выводим меню "ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА"}
  N:=P;
  Menu;
  E:=3;
  CountE:=0;
  {Если число точек в диапазоне допустимых значений, то...}
  If (N>0) And (N<=512) Then
    Begin
      {Преобразуем принятые байты из строчного формата в численный }
      For I:=1 To N Do
        Begin
          Val(Buffer^[I],Izmerenie[I],E);
          If E<>0 Then CountE:=CountE+1;
        End;
      End;
    End;
  End;
End;

```

```

End;
If CountE>0 Then
Begin
  Writeln(' Ошибка в входных данных!');
  Writeln(' График может содержать неверные данные!');
  Writeln(' Подождите...');
  For I:=1 To 90 Do
    Begin
      Delay(5000);
    End;
  End;
{Если нет ошибки при преобразовании в численный формат, то...}
Begin
  {Выводим график}
  Graphic(Izmerenie,N,Watch);
  Readkey;
  CloseGr;
  Menu;
End;
End
Else Writeln(' Число точек построения выходит за предел!');
Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
End;

#53:Begin
  {Выводим меню "ОЧИСТИТЬ БУФЕР"}
  N:=P;
  Menu;
  Write(' ОЧИСТИТЬ БУФЕР? ');
  Writeln(' Да[Y]/Нет[Any] ');
  {Если нажата клавиша "Да", то... }
  Begin
    C:=Readkey;
    If (C='Y') Or (C='y') Then
      Begin
        {Выходим из меню, очищая буфер }
        Dispose(Buffer);
        New(Buffer);
        N:=0;
        P:=0;
        Writeln(' Буфер очищен!');
        Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
      End
    Else
      Begin
        {Выходим из меню, не очищая буфер}
        Writeln(' Буфер не очищен! ');
        Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
      End;
    End;
  End;
End;

#54:Begin
  {Выводим меню "СОХРАНИТЬ ДАННЫЕ"}
  N:=P;
  Menu;
  Write(' СОХРАНИТЬ ДАННЫЕ НАХОДЯЩИЕСЯ В БУФЕРЕ? ');
  Writeln(' Да[Y]/Нет[Any Key] ');
  Begin
    {Если нажата клавиша "Да", то... }
    C:=Readkey;
    If (C='Y') Or (C='y') Then
      Begin
        {Выходим из меню, очищая буфер }

```

```

        SaveFile(N,HaveFolder);
        If HaveFolder Then Writeln(' Данные сохранены!')
        Else Writeln(' Данные не сохранены! ');
        Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
    End
    {Если нажата клавиша "Нет", то... }
Else
    Begin
        {Выходим из меню, не очищая буфер }
        Writeln(' Данные не сохранены! ');
        Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
    End;
End;
End;

#27:Begin
    {Выводим меню "ВЫХОД" }
    N:=P;
    Menu;
    Write(' ВЫХОД?');
    Writeln(' Да[Y]/Нет[Any Key] ');
    {Если нажата клавиша "Да", то... }
    C:=Readkey;
    If (C='Y') Or (C='y') Then
        Begin
            {Очищаем буфер}
            Dispose(Buffer);
            {Закрываем COM-порт}
            CloseCOM;
            {Выполняем условие "ВЫХОД?"}
            ExitY:=False;
        End
    {Если нажата клавиша "Нет", то... }
Else
    Begin
        {Выводим сообщение}
        Writeln(' Нажмите клавишу меню...');
    End;
End;
End;
End;
End.

```



## Приложение Б

```

UNIT INTERFAC;

INTERFACE

Uses CRT,DOS;

      {MaxCommand - максимальная длина команды - 80 символов}
      {BuffSize   - размер буфера}

Const MaxCommand=80;
      BuffSize=512;

      {MasByte    - массив ASCII кодов}
Type  MasByte=Array [1..MaxCommand] Of Byte;
      Str80=String[80];
      Str5=String[5];

      {Command    - командная строка}
      {CmdByte   - хранит ASCII коды клавишь, нажатых при задании команды}
Var   Command:Str80;
      CmdByte:MasByte;

Procedure CommandLine (Var Command:Str80);
Procedure StrToByte (Command:Str80;Var CmdByte:MasByte);
Procedure Menu;
Procedure HelpMenu;
Procedure CommEnterMenu;
Procedure CommMeasMenu;

                                IMPLEMENTATION

Procedure CommEnterMenu;
Begin
  Writeln(' ВВОД КОМАНД ВОЛЬТМЕТРУ');
  Writeln(' ');
  Writeln(' Ввод команд оператором           - нажмите <1>');
  Writeln(' Автоматизированное снятие показаний - нажмите <2>');
End;

Procedure CommMeasMenu;
Begin
  Writeln(' АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СНЯТИЕ ПОКАЗАНИЙ');
  Writeln(' ');
  Writeln(' Измерение напряжения - нажмите <1> ');
  Writeln(' Измерение тока       - нажмите <2> ');
End;

{Рисуем меню справки}
Procedure HelpMenu;
Begin
  Writeln('                                СПРАВКА                                ');
  Writeln(' ');
  Writeln(' * Ввод команд: ');
  Writeln(' Ввод команд осуществляется оператором при помощи языка
программирования SCPI. ');
  Writeln(' Максимальная длина команды 80 символов.Ввод команды
оканчивается нажатием');
  Writeln(' клавиши <Enter>');
  Writeln(' * Сохранение данных: ');

```

```

        Writeln(' Сохранение данных происходит по умолчанию в папку В7-78,
которая создается ');
        Writeln(' на указанном оператором диске. ');
        Writeln(' * Вывод на экран: ');
        Writeln(' При выходе из меню "Построение графика" необходимо нажать
<ALT>+<Enter>. ');
        Writeln(' Нажмите клавишу меню... ');
    End;

    {Рисуем основное меню}
    Procedure Menu;
    Begin
        Clrscr;

Writeln('*****');
        Writeln('                Программа управления вольтметром В7-78 ');

Writeln('*****');
        Writeln('                Ввод команд                -нажмите <1> ');
        Writeln('                Справка                    -нажмите <2> ');
        Writeln('                Принятые данные            -нажмите <3> ');
        Writeln('                Построение графика        -нажмите <4> ');
        Writeln('                Очистить буфер            -нажмите <5> ');
        Writeln('                Сохранить данные         -нажмите <6> ');
        Writeln('                Выход                    -нажмите <ESC> ');

Writeln('*****');
        Writeln(' ');
    End;

    {Задаем команду}
    Procedure CommandLine (Var Command:Str80);
    Begin
        Writeln(' ВВЕДИТЕ КОМАНДУ ');
        Write(' : '); Readln(Command);
    End;

    {Переработка строчной команды в байтовый формат }
    Procedure StrToByte (Command:Str80; Var CmdByte:MasByte);
    Var Ch:Char;
        I:Byte;
    Begin
        For I:=1 To Length(Command) Do
            Begin
                Ch:=Command[I];
                CmdByte[I]:=Ord(Ch);
            End;
        End;
    End;
End.

```

## Приложение В

```

{                               Модуль Paint                               }
{Реализует набор функций необходимых для построения графика}
UNIT PAINT;

INTERFACE
{ Используемые модули  }
Uses Graph;

{ BuffSize - размер буфера                               }
{ MaxX - размер поля вывода графика по оси X }
{ MaxY - размер поля вывода графика по оси Y }
Const BuffSize=512;
      MaxX=580;
      MaxY=430;
{ Mas      - тип определяет массив значений буфера числового формата}
{ Str15    - тип определяет строку в 15 символов}
{ ArStr15  - тип определяет массив значений времени  }
Type Mas=array[1..BuffSize] Of Real;
      Str15=String[15];
      ArStr15=array [1..BuffSize] Of Str15;

{ Graphic - процедура выводит график на экран           }
{ Sample - массив значений находящихся в буфере         }
{ NN      - счетчик числа значений находящихся в буфере }
{ TimeX   - массив значений времени }
Procedure Graphic(Sample:Mas;NN:Integer;TimeX:ArStr15);

{ CloseGr - закрывает графический режим вывода на экран}
Procedure CloseGr;

                               IMPLEMENTATION

{Инициализация графического режима}
Procedure InitGr;
Var Error,Driver,Mode:integer;
Begin
  Driver:=VGA;
  Mode:=2;
  InitGraph(Driver,Mode, '');
  Error:=GraphResult;
  If Error<>0 Then
    Begin
      Writeln(GraphErrorMsg(Error));
      CloseGraph;
    End
  Else
    Begin
      Writeln(' GraphDriver - VGA, GraphMode - 2 ');
    End;
End;

{Закрытие графического режима}
Procedure CloseGr;
Begin
  CloseGraph;
End;

{Рисует линию}
Procedure Line(X1,Y1,X2,Y2:Integer);

```

```

Begin
  MoveTo(x1,y1);
  LineTo(x2,y2);
End;

{Рисует координатные линии}
Procedure KrdLine;
Begin
  Line(50,5,50,475);
  Line(5,450,630,450);
End;

{Очищает экран}
Procedure Clear;
Begin
  ClearDevice;
End;

{Рисование графика}
Procedure Graphic(Sample:Mas;NN:Integer;TimeX:ArStr15);
  {Рисует координаты по оси X}
  Procedure PosX;
  Var Px,I,Div2: Integer;
      PointX,PointStartX :Integer;
  Begin
    Div2:=0;
    OutTextXY(610,452,TimeX[NN]);
    If (NN>=0) and (NN<16) Then PointStartX:=1;
    If (NN>=16) and (NN<=512) Then PointStartX:=Round(NN/15);
    If NN>512 Then PointStartX:=Round(NN/15);
    PointX:=PointStartX;
    For I:=1 To NN Do
      Begin
        If NN<16 Then
          Begin
            If PointX=I Then
              Begin
                Div2:=Div2+1;
                Px:=50+(I-1)*Round(MaxX Div NN);
                Line(Px,451,Px,449);
                If (Div2 mod 2) = 0 Then OutTextXY(Px-10,460,TimeX[I])
                Else OutTextXY(Px-5,470,TimeX[I]);
                PointX:=PointStartX+PointX;
              End
            End
          End
        Else
          If (NN>=16) And (NN<=512) Then
            Begin
              If I=PointX Then
                Begin
                  Div2:=Div2+1;
                  Px:=50+(I-1)*(MaxX Div NN);
                  Line(Px,451,Px,449);
                  If (Div2 mod 2) = 0 Then OutTextXY(Px-10,460,TimeX[I])
                  Else OutTextXY(Px-5,470,TimeX[I]);
                  PointX:=PointStartX+PointX;
                End
              End
            End
          End
        End;
      End;
    End;
  End;

  {Рисование координат по оси Y}
  Procedure PosY(W:real;Mx:real);

```

```

Var Py:Integer;
    S :String[5];
Begin
  If Mx<0.9 Then
    Begin
      W:=W*1000;
      Mx:=Mx*1000;
      OutTextXY(33,2,'-3');
      OutTextXY(5,10,'* 10');
    End;
  If (W>=0) And (W<0.9) Then Str(W:2:3,S);
  If (W>=0.9) And (W<10) Then Str(W:1:4,S);
  If (W>=10) And (W<100) Then Str(W:2:3,S);
  If (W>=100) And (W<1000) Then Str(W:3:2,S);
  If (W>=1000) And (W<10000) Then Str(W:4:1,S);
  If W>=10000 Then Str(W:5:0,S);
  Py:=Round(450-(MaxY*W/Mx)+1);
  OutTextXY(2,Py,S);
  Line(48,Py,52,Py);
End;

{Основная программа}
Var I,Kx,Ky:Integer;
    Max,U:real;
Begin
  InitGr;
  KrdLine;
  Kx:=0;Ky:=0;
  Max:=Sample[1];
  For I:=2 To NN Do
    Begin
      If Sample[I]>Max Then Max:=Sample[I];
    End;
  PosX;
  For I:=0 To 19 Do
    Begin
      U:=I*(Max/20);
      PosY(U,Max);
    End;
  PosY(Max,Max);
  For I:=1 To NN Do
    Begin
      Kx:=50+(I-1)*Round(MaxX Div NN);
      If Round(MaxY*Sample[I]/Max)<10 Then
        Ky:=450-Round(100*(MaxY*Sample[I]/Max)) Div 100
      Else Ky:=450-Round(MaxY*Sample[I]/Max);
      PutPixel(Kx,Ky,15);
      If I>=2 Then LineTo(Kx,Ky);
      MoveTo(Kx,Ky);
    End;
  End;
End.

```

## Приложение Г

```

Unit RS232Dos;

INTERFACE

{$N+}

{Тип для преобразования последовательности байт}
{в число типа Single и обратно }
Type UFloat = packed record
  b : Array [0..3] of Byte;
End;

{Инициализация порта с номером ComIndex }
{ ComIndex - номер порта }
{ Speed - скорость в бод }
{ Params - конфигурация порта, согласно формату битов LCR }
{Возвращает False, если порт не обнаружен }
Function InitCOM(ComIndex : Byte; Speed : Longint; Params : Byte) :
Boolean;

{Чтение байта с порта с тайм-аутом }
{ B - прочитанный байт }
{ Wait - время ожидания байта }
{Возвращает True, если байт реально прочитан }
Function ReadData(var B : Byte; Wait : LongInt): Boolean;
{Запись байта в порта с тайм-аутом }
{ B - передаваемый байт }
{ Wait - время ожидания готовности передатчика }
{Возвращает True, если байт передан }
Function WriteData(B : Byte; Wait : LongInt): Boolean;

Function CheckReadData(ChB : Byte; Wait : LongInt) : Boolean;
Function ReadSingle(var S : Single; WD : LongInt) : Boolean;
Procedure CloseCOM;

IMPLEMENTATION

Var { Будет хранить базовый адрес порта }
BaseAdr : Word;

{ Возвращает базовый адрес порта с номером PortIndex }
Function GetBaseAdr(PortIndex : Byte) : Word;
Var LowAdr : Word;
Begin
  { вычисляем младшую часть адреса в таблице }
  LowAdr := (PortIndex-1)*2;
  { получаем базовый адрес порта из таблицы }
  GetBaseAdr:= MemW[$0040:LowAdr];
End;

{Инициализация порта}
Function InitCOM(ComIndex : Byte; Speed : Longint; Params : Byte) :
Boolean;
Var Freq : Word; FreqH, FreqL : Byte;
Begin
  Freq := 115200 div Speed;
  FreqH:= Freq shr 8;
  FreqL:= Freq and $00FF;

```

```

InitCOM:= True;
{ Вычисляем базовый адрес порта }
BaseAdr:= GetBaseAdr(ComIndex);
If BaseAdr = 0 Then Begin
  WriteLn('Порт ', ComIndex, ' не обнаружен!');
  InitCOM:= False; {вернем ошибку}
  Exit;
End;
{Адресуем делитель порта с помощью установки DLAB=1}
Port[BaseAdr+3]:= $80;
{Устанавливаем младшую часть делителя}
Port[BaseAdr+0]:= FreqL;
{Устанавливаем старшую часть делителя}
Port[BaseAdr+1]:= FreqH;
{Сбрасываем DLAB и прописываем конфигурацию}
Port[BaseAdr+3]:= Params;
End;

{Определение готовности}
Function GetSR : Boolean; assembler;
Asm
  Mov Dx, BaseAdr
  Add Dx, 5
  In Al, Dx
  And Al, 20H
End;

{Чтение байта с порта}
Function ReadCOM : Byte; assembler;
Asm
  Mov Dx, BaseAdr
  In Al, Dx
End;

{Передача байта в порт}
Procedure WriteCOM(B : Byte); assembler;
Asm
  Mov Dx, BaseAdr
  Mov Al, B
  Out Dx, Al
End;

{ Возвращает бит DR порта LSR }
Function GetDR : Boolean; assembler;
Asm
  Mov Dx, BaseAdr
  Add Dx, 5
  In Al, Dx
  And Al, 1
End;

{Возвращает биты ошибок порта LSR          }
{ Бит 4 - обрыв линии                       }
{ Бит 3 - ошибка кадра (неверный стоп-бит) }
{ Бит 2 - ошибка четности                   }
{ Бит 1 - переполнение (потеря символа)    }
Function GetErr : Byte; assembler;
Asm
  Mov Dx, BaseAdr
  Add Dx, 5
  In Al, Dx
  And Al, 1EH {0001 1110b}
End;

```

```

{Чтение байта с порта с ожиданием готовности порта}
Function ReadData(var B : Byte; Wait : LongInt): Boolean;
Var Result : Boolean; w : LongInt;
Begin
  w:= 0; Result:= False;
  For w:= 1 to Wait do begin {ожидание...}
    If GetDR then begin {проверяем доступность данных }
      B:= ReadCOM; {читаем байт с порта}
      Result:= (GetErr = 0); {проверяем код ошибки}
      Break;
    End;
  End;
  ReadData:= Result;
End;

{Возвращает true, если байт прочитан и равен ChB }
Function CheckReadData(ChB : Byte; Wait : LongInt) : Boolean;
Var B : Byte;
Begin
  CheckReadData:= False;
  If ReadData(B, Wait) then begin
    CheckReadData:= (B = ChB);
  End;
End;

{Передает байт в порт с ожиданием готовности}
Function WriteData(B : Byte; Wait : LongInt): Boolean;
Var Result : Boolean; w : LongInt;
Begin
  w:= 0; Result:= False;
  For w:= 1 to Wait do begin {ожидание...}
    If GetSR then begin {передатчик готов?}
      WriteCOM(B); {передаем байт}
      Result:= True;
      Break;
    End;
  End;
  WriteData:= Result;
End;

{Чтение числа с плавающей точкой (тип single) }
Function ReadSingle(var S : Single; WD : LongInt) : Boolean;
Var F : UFloat; R : Single;
Begin
  S:= 0.00; ReadSingle:= False;
  If ReadData(F.b[3], WD) then
    If ReadData(F.b[2], WD) then
      If ReadData(F.b[1], WD) then
        If ReadData(F.b[0], WD) then begin
          Move(F, S, 4);
          ReadSingle:= True;
        End;
  End;
End;

{"Закрытие" порта }
Procedure CloseCOM;
Begin
  WriteCOM($0FF);
End;
END.

```



Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Специальные вопросы технологии приборов фотоники, голографии,  
интегральной и волоконной оптики

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. \_\_\_\_\_ Препринт  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40