

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Факультет «Электроника и автоматика»
Кафедра «Теоретическая электротехника и электронные технологии»

На правах рукописи

Хужаёров Аслиддин Абсаитович

**РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

Выпускная квалификационная работа
на соискание степени бакалавра по направлению
5523300 – «Нанотехнологии (наноматериалы, электронные приборы и
устройства)»

Заведующей кафедрой:

доц. Абидов К.Г.

Руководитель:

доц. Саидумаров И.М.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА I. Существующие автоматические мало-габаритные измерители для контроля уровня влажности технологических сред.....	8
1.1. Анализ технического задания	8
1.2. Схемотехнический раздел	11
1.3. Технологический раздел.....	17
1.3.1. Анализ	17
1.3.2. Обоснование выбора материалов	17
1.3.3. Формирование тонких плёнок методом термовакuumного напыления	23
1.3.4. Методы формирования тонкоплёночных структур	30
1.3.5. Разработка технологического процесса изготовления ГИС	36
1.3.6. Испытания	38
1.4. Постановка задачи исследования.....	41
ГЛАВА II. СБОРКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.....	43
2.1. Разработка лабораторного стенда для определения влажности воздуха	43
2.2. Руководство по эксплуатации	44
2.3. Лабораторная работа	46
2.4. Краткая теория метода.....	47
2.5. Ход работы	50

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	52
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	62
ЛИТЕРАТУРА	69

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня роль и значение приборов для контроля влажности в различных процессах общеизвестны: практически нет отрасли народного хозяйства, раздела науки и техники, где бы ни требовалось контролировать влажность газовых сред.

Но при всех этих потребностях состояние на рынке приборов для контроля влажности не оставляет уверенности в удовлетворительном положении. Многие датчики и приборы, которые используются потребителями, далеко не удовлетворяют потребностям современного уровня развития техники, другие являются неудобными, громоздкими или дорогостоящими.

На данном этапе во всем мире в целом и в нашей стране, в частности, усиливается тенденция к широкому внедрению автоматизации и компьютеризации в различные сферы человеческой деятельности. Ведущее место в этом занимают современные технологические процессы производства. Здесь и возникает необходимость в автоматизации процессов измерения влажности газовых сред, обработки результатов с использованием ЭВМ или специальных устройств управления технологическими процессами.

Автоматизированный контроль за уровнем влажности может во многом определять качество будущего изделия. Например, существует статистика, что качество технологического процесса и работоспособность интегральных микросхем и микросборок в сильной степени зависит от уровня влажности внутри корпуса, которая попадает туда в результате плохой герметизации или выделяется из составляющих микросхему материалов. Миниатюрный датчик же позволит организовать контроль уровня влажности внутри корпуса микросхемы, что даёт возможность с довольно высокой вероятностью определить остаточное время работы микросхемы, вовремя предупредить её отказ или выявить брак.

Смело, можно сказать, что автоматические малогабаритные датчики и приборы для контроля влажности в газовых средах являются очень важной ступенью в развитии и автоматизации производства, повышают его качество и производительность.

Целью данной работы является теоретическое рассмотрение именно такого автоматического малогабаритного измерителя для контроля уровня влажности технологических сред, и подготовить лабораторный стенд по определению влажности воздуха.

ГЛАВА I. СУЩЕСТВУЮЩИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МАЛО-ГАБАРИТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВЛАЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

1.1. Анализ технического задания

В ходе выполнения дипломной работы необходимо разработать методику измерения влажности газовых сред, схему, конструкцию и технологию изготовления модуля измерителя на основе ГИС (гибридных интегральных систем).

Необходимо решить следующие задачи:

1. разобрать понятие "влажность";
2. выбрать метод измерения;
3. выбрать датчик;
4. разработать стабильную схему измерителя;
5. по макету исследовать изменение параметров схемы от влажности газовой среды;
6. по результатам исследования согласовать схему;
7. выбрать материалы для изготовления ГИС;
8. разобрать методы и технологию изготовления ГИС;
9. разобрать методику испытаний измерителя;
10. произвести расчёт элементов ГИС;
11. разработать конструкцию ГИС;
12. разработать меры защиты от воздействия дестабилизирующих факторов;
13. рассчитать надёжность ГИС;
14. построить сетевой график и рассчитать экономические показатели;
15. разработать раздел "Охрана труда".

Измеритель должен работать в диапазоне температур 5...40°C,

в диапазоне влажностей 10...100%.

Погрешность измерения влажности должна быть не более 5 %.

"Влажность воздуха" – качественное понятие, отражающее присутствие в газовой среде газообразной воды. Количественно влажность газов выражают величинами влагосодержания и влагосостояния [1].

Физическая сущность понятия "влажность газов" становится понятной, если обратить внимание, что измерения, связанные с присутствием влаги в газовой среде, фактически делятся на два вида:

Первый – влагосодержание: оценка состава влажного газа как газовой смеси, где определяемым компонентом является вода;

Второй – влагосостояние: оценка термодинамических свойств водяного пара, содержащегося во влажном газе.

Выделение двух названных видов измерений связано, прежде всего, с тем, что влага в газовой среде может рассматриваться как газ и как пар.

В первом случае, объектом измерения является непосредственно влажный газ – обычная бинарная газовая смесь, состоящая из газообразной воды и сухого газа, а конечная цель измерений при этом заключается в установлении массовой, молярной и объёмной долей и отношений, массовой и молярной концентрации. При этом необходимо разделение анализируемой среды на два основных компонента: влагу и сухой газ.

Во втором случае, объектом измерения является не влажный газ, как в первом случае, а только содержащийся в нём пар. Конечная цель измерений при этом в установлении относительного термодинамического состояния водяного пара - относительной влажности. Он обладает наибольшей эффективностью, так как не нуждается в разрушении анализируемой среды.

Каждый из видов измерения имеет много методов измерения влажности. В данной работе выбран сорбционно-частотный метод измерения величины влагосостояния.

Сорбционно-частотный метод основан на зависимости собственных колебаний пьезокварцевой пластины при установившемся

гидродинамическом равновесии между водяным паром влажного газа и насыщенным раствором сорбента, осаждённого на её поверхности, от влажосостояния анализируемой среды. Данный метод позволяет с высокой точностью контролировать уровень влажности, что определяется сильной зависимостью собственной частоты колебаний кварцевой пластины от приращения её массы, которая растёт при адсорбировании паров воды из окружающей среды на поверхности этой пластины. Т.е. в работе в качестве датчика выбран масс-чувствительный пьезорезонансный датчик.

Масс-чувствительные резонаторы выполняются из тонких пластин или линз кварца температурно-независимого АТ-среза. В резонаторах возбуждаются колебания сдвига по толщине. Присоединяемая масса может наноситься с одной или с двух сторон, как на электроды, так и на периферию резонатора. Нарастивание массы, т.е. сорбция вещества, может происходить по-разному и носить как необратимый, так и обратимый характер. Например, при отработке технологии процессов напыления в установке заподлицо с поверхностью, на которую производится напыление, помещается пьезорезонатор-толщинометр, позволяющий непрерывно контролировать процесс по изменению частоты пьезорезонатора в зависимости от толщины напылённой на него плёнки. В гигрометрах и газоанализаторах пьезорезонаторы покрываются специальными сорбционными покрытиями, удерживающими исследуемое вещество. Так, измерительный резонатор гигрометра покрывается тонкой ($3 \cdot 10^{-7}$ мкм) плёнкой окислов кремния [2]. После измерения резонатор может быть "высушен", т.е. происходит десорбция вещества.

Связь частоты с толщиной h и плотностью ρ присоединяемого материала определяется в первом приближении формулой:

$$\Delta f/f = - \rho h / (\rho h) \quad (1.1)$$

где ρ и h – плотность и толщина пьезоэлемента.

Если предположить, что исследуемое вещество сорбируется по всей поверхности дискового резонатора, то из этой формулы следует:

$$\Delta f/f = - \Delta m/m \quad (1.2)$$

где m – масса резонатора.

Очевидно, что относительное приращение массы может регистрироваться с тем же разрешением, что и относительное изменение частоты, т.е. 10^{-6} - 10^{-7} . Для кварцевых резонаторов толщиной $h = 0,1$ мм минимальные- регистрируемые приращения массы на единицу поверхности $\Delta m = (10^{-6} \div 10^{-7}) \rho h = (10^{-6} \div 10^{-7}) 2,65 \cdot 0,01 = 2,65 (10^{-8} \div 10^{-9})$ г/см² [2]. Однако такая высокая разрешающая способность может быть реализована только при термостабилизации резонаторов на уровне $\pm 0,1^\circ\text{C}$, так как для резонаторов АТ-среза ТКЧ составляет примерно $2 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. Максимальная присоединяемая масса не должна превышать $2 \cdot 10^{-3}$ г/см², и толщина плёнок должна быть не более 1 – 2 мкм, в противном случае резко падает добротность резонатора, что приводит к нестабильности и большой погрешности измерения.

В работе используется температурно-независимый кварцевый резонатор, покрытый тонким слоем оксида кремния (SiO). Он является основной частью датчика, информация которого, впоследствии, должна быть преобразована и проанализирована соответствующими устройствами.

1.2. Схемотехнический раздел

а) Разработка структурной схемы

Разрабатываемое устройство предназначено для обработки данных, поступающих с пьезодатчика. Этими данными являются изменения собственной частоты колебаний кварцевой пластины в зависимости от массы воды адсорбируемой на её поверхности, которая, в свою очередь, и

определяет уровень влажности в той среде, где находится кварц. По разности собственных частот колебаний можно говорить о влажосостоянии среды. Чтобы учесть это изменение, можно использовать кварцевую пластину в качестве задающего элемента в кварцевом генераторе. Это позволяет привести изменение собственной частоты колебаний пластины к изменению частоты колебаний генератора.

Далее необходимо проанализировать изменение частоты генератора, т.е. необходимо подсчитать разность между частотой колебаний кварцевого генератора в сухой и во влажной среде. Так как частота пропорциональна количеству импульсов за определённое время, то при изменении частоты кварцевого генератора и подсчёте определённого количества импульсов, получаем разное время их счёта. Поэтому установим программируемый делитель для накопления импульсов. Делитель будет управляться микропроцессором. В начале подсчёта он сбрасывается сигналом от микропроцессора. При накоплении импульсов в делителе микропроцессор контролирует время накопления по таймеру, и как только делитель сформирует выходной импульс, выдаётся сигнал процессору и он фиксирует время накопления. Далее по разности опорного и фактического времени накопления можно говорить об определённом уровне влажности в той или иной газовой среде.

Проанализировав возможные технические решения, была разработана структурная схема, представленная на рис. 1.1 или.

б) Разработка функциональной схемы

В соответствии со структурной схемой, представленной выше, была разработана следующая функциональная схема устройства (рис. 1.2).

В его состав входят:

- кварцевый генератор, выполненный на логических элементах;
- делитель;
- микропроцессор, предназначенный для подсчёта времени

накопленных в делителе импульсов, его управления, обработки и выводе

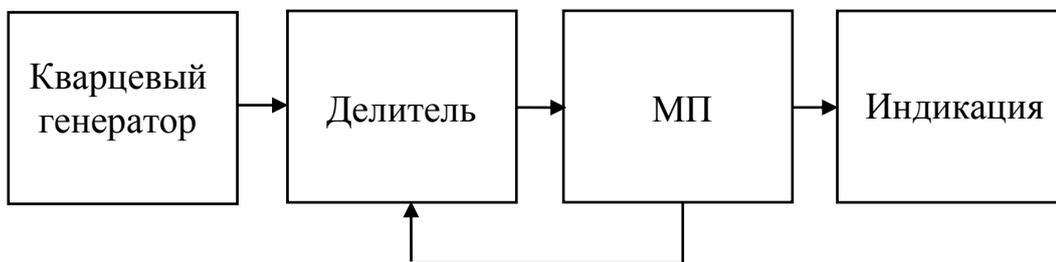


Рис. 1.1. Структурная схема устройства

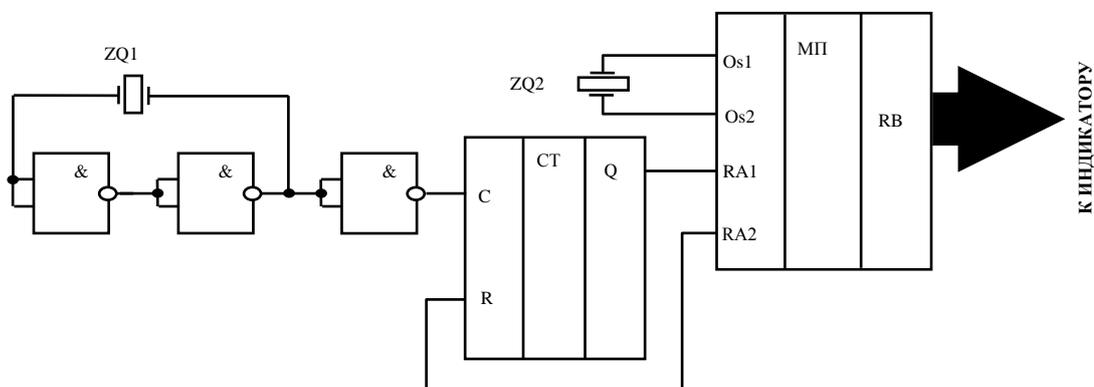


Рис. 1.2. Функциональная схема устройства

данных.

в) Разработка принципиальной схемы устройства

Кварцевый генератор

Основной частью разрабатываемого устройства является кварцевый генератор, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.3.

Задающим элементом генератора является кварц. Основная задача генератора - преобразование собственной частоты колебаний кварца в частоту колебаний генератора, так что при изменении собственной частоты колебаний кварцевой пластины в зависимости от уровня влажности меняется и частота генератора.

Устройство обработки данных

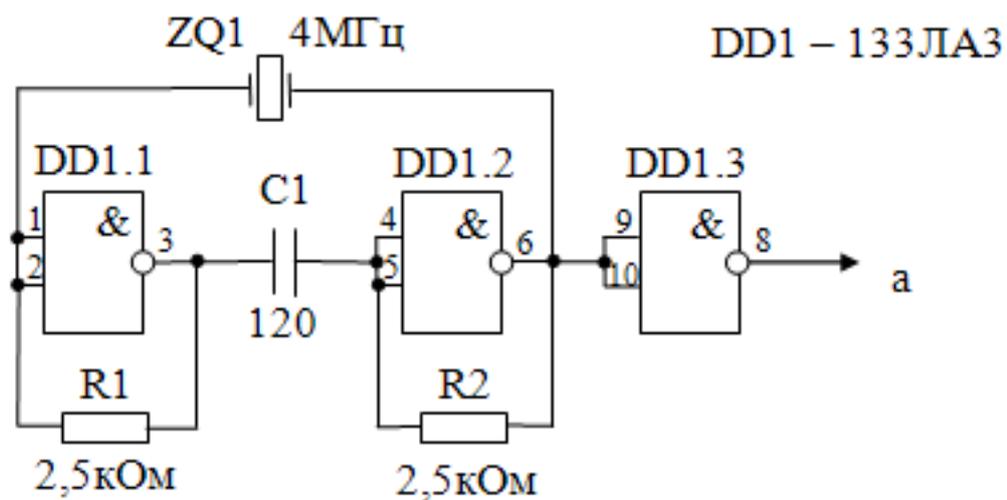
В соответствии с функциональной схемой были выбраны:

- в качестве делителя - микросхема 555ПЦ1:

Управляемый делитель частоты [3]. Позволяет делить входную частоту в 2^N раз ($N=2\dots31$). Значение N задаётся в двоичном параллельном коде на входе $E = (E_{16}, E_8, E_4, E_2, E_1)$. Входной сигнал подают на один из тактовых (информационных) выходов C_1, C_2 . На свободном выходе C при этом устанавливают уровень логического "0". В случае если $E_{16} = E_8 = E_4 = E_2 = E_1 = 0$ и $E_{16} = E_8 = E_4 = E_2 = 0$ и $E_1 = 1$, деления нет. Обнуляется делитель при $R = 0$, в режиме деления $R = 1$.

- в качестве микропроцессора - PIC контроллер - 16C84:

PIC16C84 относится к семейству КМОП микроконтроллеров. Отличается тем, что имеет внутреннее 1К x 14бит EEPROM для программ, 8-битовые данные и 64 байт EEPROM памяти данных. При этом отличается низкой стоимостью и высокой производительностью. Все команды состоят из одного слова (14 бит шириной) и исполняются за один цикл (400 нс при 10 МГц), кроме команд перехода, которые выполняются за два цикла (800 нс). PIC16C84 имеет прерывание, срабатывающее от четырёх источников, и восьмиуровневый аппаратный стек.



ZQ1 – кварцевый резонатор РК17С на 4 МГц;

C1 – конденсатор 120пФ $\pm 10\%$;

R1, R2 – резистор 0,125 – 2,5кОм $\pm 10\%$;

DD1 – ИС 133ЛА3.

Рис. 1.3. Схема электрическая принципиальная (кварцевый генератор).

Периферия включает в себя 8-битный таймер-счётчик с 8-битным программируемым предварительным делителем (фактически 16-битный таймер) и 13 линий двунаправленного ввода/вывода. Высокая нагрузочная способность (25 мА макс. втекающий ток, 20 мА макс. вытекающий ток) линий ввода/вывода упрощают внешние драйверы и, тем самым, уменьшается общая стоимость системы. Малые размеры корпусов, как для обычного, так и для поверхностного монтажа, делает эту серию микроконтроллеров пригодной для портативных приложений. Низкая цена, экономичность, быстродействие, простота использования и гибкость ввода/вывода делает PIC16C84 привлекательным даже в тех областях, где ранее не применялись микроконтроллеры.

Время заполнения делителя при делении на 2^{21} (время счёта $\approx 0,5$ с) при частоте кварцевого генератора 4 МГц равно: $0,25 \times 10^{-6} \times 2^{21} = 524288$ мкс. За это время таймер микроконтроллера успел бы увеличить значение до 1310720 единиц. Но таймер 8-битный и максимально накапливает 255 импульсов. Т.е. за это время таймер совершает несколько циклов (накапливает и сбрасывает). Число циклов равно 5140. После полного заполнения делителя на его выходе формируется импульс прерывания, который останавливает таймер контроллера. Значение таймера и будет результативным числом. Далее результаты заносятся в память контроллера. После накопления 16-ти результатов происходит их усреднение. В специально выделенной области памяти хранится таблица соответствия изменения частоты и влажности газовой среды, где и выбирается необходимое значение и передаётся на индикаторы, работающие в динамическом режиме.

При калибровке измерителя необходимо следить за тем, чтобы интервал изменения частот при максимальном разбросе по влажности (от 10 до 100 %), входил в значение не более 255 (т.е. максимального числа, хранимого в таймере). При этом максимально достигаемая точность не менее 1%.

В целях миниатюриализации и помехозащищённости устройства выполним его в виде тонкоплёночной гибридной интегральной схемы (ГИС).

1.3. Технологический раздел

1.3.1. Анализ

Для приведённой электрической схемы устройства необходимо разработать топологию и конструкцию отдельного функционального узла в виде гибридной интегральной микросхемы. Электрическая принципиальная схема содержит резисторы, конденсаторы и корпусные микросхемы. Резисторы и конденсаторы выполняются в виде плёночных элементов, а активные элементы - микросхемы - являются компонентами. Для того чтобы разместить резисторы и конденсаторы, необходимо знать их геометрические размеры, для этого производится конструктивный расчёт элементов. Геометрические размеры компонентов выбираются из справочной литературы. Немаловажную роль играет выбор материалов для тонкоплёночных элементов. От этого зависит срок службы ГИС, качество выполнения элементов. Выбор материалов должен основываться на условиях эксплуатации ГИС. Для рассчитанных элементов выбирается подложка необходимого размера и производится размещение элементов и компонентов. При размещении необходимо учитывать, что длина проводников должна быть как можно меньше. Кроме того, число пересечений должно быть минимальным. Для выбранного метода нанесения элементов составляется схема технологического процесса.

1.3.2. Обоснование выбора материалов

Выбор материала подложки

Подложки ГИС служат диэлектрическим и механическим основанием для расположения активных и пассивных элементов. Подложка изолирует отдельные элементы ГИС и является теплоотводным элементом конструкции. Для обеспечения заданных электрических параметров микросхем материал подложки должен обладать:

высоким коэффициентом теплопроводности для эффективной передачи тепла от тепловыделяющих элементов (резисторов, транзисторов, диодов) к корпусу;

малым тангенсом угла диэлектрических потерь;

высокой механической прочностью, обеспечивающей целостность подложки с нанесёнными элементами, как в процессе её изготовления, так и при её эксплуатации;

высокой химической инертностью к осаждаемым материалам для снижения временной нестабильности параметров плёночных элементов;

стойкостью к воздействию высокой температуры в процессах формирования элементов;

стойкостью к воздействию химических реактивов в процессе подготовки поверхности подложки перед нанесением плёнок при их химическом осаждении;

способностью к хорошей механической обработке (полировке, резке).

Кроме перечисленных выше требований, материал подложки должен обладать высоким объёмным и поверхностным сопротивлением, в том числе, в присутствии влаги и электролитов.

В полной мере, перечисленным требованиям не удовлетворяет ни один материал, а некоторые требования находятся в противоречии друг к другу. Поэтому, выбор материала подложки основан на компромиссном решении.

Для гибридных интегральных схем, где необходимо обеспечить интенсивный отвод тепла, как правило, применяют керамический материал поликор. Этот материал имеет высокую механическую прочность, высокую

теплостойкость, меньшие значения тангенса угла диэлектрических потерь на высоких частотах.

Недостатком керамики является значительная шероховатость поверхности, что затрудняет получение воспроизводимых номиналов тонкоплёночных элементов. Для ГИС, не испытывающих больших механических воздействий, применяют ситаллы и бесщелочные боросиликатные стёкла, поскольку это наиболее дешёвые материалы. Кроме того, они имеют наименьший коэффициент линейного расширения, что может определять стабильность параметров ГИС. Одним из существенных недостатков ситаллов и боросиликатных стекол является их малая теплопроводность, поэтому они используются в маломощных микросхемах. В табл. 1.1 приведены основные параметры подложек [4 – 6].

Таблица 1.1.

Электрофизические параметры материалов подложек ГИС

	Ситалл СТ-32- 1	Ситалл СТ-38- 1	Полик ор	22ХС (96%Al ₂ О ₃)
Класс чистоты обработки поверхности	14	14	12-14	12
Температурный коэффициент линейного расширения ТКЛР * 10 ⁻⁷ при T = 20...300 ⁰ С	30...34	83	75...85	60
Диэлектрическая проницаемость ε при f=10 ⁶ Гц	6...7	7,3...8	10	10,3
Тангенс угла диэлектрических потерь при f=10 ⁶ и T = 20 ⁰ С	16*10 ⁻⁴	15*10 ⁻⁴	1*10 ⁻⁴	6*10 ⁻⁴
Относительная стоимость	1	1	20	20

Выбор материала резисторов

Параметры тонкоплёночных резисторов определяются свойствами применяемых резистивных материалов, толщиной резистивной плёнки и условиями её формирования. Чем меньше толщина плёнки, тем выше удельное поверхностное сопротивление ρ_s , но одновременно повышается

температурный коэффициент сопротивления (TKR), а также ухудшается временная и температурная стабильность плёнок. То есть при выборе материала для резисторов необходимо учитывать не только величину удельного поверхностного сопротивления, но и TKR плёнки, допустимые мощности рассеяния, стабильность резистивных свойств плёнки во времени [4].

Для этих целей наиболее пригодны хром, нихром, ванадий, тантал.

Хром удовлетворяет практически всем требованиям, предъявляемым к материалу резистивной плёнки. Он достаточно тугоплавок, образует стабильную и плотную оксидную плёнку, имеет большое удельное сопротивление, достаточно технологичен, кроме того, при некоторых технологических операциях хром может одновременно использоваться в качестве адгезионного подслоя. Основные параметры резистивных материалов приведены в табл. 1.2 [4 – 6].

Таблица 1.2.

Электрофизические параметры резистивных материалов

	Нихром X20H80	Хром	Кермет К-50С	Тантал ТВЧ	Сплав МЛТ-3	Сплав РС-3001
Удельное поверхностное сопротивление ρ_s , Ом.	300	500	3000.....10000	20...100	500	1000.....2000
Допустимая удельная мощность рассеяния P_0 , Вт/см ²	2	1	2	3	2	2
Температурный коэффициент сопротивления TKR при $T = -60...125^{\circ}\text{C}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$-5 \cdot 10^{-4}$ $...3 \cdot 10^{-4}$	$-2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$-0,2 \cdot 10^{-4}$
Изменение величины сопротивления резистора после 1000 часов работы, %	0,4	2	0,3	-	0,4	0,5
Рекомендуемый материал контактных площадок	Медь	Медь	Золото	Алюминий	Медь	Золото

Выбор материала проводников и контактных площадок

Для изготовления проводников и контактных площадок могут быть использованы различные металлы, отличающиеся друг от друга по величине электропроводности и по прочности сцепления с подложкой. Материал проводников и контактных площадок должен иметь малое удельное сопротивление, хорошую адгезию к подложке, высокую коррозионную стойкость. Кроме того, материал должен с минимальными потерями подводить напряжение питания к функциональным компонентам микросхемы, с минимальными искажениями передавать сигналы, обеспечивать надёжный, чаще всего невыпрямляющий и малошумящий контакт с элементами микросхемы.

Медь – один из наиболее часто используемых материалов. Она характеризуется высокой электропроводностью, хорошо сочетается с другими материалами, но вместе с тем медь склонна к окислению, поэтому её используют с адгезионным подслоем (хром, нихром). Удельное поверхностное сопротивление проводника $0,02 \dots 0,04$ Ом [4, 5].

Выбор материала конденсаторов

Обкладки конденсаторов должны иметь высокую проводимость, коррозионную стойкость, технологическую совместимость с материалом подложки и диэлектрика конденсатора: температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР), близкие к ТКЛР подложки и диэлектрика, хорошую адгезию к подложке и диэлектрику, высокую механическую прочность. Для устранения теплового разрушения диэлектрика в процессе нанесения верхней обкладки необходимо применять материал с низкой температурой испарения. Нижняя обкладка конденсатора должна иметь мелкокристаллическую структуру. Не допускается образование кристаллов, выступы которых снижают толщину и соответственно электрическую прочность диэлектрика.

Большинству требований, предъявляемых к материалам обкладок, удовлетворяет алюминий. Атомы и мельчайшие частицы алюминия,

попавшие в межзёрненные области диэлектрика, интенсивно окисляются, что способствует устранению проводящих цепочечных структур между обкладками. Кроме того, участки алюминиевых обкладок в области коротких замыканий самоизолируются от короткозамыкающих мостиков вследствие термического испарения алюминия при протекании тока короткого замыкания.

Материал диэлектрика конденсатора в значительной степени определяет его характеристики. К диэлектрику конденсаторов предъявляются следующие требования: высокая диэлектрическая проницаемость, малый температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, высокая электрическая прочность, низкие диэлектрические потери, высокое сопротивление изоляции, хорошая адгезия, совместимость с технологическими процессами изготовления других элементов микросхемы.

В качестве диэлектрика конденсаторов применяют моноокись кремния SiO_2 , моноокись германия GeO_2 , окислы алюминия Al_2O_3 , тантала Ta_2O_5 , титана TiO_2 , окислы редкоземельных металлов. Основные параметры диэлектрических материалов тонкоплёночных конденсаторов приведены в табл. 1.3 [4 – 6].

При изготовлении конденсаторов в качестве диэлектрика используем моноокись кремния. Плёнки монооксида кремния получают термическим испарением.

Общие требования к методам формирования тонкоплёночных структур на поверхности подложки

Для определения этих требований рассмотрим вначале влияние методов нанесения плёнки на подложку с точки зрения получения требуемой точности параметров элементов ГИС.

Основные параметры диэлектрических материалов конденсаторов

	Монокись кремния	Монокись германия	Пятиокись тантала	Боросиликатное стекло
Удельная ёмкость C_0 , пФ/см ²	5000...10000	5000...15000	60000... ...100000	2500...15000
Электрическая прочность $E_{пр}$, В/см	$2...3 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^6$	$3...4 \cdot 10^6$
Диэлектрическая проницаемость ϵ при $f = 1$ МГц	5...6	11...12	23	4
Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ при $f = 1$ МГц	0,01...0,02	0,005... ...0,007	0,02	0,001... ...0,0015
Температурный коэффициент ёмкости ТКС при $T = -60...125^{\circ}C$, град ⁻¹	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$0,35 \cdot 10^{-4}$
Изменение ёмкости после работы в течение 1000 ч, %	1,5	2	-	-

1.3.3. Формирование тонких плёнок методом термовакuumного напыления

Например, погрешность резистора может быть представлена суммой составляющих [6]:

$$G_R = G_p + G_l + G_b + G_d, (3.1)$$

где G_R – относительная погрешность резистора;

G_p – погрешность за счёт удельного сопротивления материала плёнки;

G_d , G_b , G_l – погрешности за счёт длины, ширины резистора, толщины плёнки соответственно.

Предположив, что составляющие погрешности примерно одинаковы, а значение $G_R = 10\%$, получим значения составляющих 2,5%. Для толщины плёнки равной 100Å значение её абсолютной погрешности составляет 2,5Å, что соизмеримо с толщиной нескольких атомных слоёв. Следовательно, для получения таких слоёв метод нанесения плёнки должен обеспечивать диспергирование исходного материала до атомного (молекулярного) уровня.

Вторым требованием, предъявляемым к методам нанесения тонких плёнок, является требование особой чистоты среды, в которой происходит их осаждение. Будучи объективно необходимым, оно дополнительно обусловлено уровнем диспергирования материала, когда значительно облегчается возможность вступления атомов исходного материала в химические соединения с материалами, загрязняющими среду, в которой происходит процесс осаждения.

Третьим требованием можно назвать требование универсальности метода, позволяющего осаждать плёнки различных материалов.

Перечисленным методам удовлетворяют следующие методы формирования тонких плёнок:

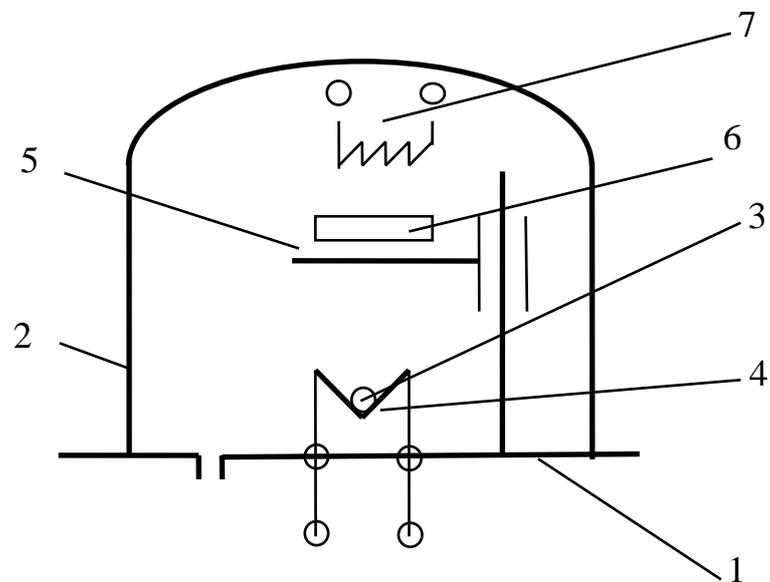
- метод термовакuumного напыления плёнок;
- метод катодного распыления материалов и его модификации;
- метод осаждения из жидкой фазы;
- метод осаждения из газовой фазы.

Метод термовакuumного напыления

Данный метод является одним из наиболее универсальных методов получения плёночных структур самого различного назначения. Широкое использование этого метода основывается на возможности проведения большинства технологических операций в контролируемых и "чистых" условиях, что позволяет использовать ряд известных соотношений геометрической оптики, кинетической теории газов, статистической физики, термодинамики и физики твёрдого тела для объяснения эффектов роста и структурных преобразований изготавливаемых тонкоплёночных структур.

Сущность метода термовакuumного напыления заключается в испарении наносимого материала в условиях низкого давления и дальнейшей его конденсации на поверхности подложки. Принцип действия оборудования, реализующего этот метод, поясняется на рис. 1.4.

Основание 1 и колпак 2 образуют рабочую камеру, из которой непрерывно откачивается воздух. Испаряемый материал путём нагрева



- 1 - основание; 2 - колпак; 3 - испаряемый материал;
 4 - испаритель; 5 - заслонка; 6 - подложка;
 7 - нагреватель подложки.

Рис. 1.4. Схема вакуумной установки.

доводится до температуры, при которой он начинает интенсивно испаряться. Поток пара, имея определённую диаграмму испарения, достигает подложки 6 и конденсируется на ней. Условия конденсации могут меняться путем изменения температуры подложки с помощью нагревателя 7. Заслонка 5 служит для открытия или закрытия пути потоку пара.

Определение технологических режимов напыления

Одной из задач технологии является установление связи между условиями, в которых оптимально протекает используемый физико-химический процесс, и параметрами технологических режимов оборудования, обеспечивающими выполнение этих условий.

Наносимая плёнка должна удовлетворять двум основным требованиям:

- заданному значению параметра, определяемому функциональным назначением плёнки (ρ , C_0 и т.п.);
- сохранению этих параметров на всей площади подложки с заданной точностью.

Любой источник испарения обладает некоторой диаграммой направленности (испарения), определяемой его размерами и конструкцией.

Это значит, что плотность потока пара в различных направлениях различна и, следовательно, различна толщина осаждаемой плёнки на подложке. Это различие также зависит и от расстояния подложки до испарителя.

С этой точки зрения наиболее целесообразным было бы иметь испаритель с площадью не менее площади подложки и близко расположенный к ней. Это обеспечивало бы не только высокую равномерность плёнки по толщине, но и снизило бы расход испаряемого материала. Однако такое решение, оказывается, практически реализовать довольно трудно по двум основным причинам. Первая связана с относительно большими энергетическими затратами на разогрев испарителя. Вторая заключается в резком повышении плотности потока пара, что приводит к трудно управляемому во времени

процессу напыления (малое время напыления, следовательно, больше погрешности параметров плёнки).

В связи с этим при термовакуумном напылении тонких плёнок используют испарители с площадью значительно меньшей площади подложки, что позволяет рассматривать их приблизительно как точечные, а диаграмму испарения подчиняющейся закону косинуса [6].

Для обеспечения требуемой точности воспроизведения параметров плёнки в этом случае расстояние между испарителем и подложкой должно быть не менее определённой величины. Иными словами, требования к параметрам изделия трансформируются к конструктивным требованиям оборудования.

Для получения приемлемых скоростей роста плёнки, а также для экономного расходования испаряемого материала, необходимо создать условия движения молекул (атомов) преимущественно в сторону подложки.

Это может быть создано за счёт уменьшения вероятности столкновения частиц пара с молекулами остаточного газа в рабочей камере, а также за счёт формирования испаряющей поверхности.

Таким образом, устанавливается связь между концентрацией остаточного газа в рабочей камере (физический параметр) с остаточным давлением (параметр технологического режима) в ней.

Однако удобнее степень вакуума связать не с концентрацией молекул остаточного газа, а со средней длиной пробега частицы пара в промежутке испаритель-подложка. При этом очевидно, что средняя длина свободного пробега должна быть больше, чем расстояние от испарителя до подложки. Для воздуха при комнатной температуре средняя длина пробега L приблизительно равна:

$$L = \frac{6,65}{p} [\text{мм}], \quad (1.3)$$

где p – давление остаточного газа в рабочей камере, Па.

Из этого выражения можно определить, что при

$$p = 10^{-2} \text{ Па}, L = 665 \text{ мм.}$$

Или при

$$L = 100 \text{ мм}, p = 6,65 * 10^{-2} \text{ Па [6].}$$

Из рассмотренного выше, устанавливается связь: от погрешности толщины к расстоянию между испарителем и подложкой, к минимальному давлению в рабочей камере.

Однако, давление, найденное только исходя из обеспечения средней длины пробега, является удовлетворительным крайне редко. Как отмечалось ранее, вероятность вступления частиц испаряемого материала в химическую реакцию с частицами остаточного газа достаточно высока. Поэтому, для сохранения свойств осаждаемого на подложку материала концентрация частиц остаточного газа должна быть на несколько порядков ниже, чем концентрация частиц испаряемого материала. Поэтому давление в рабочей камере, как установлено практикой и расчётами, не должно быть выше 10^{-3} Па.

Другими параметрами, определяющими технологический режим осаждения плёнки, являются температура подложки и температура испарителя. Чем выше температура подложки, тем больше вероятность реиспарения атомов (молекул) осаждаемого материала, а центров кристаллизации образуется меньше. Структура плёнки становится "крупнокристаллической". При низких температурах наоборот - осаждённая плёнка имеет "мелкокристаллическую" структуру.

При высокой температуре испарителя, что соответствует высокой плотности потока пара и, следовательно, малому времени осаждения плёнки, вероятность образования центров кристаллизации выше. Следовательно, образуется мелкокристаллическая структура плёнки. Однако при высокой скорости испарения процесс становится трудно контролируемым. При низких температурах испарителя плотность потока пара меньше, скорость

осаждения плёнки меньше, вероятность образования химических соединений больше, структура крупнокристаллическая. Структура плёнки непосредственно влияет на функциональные свойства осаждаемого материала.

Проводниковые материалы (медь, серебро) обычно осаждают на холодную подложку, что обеспечивает более высокую проводимость, а также меньшее окисление поверхности.

Резистивные материалы и материалы под слоя напыляют на "горячую подложку" ($200 \dots 300^{\circ} \text{C}$). Этот режим обеспечивает лучшую адгезию плёнки к подложке. Изменяя температуру подложки, можно для некоторых резистивных микрокомпозиций получить отрицательное значение ТКС, что в некоторых случаях бывает необходимо.

Температура подложки и температура испарителя определяются экспериментально, по результатам исследования осаждённых плёнок. При этом учитываются и электрофизические параметры, и величина адгезии, и управляемость процессов.

Испарители

К материалам испарителей предъявляются следующие требования:

- давление паров материала испарителя должно быть пренебрежимо малым;
- между испаряемым материалом и материалом испарителя не должно быть химического взаимодействия;
- испаряемый материал и материал испарителя не должен образовывать сплавов с низкой температурой испарения;
- испаряемый материал должен хорошо смачивать поверхность испарителя.

В табл. 1.4 приведены некоторые материалы, используемые в основном для испарителей с косвенным резистивным нагревом [6].

Кроме испарителей с резистивным нагревом могут быть использованы индукционные испарители испарители с электронным нагревом.

Материалы испарителей

Испаряемый материал	Материал испарителя
Al	W
Cu	Mo, Ta
Ag	Mo, Ta
Cr	W, Ta
Микрокомпозиции и сплавы РС	W, Ta

1.3.4. Методы формирования тонкоплёночных структур

Формирование элементов ГИС методом свободной маски.

Данный метод получения заданной конфигурации элементов ГИС является наиболее простым. Он заключается в нанесении каждого слоя тонкоплёночной структуры через специальный трафарет (съёмную маску), с определённой точностью повторяющий геометрию элементов каждого слоя микросхемы. В масочном методе операции нанесения плёнки и формирования конфигураций элементов совмещены. Плёнка из напыляемого материала осаждается на подложке в местах, соответствующих рисунку окон в маске. Нанесение плёнок через съёмные маски осуществляется либо термическим испарением в вакууме, либо ионно-плазменным распылением. Схема процесса представлена на рис. 1.5.

В силу того, что маска имеет определённую толщину и к подложке прилегает неплотно, то возникают характерные погрешности метода:

- $\Delta Э$ – погрешность экранирования;
- $\Delta П$ – погрешность подпыления.

Из рисунка также видно, что на погрешность метода влияет и толщина маски. Отсюда, к маске и её материалу должны предъявляться определённые, достаточно противоречивые требования по толщине и гибкости, а также к температурному коэффициенту линейного расширения.

Наиболее распространённым материалом является бериллиевая бронза толщиной 0,05...0,15 мм.

Метод свободной маски рекомендуется применять при мелкосерийном и серийном производстве.

Метод фотолитографии

Данный метод позволяет получить конфигурацию элементов любой сложности и имеет большую точность по сравнению с масочным, но он более сложен, так как включает большее число технологических операций. При использовании фотолитографии процессы нанесения и формирования плёночных элементов разнесены во времени.

Фотолитография может быть последовательной, селективной, обратной и с использованием анодного окисления.

Метод рекомендуется использовать при массовом производстве ГИС.

Формирование элементов ГИС методом последовательной фотолитографии.

Метод заключается в последовательном формировании каждого функционального слоя, разгерметизации рабочей камеры и применении фотолитографии к этому слою для оформления его рисунка.

Укрупнённая последовательность операций представлена на рис. 1.6 на примере формирования резистивно-проводниковой структуры.

На подложку 1 наносится резистивный слой 2. Затем рабочая камера разгерметизируется, наносится фоторезист 3 и производится экспонирование через шаблон 4 (рис. 1.6, а).

После проявления, травления и удаления фоторезиста получается структура, изображённая на рис. 1.6, б.

Затем подложка снова помещается в рабочую камеру, наносится проводниковый слой 5, вновь производится разгерметизация, нанесение фоторезиста 6 и экспонирование через фотошаблон 7 проводникового слоя (рис. 1.6, в).

Затем производится проявление фоторезиста, травление селективным травителем проводникового слоя, удаление фоторезиста. В результате получается резистивно-проводниковая структура рис. 1.6, г.

Выполняя аналогичные операции можно получить структуру с большим количеством слоёв.

Формирование элементов ГИС методом одинарного селективного травления

В рабочей камере на подложку 1 наносится сплошной резистивный слой 2 и проводниковый слой 3 через маску (рис. 1.7 а)). После разгерметизации наносится фоторезист 4 и производится экспонирование через шаблон резистивного слоя. После проявления получаем структуру, показанную на рис. 1.7, б, а после проявления селективным травителем – структуру на рис. 1.7, в.

Формирование элементов ГИС методом двойного селективного травления

При методе двойного селективного травления сплошной резистивный слой 2 и сплошной проводниковый слой 3 наносятся без разгерметизации рабочей камеры. После формирования слоёв подложка вынимается из рабочей камеры и производится фотолитография проводникового слоя. Полученная структура представлена на рис. 1.8, б. Пунктиром показана защитная маска из фоторезиста, которая используется перед операцией селективного травления проводникового слоя. Затем снова наносится фоторезист, и процесс фотолитографии повторяется по резистивному слою (рис. 1.8, в и г).

Формирование элементов ГИС методом обратной фотолитографии

Метод основан на применении в качестве маски тонкого слоя легко травящегося металла. Этот металл напыляется непосредственно на подложку. С помощью фоторезистивного защитного рельефа в нём формируется рисунок негативный по отношению к требуемому изображению. Фоторезист удаляется, и на металлическую маску наносится рабочий материал.

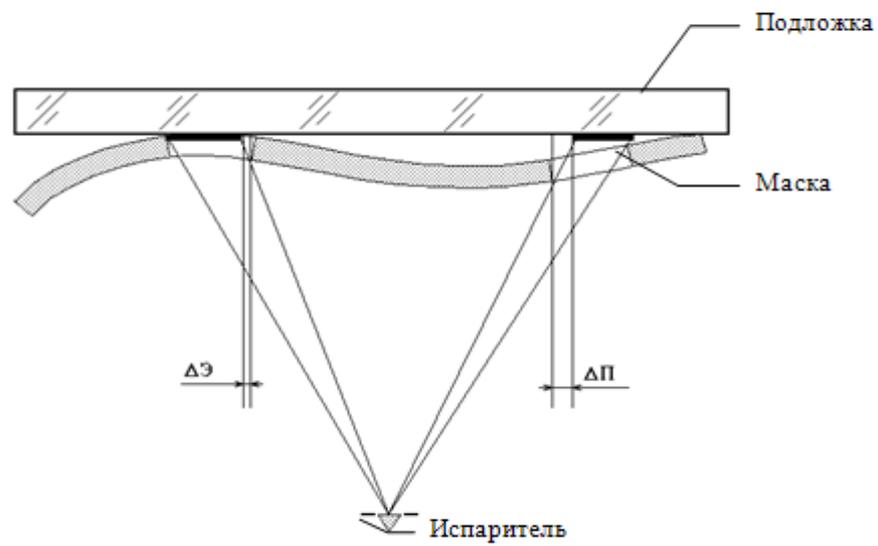


Рис. 1.5. Схема напыления через маску.

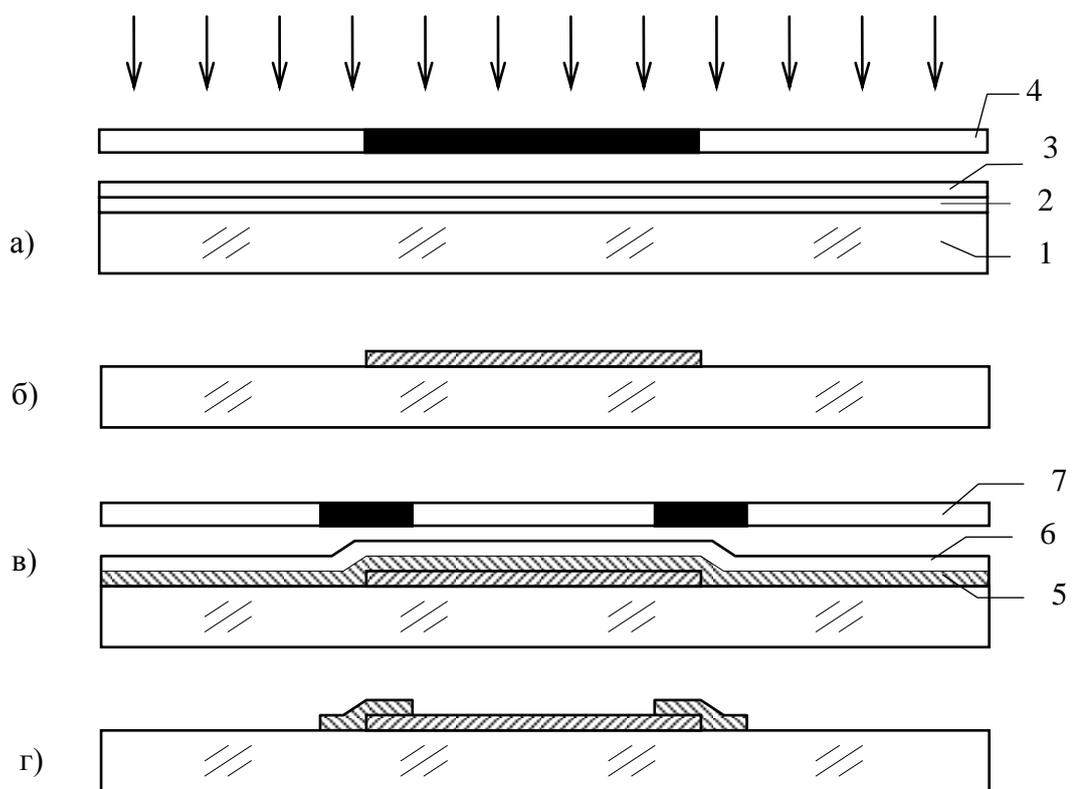


Рис. 1.6. Схема процесса последовательной фотолитографии.

При травлении материала маски, находящейся под рабочим слоем, последний удаляется с подложки, за исключением тех мест, где он осаждён непосредственно на подложку. За счёт этого получается резкий край рисунка, так как исключается эффект подтравливания функционального материала. Однако технологический процесс фотолитографии несколько усложняется.

Оценка методов формирования элементов ГИС

Оценку методов целесообразно проводить по трем показателям:

- производительность;
- точность воспроизведения рисунка элементов;
- сопротивление контактного перехода в структуре резистор-проводник (или проводник-проводник).

Наиболее производимым следует считать метод свободной маски, так как рабочая камера может быть оборудована карусельной системой масок и позиций напыления различных материалов. Таким образом, многослойная структура элементов ГИС формируется без разгерметизации рабочей камеры, при этом сам процесс напыления и смены масок занимает очень короткое время (десятки секунд, минута).

Наименее производительным является метод последовательной фотолитографии (2 откачки, 2 фотолитографии). При этом учитывается, что откачка вместе с нагревом подложки, термостабилизацией слоя, остыванием занимает примерно 1...1,5 часа, а сама фотолитография – около 1 часа.

Таким образом, рассмотренные методы по производительности выстраиваются в следующем порядке:

- 1) метод свободной маски (М);
- 2) метод одинарного селективного травления (ОСТ);
- 3) метод двойного селективного травления (ДСТ);
- 4) метод последовательной фотолитографии (ПФ).

Наименее точным является метод свободной маски. Вслед за ним стоит метод одинарного селективного травления. Наиболее точными являются методы двойной, обратной и последовательной фотолитографии.

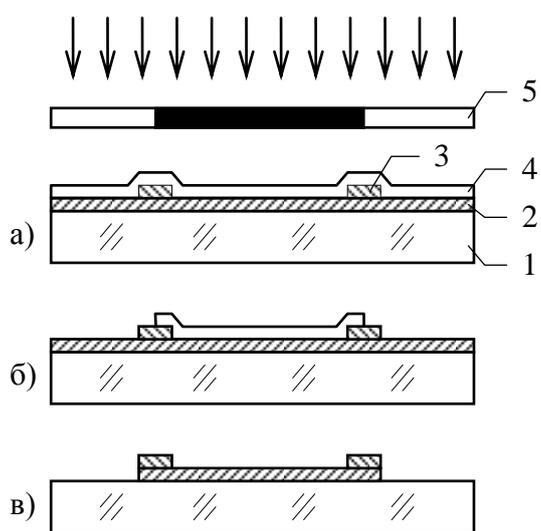


Рис. 1.7. Одинарное селективное травление.

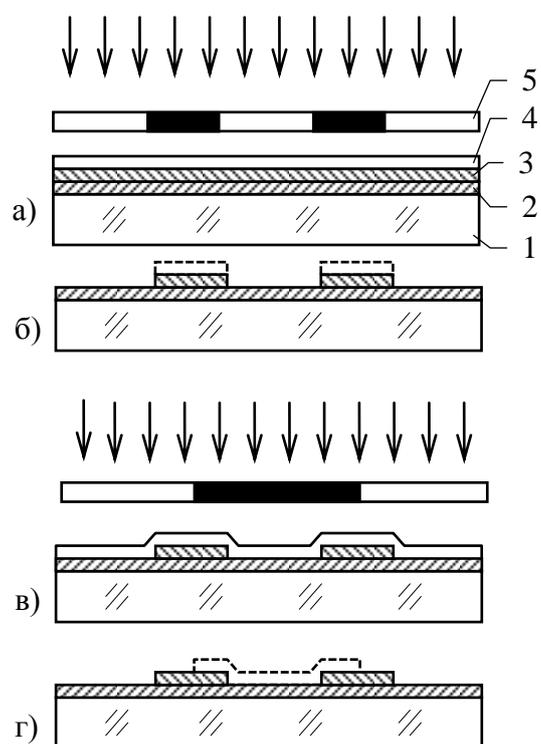


Рис. 1.8. Двойное селективное травление.

Наименьшее сопротивление контактных переходов получаем в методах, где нет разгерметизации рабочей камеры между формированием двух прилегающих слоёв. К ним относятся метод свободной маски, одинарного и двойного селективного травления. Наибольшее сопротивление контактных переходов получается при последовательной фотолитографии [6].

1.3.5. Разработка технологического процесса изготовления ГИС

Совокупность технологических операций, составляющих маршрут производства тонкоплёночных гибридных микросхем, направлена на подготовку поверхности подложки, нанесение плёнок на подложку, формирование конфигураций тонкоплёночных элементов, монтаж навесных компонентов, защиту и герметизацию изделия от внешних воздействий. В связи с этим ниже предлагается краткая структура технологического процесса изготовления ГИС (рис. 1.9). Все технологические операции по обработке подложек, формированию плёночных структур и защите микросхемы выполняются по типовым технологическим процессам согласно ОСТ 4.ГО.054.028. Особым технологическим процессом является сборка изделия [2008-00-992.06.00 СБ], [2008-00-992.07.00 СБ] и [2008-00-992.09.00]. Технологический процесс сборки во многом определяется конструкцией изделия и применяемой элементной базой. Он также зависит от объёмов производства, но в меньшей степени, поскольку определяется необходимым минимумом всех технологических операций и переходов, а объём производства влияет на степень автоматизации, механизации и организации производства.



Рис. 1.9. Структура технологического процесса изготовления ГИС.

1.3.6. Испытания

Под испытанием понимают проверку качества функционирования, сохранения внешнего вида и конструктивной целостности изделия при воздействии на него комплекса внешних факторов соответствующих реальным условиям эксплуатации.

На современном уровне развития технологии испытания, как метод оценки надёжности и контроля качества микросхем, стали малоэффективными [7, 8]. Кроме того испытания стали дорогостоящим средством получения информации, а расходы на их проведение всё более увеличивают себестоимость изделия.

Поэтому испытаниям сегодня отводится роль контрольной операции, выполняемой в интересах получения информации, характеризующей стабильность технологического процесса и производственного уровня на контролируемом отрезке времени.

Для разработки методики испытаний необходимо выделить основные факторы, влияющие на надёжность микросхемы.

Все факторы, влияющие на микросхему можно разделить на две группы: климатические и механические.

К климатическим относятся температура окружающей среды, влажность, солнечная радиация, загрязнённость атмосферы, атмосферное давление.

К механическим можно отнести вибрации, линейную нагрузку, удары, нагрузку на выводы микросхемы.

На этапе серийного производства микросхем в целях контроля стабильности производства проводят следующие виды климатических испытаний:

- 1) испытания на теплоустойчивость;
- 2) испытания на холодоустойчивость;
- 3) испытания на воздействие смены температур;

- 4) испытания на кратковременную влагоустойчивость;
- 5) испытания на проверку герметичности.

Из механических испытаний проводят испытания на воздействие вибрации, испытания на ударную прочность, испытания на воздействие линейных нагрузок и испытания на прочность выводов и их крепление.

Разрабатываемая микросхема подвергается климатическим и механическим испытаниям согласно инструкциям.

Технологическая инструкция по проведению климатических испытаний на теплоустойчивость микросхемы модуля.

1. Назначение: настоящая инструкция предназначена для проведения испытаний на теплоустойчивость выборки микросхем.

2. Цель испытаний: определение способности микросхемы сохранять свои параметры в пределах норм технических условий в процессе, и после воздействия верхнего значения температуры.

3. Оборудование рабочего места: термокамера КТХ –90/100.

4. Требования безопасности: при проведении испытаний должны соблюдаться требования техники безопасности.

5. Порядок проведения испытаний.

5.1. Испытуемые образцы выдержать в течение 2 часов в нормальных климатических условиях для стабилизации свойств изделия.

5.2. Измерить первоначальные параметры микросхем.

5.3. Провести внешний осмотр изделия.

5.4. Установить тару с микросхемами в термокамеру.

5.5. Установить температуру $T=70 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

5.6. Выдержать микросхемы в течение 8 часов.

5.7. При достижении теплового равновесия произвести контроль параметров.

5.8. Вынуть тару с микросхемами.

5.9. Провести конечную стабилизацию свойств изделия, выдержав 2 часа при нормальных климатических условиях.

- 5.10. Провести конечный контроль микросхем согласно инструкции.
- 5.11. Зарегистрировать результаты в журнале.
- 5.12. Маркировать годные микросхемы краской.
- 5.13. Отправить годные микросхемы на участок сборки.
- 5.14. Выявить неисправности негодных микросхем и зарегистрировать их в журнале.
- 5.15. Отправить негодные микросхемы на исследование.

Методика проведения испытаний на холодоустойчивость

Цель испытаний на холодоустойчивость - определение способности изделий сохранять свои параметры при воздействии холода и выявление различных дефектов.

После внешнего осмотра изделия помещают в камеру холода и измеряют необходимые параметры в нормальных климатических условиях. После этого в камере устанавливают температуру, равную рабочей, указанной в ТУ, и выдерживают изделия при этой температуре в течение времени, достаточного для охлаждения их по всему объёму. Время выдержки оговаривается в ТУ (обычно от 0,5 до 6 часов). По истечении срока выдержки измеряют необходимые параметры изделий. По окончании испытания температуру в камере повышают до нормальной со скоростью 1...2⁰/мин. При нормальной температуре изделия выдерживают в течение 2...4 часов (если в ТУ не указано другое время), после чего измеряют необходимые параметры. Изделия считают выдержавшими испытания, если во время пребывания их в камере и после выдержки в нормальных климатических условиях соблюдается соответствие требованиям, установленным в ТУ для данного вида испытаний.

Методика испытания изделия на виброустойчивость

Цель испытаний - проверка способности устройства противостоять разрушающему действию вибрации, выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах норм, указанных в ТУ.

1. Производят внешний осмотр устройства и производят проверку работоспособности (соответствие параметров ТУ).
2. Поместить изделия в тару.
3. Микросхемы в таре закрепить на стенде.
4. Включить стенд и провести испытания (в направлении указанном на таре "ВЕРХ" методом фиксированных частот) устройства в выключенном состоянии с разным количеством, от 30...60 уд./мин. Произвести не менее 3-х циклов продолжительностью 10 мин каждый.
5. Выключить стенд, извлечь микросхемы из тары и произвести внешний осмотр, а также произвести проверку работоспособности (соответствие параметров ТУ).
6. Изделие считается выдержавшим испытания, если после проведения испытания внешний вид и параметры удовлетворяют ТУ, а также отсутствуют ослабление креплений и механические повреждения.

1.4. Постановка задачи исследования

Но при всех этих потребностях состояние на рынке приборов для контроля влажности не оставляет уверенности в удовлетворительном положении. Многие датчики и приборы, которые используются потребителями, далеко не удовлетворяют потребностям современного уровня развития техники, другие являются неудобными, громоздкими или дорогостоящими.

Для изготовления проводников и контактных площадок могут быть использованы различные металлы, отличающиеся друг от друга по величине электропроводности и по прочности сцепления с подложкой. Материал проводников и контактных площадок должен иметь малое удельное сопротивление, хорошую адгезию к подложке, высокую коррозионную стойкость. Кроме того, материал должен с минимальными потерями

подводить напряжение питания к функциональным компонентам микросхемы, с минимальными искажениями передавать сигналы, обеспечивать надёжный, чаще всего невыпрямляющий и малошумящий контакт с элементами микросхемы.

В выпускной квалификационной работе поставлена задача теоретического рассмотрения автоматического малогабаритного измерителя для контроля уровня влажности технологических сред и подготовка лабораторного стенда по определению влажности воздуха.

ГЛАВА II. СБОРКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

2.1. Разработка лабораторного стенда для определения влажности воздуха

Квалификационная выпускная работа выполнена на кафедре «Теоретическая электротехника и электронные технологии» факультета «Электроника и автоматика» Ташкентского Государственного технического университета имени А.Р. Беруни.

В расчётах систем теплоснабжения и вентиляции часто требуется знать влажность, которая является важным гигиеническим, теплотехническим и технологическим фактором.

Влажность воздуха - это содержание в нем водяного пара, причем влажность воздуха может быть разной степени.

Относительная влажность - это отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре к давлению насыщенных паров при той же самой температуре.

При охлаждении ненасыщенного пара при постоянном давлении его плотность возрастает и наступает такой момент, когда пар становится насыщенным. Температура, при которой это происходит, называется **точкой росы**.

φ – относительная влажность

$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%$$

φ – абсолютная влажность

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad \text{где } \rho - \text{плотность ненасыщенного водяного пара}$$

ρ_0 – плотность насыщенного водяного пара

Существует несколько методов измерения влажности воздуха:

Гигроскопический метод основан на применении гигрометра или волосного гигрометра. *Волосной гигрометр* основан на том эффекте, что длина либо человеческого, либо синтетического волоса изменяется при разных значениях влажности воздуха. Стрелочка на шкале показывает значение влажности воздуха (рис. 2.1).

Для определения влажности воздуха с помощью *психрометра* следует определить значения температуры, которые показывает влажный термометр и сухой термометр. Затем определяют разность показаний этих двух термометров. По таблице определяют значение влажности воздуха (рис. 2.2).

2.2. Руководство по эксплуатации

Источник питания – лабораторная стенд должна подключаться только к источнику питания 220-250 В переменного напряжения, 50 Гц.

Если вы неуверенны относительно типа электропитания в вашем помещении, проконсультируйтесь с вашей местной энергетической службой.

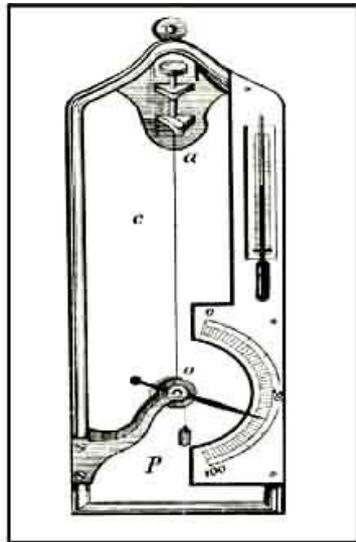
Сетевой шнур – не пытайтесь выдернуть шнур питания из установки и сильно не перегибайте его в месте выхода из установки.

Принадлежности, не помещайте вставку на неустойчивую опору. Он может упасть и привести к травме.

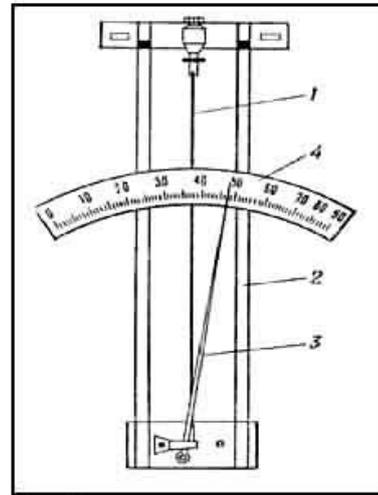
При повреждении или неправильной работе установки – отключите установку от сети и предоставьте осмотр квалифицированному специалисту:

- если шнур питания или двигатель повреждены;
 - если в установку попали посторонние предметы;
- если установка повреждена при ударе.

Не включать установку без преподавателя. Во время проведения лабораторных работ предельно осторожно и внимательно выполнять указания преподавателя.

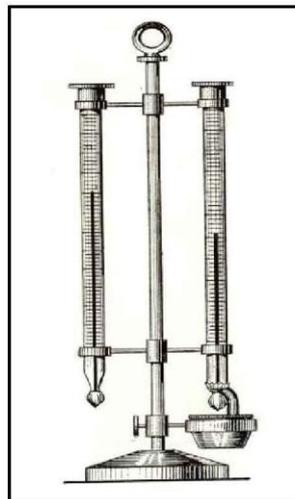


1783г.
Волосной
гигрометр Г. де Соссюра



1. Волос
2. Металлическая рамка
3. Стрелка
4. Шкала

Рис. 2.1. Волосной гигрометр.



1825 год

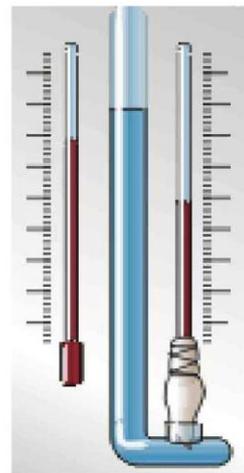


Рис. 2.2. Психрометр.

После окончания лабораторной работы убедитесь в отключенности установки.

В таблице приведена относительная влажность воздуха при разных температурах (таблица 2.1).

2.3. Лабораторная работа

Цель работы: научиться определять влажность воздуха.

Приборы и принадлежности: психрометр Августа, термометр лабораторный, двигатель.

Порядок выполнения работы: Демонстрационный вариант выполнения работы.

- 1) Ответьте на вопрос: что лежит в основе принципа действия волосного гигрометра.
- 2) Определите по волосному гигрометру относительную влажность воздуха и запишите результат в тетрадь.
- 3) Определите влажность воздуха с помощью психрометра. Для этого
 - Определите цену деления термометра
 - Определите температуру сухого термометра $t_{\text{сухого}}$
 - Определите температуру увлажненного термометра $t_{\text{увл}}$
 - Найдите разницу показаний сухого и влажного термометр $\Delta t = t_{\text{сухого}} - t_{\text{увл}}$
 - Используя психрометрическую таблицу, определите влажность воздуха.
- 4) Сделайте вывод, сравнив полученные двумя способами значения влажности воздуха.

Фронтальный вариант выполнения работы.

- 1) Изготовить модель психрометра. Для этого оберните резервуар термометра со спиртом кусочком ткани и закрепите ее нитью.
- 2) Измерьте температуру воздуха в кабинете $t_{\text{сухого}}$
- 3) Измерьте температуру воды в сосуде. Она должна иметь комнатную температуру.

4) Смочите ткань водой и некоторое время наблюдайте за изменением показаний увлажненного термометра. Запишите температуру увлажненного термометра в тот момент когда температура перестанет, изменяться.

5) Найдите разницу показаний сухого и влажного термометров

$$\Delta t = t_{\text{сухого}} - t_{\text{увл}}$$

6) Используя психрометрическую таблицу, определите влажности воздуха.

7) Сравните измеренное значение влажности с помощью модели психрометра (рис. 2.3) с влажностью измеренной психрометром или волосным гигрометром.

2.4. Краткая теория метода

Абсолютной, или объемной влажностью воздуха β называется количество водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха (плотность водяных паров). Обычно эту величину выражают в $\text{г}/\text{м}^3$.

Относительная влажность воздуха ϕ определяется отношением его абсолютной влажности β к влажности (плотности) паров, насыщающих воздух при данной температуре, β_n

$$\phi = \beta / \beta_n \quad (2.1)$$

или

$$\phi = (\beta / \beta_n) 100\% \quad (2.2)$$

Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром.

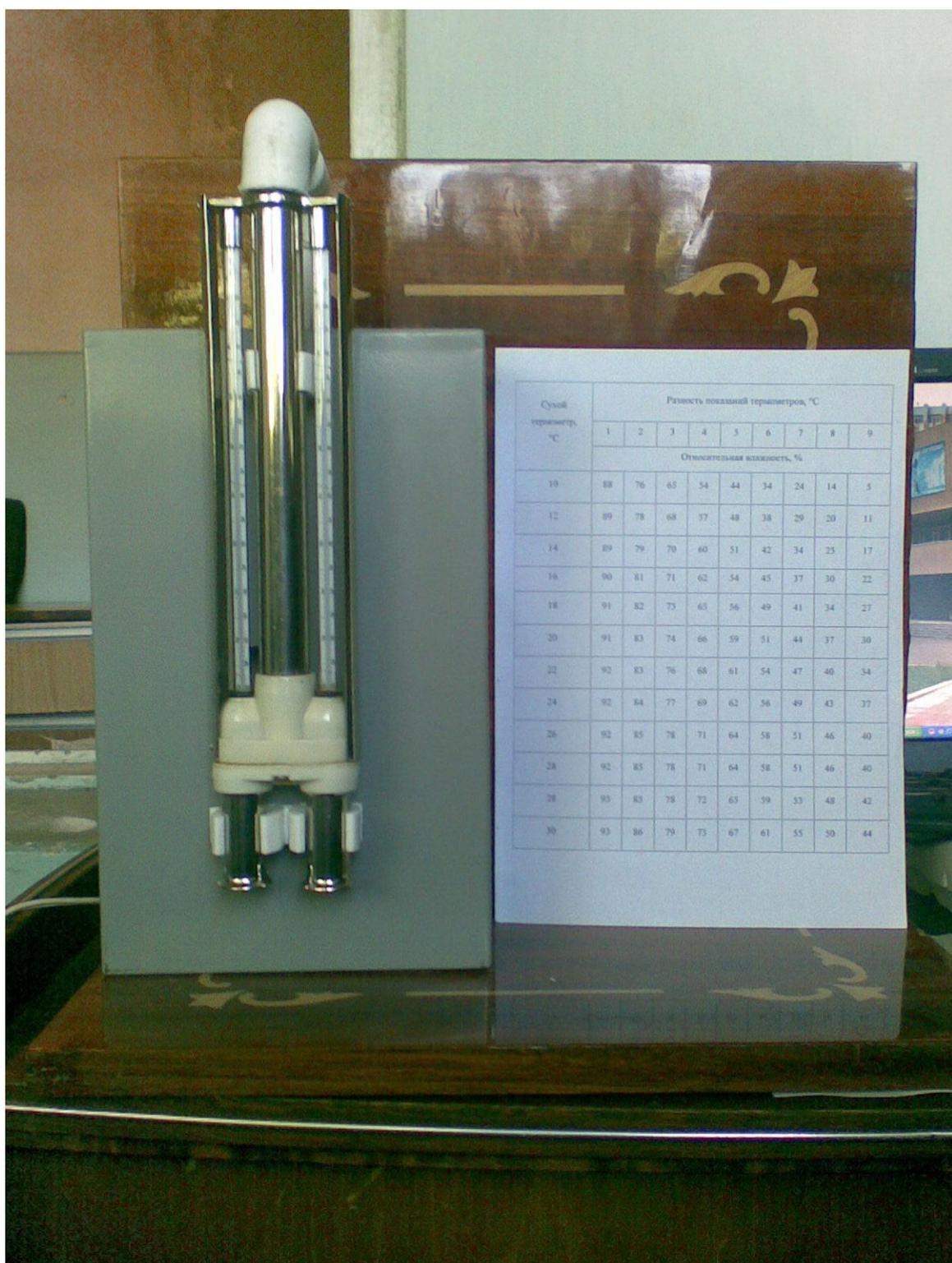


Рис. 2.3. Лабораторный стенд для определения влажности воздуха.

Плотность паров, насыщающих воздух, то есть паров, находящихся в динамическом равновесии с жидкостью, зависит только от их температуры. Эта зависимость приведена в таблице 2.1 в конце описания работы.

Таблица 2.1.

Сухой термометр, °C	Разность показаний термометров, °C								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %								
10	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	92	83	76	68	61	54	47	40	34
24	92	84	77	69	62	56	49	43	37
26	92	85	78	71	64	58	51	46	40
28	92	85	78	71	64	58	51	46	40
28	93	85	78	72	65	59	53	48	42
30	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Из этой таблицы видно, что плотность насыщенного водяного пара β_n резко возрастает с увеличением температуры.

Следовательно, относительная влажность φ уменьшается с увеличением температуры (так как β от температуры не зависит).

Числовое значение относительной влажности может меняться от 0 до 1 или от 0 до 100%.

Определение влажности воздуха производится обычно психрометрическим способом с использованием табличных данных.

2.5. Ход работы

Задание. Определение влажность воздуха при помощи психрометра Августа. $t_{\text{сух}}=24,2^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вл}}=21,2^{\circ}\text{C}$

Разность температур: $t_{\text{сух}}-t_{\text{вл}}=24,2-21,2=3^{\circ}\text{C}$

По психрометрической таблице определяем относительную влажность воздуха – 74%

Относительная влажность воздуха определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\% ,$$

где e – абсолютная влажность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$

E – максимальная влажность при той же температуре $\rho = E_{\text{max}} = 21,8$
 $\text{г}/\text{м}^3 = 0,0218 \text{ кг}/\text{м}^3$

Выразив из формулы абсолютную влажность воздуха, получим:

$$e = \frac{\varphi \cdot E}{100\%}$$
$$e = \frac{74 \cdot 0,0218}{100\%} = 0,016 \text{ кг}/\text{м}^3$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научились определять влажность воздуха с помощью психрометр Августа, определять абсолютную и относительную влажности воздуха.

В ходе выпускной квалификационной работы было изучено автоматизированный пьезоэлектрический измеритель влажности для контроля технологических сред, параметры которого полностью удовлетворяют требованиям технического задания. Измеритель позволяет с достаточно высокой точностью определить уровень влажности, который является важным параметром многих технологических процессов, и от которого в дальнейшем зависит работоспособность и качество будущего изделия.

В рамках выпускной квалификационной работы было подготовлено лабораторный стенд по определению влажности воздуха.

Выпускная квалификационная работа выполнялась самостоятельно, но не без помощи руководителя.

Измеритель влажности в различных своих модификациях может встраиваться в технологические объёмы или различное оборудование. Он позволяет легко и быстро анализировать результаты, даёт возможность автоматического контроля или анализа влажности в сопряжении с различными устройствами управления технологическими процессами или ЭВМ.

В заключении можно отметить, что разработанная установка имеет эстетический вид и является универсальной.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В данном разделе выпускной работы рассматриваются вопросы безопасной жизнедеятельности человека, которых необходимо решать на всех стадиях жизненного цикла.

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека в значительной степени зависит от правильной оценки опасных, вредных производственных факторов. Одинаковые по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами. Это могут быть какие-либо факторы производственной среды, чрезмерная физическая и умственная нагрузка, нервно-эмоциональное напряжение, а также разное сочетание этих причин.

БЖД система знаний, направленных на обеспечение безопасности в производственной и непроизводственной среде с учетом влияния человека на среду обитания.

Обеспечение безопасной жизнедеятельности человека в значительной степени зависит от правильной оценки опасных, вредных производственных факторов. Одинаковые по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами. Это могут быть какие-либо факторы производственной среды, чрезмерная физическая и умственная нагрузка, нервно-эмоциональное напряжение, а также разное сочетание этих причин.

Жизнедеятельность это способ существования или повседневная деятельность человека. В процессе своей жизнедеятельности любой человек постоянно взаимодействует со средой обитания. Последняя - это окружающая человека среда в процессе его деятельности, обусловленная совокупностью физических, химических, биологических, психофизиологических и социально-экономических факторов, способных оказать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность человека, его здоровье и потомство. Основными средами обитания человека являются производственная среда, городская среда или среда населенных мест, бытовая или жилая среда и природная среда (ПС).

Оптимальное взаимодействие человека со средой обитания возможно, если будут обеспечены комфортность среды, минимизация негативных воздействий и устойчивое развитие системы “человек - среда обитания - машина - чрезвычайная ситуация”. Изучением элементов, составляющих эту систему, и явлений, происходящих в ней занимается безопасность жизнедеятельности (БЖД) - наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека со средой обитания. Ее основная задача состоит в сохранении работоспособности и здоровья человека, выборе параметров состояния среды обитания и применении мер защиты от негативных факторов естественного и антропогенного происхождения. Основной целью изучения БЖД является приобретение теоретических знаний и практических навыков, необходимых для:

- 1) создания оптимального состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;
- 2) идентификации (распознавание и количественная оценка) опасных и вредных факторов среды обитания естественного и антропогенного происхождения;
- 3) разработки и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий (опасностей);
- 4) проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов народного хозяйства (ОНХ) в соответствии с требованиями по безопасности и экологичности;
- 5) обеспечения устойчивости функционирования ОНХ и ТС в штатных и чрезвычайных ситуациях;
- 6) прогнозирования развития и оценки последствий ЧС;
- 7) принятия решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий.

Взаимодействие человека со средой обитания может быть позитивным или негативным, характер взаимодействия определяют потоки веществ, энергий и информации. Любое превышение привычных уровней потоков сопровождается негативными воздействиями на человека или природную среду.

В условиях техносферы негативные воздействия обусловлены элементами техносферы (машины, сооружения и т.д.) и действиями человека. Изменяя величину любого потока от минимально значимой до максимально возможной, можно пройти ряд характерных состояний взаимодействия в системе «человек- среда обитания»:

- комфортное (оптимальное), когда потоки соответствуют оптимальным условиям взаимодействия: создают оптимальные условия деятельности и отдыха; предпосылки для проявления наивысшей трудоспособности и как следствие продуктивности деятельности; гарантируют сохранение здоровья человека и целостности компонент среды обитания.

- допустимое, когда потоки, воздействуя на человека и среду обитания, не оказывают негативного влияния на здоровье, но приводят к дискомфорту, снижая эффективность деятельности человека. Соблюдение условий допустимого взаимодействия гарантирует невозможность возникновения и развития необратимых процессов у человека и в среде обитания.

- опасное, когда потоки превышают допустимые уровни и оказывают негативное воздействие на здоровье человека, вызывая при длительном взаимодействии заболевания, и/или приводят к деградации природной среды.
- чрезвычайно опасное, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать нарушения в природной среде.

- чрезвычайно опасное, когда потоки высоких уровней за короткий период времени могут нанести травму, привести человека к летальному исходу, вызвать нарушения в природной среде.

Из четырёх характерных состояний взаимодействия человека со средой обитания лишь первые два (комфортное и допустимое) соответствуют позитивным условиям повседневной деятельности, а два других (опасное и чрезвычайно опасное) - недопустимы для процессов жизнедеятельности человека, сохранения и развития природной среды. Следовательно, поддержание комфортного и/или допустимого состояний является способом повышения защищённости человека.

Комфортное состояние жизненного пространства по показателям микроклимата и освещения достигается соблюдением нормативных требований. В качестве критериев комфортности устанавливают значения температуры воздуха в помещениях, его влажности и подвижности, соблюдение нормативных требований к искусственному освещению помещений и территорий.

Параметры - температура окружающих предметов и интенсивность физического нагревания организма характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим разнообразием. Остальные параметры - температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха - получили название параметров микроклимата.

Параметры микроклимата воздушной среды, которые обуславливают оптимальный обмен веществ в организме и при которых нет неприятных ощущений и напряжённости системы терморегуляции организма, называют комфортными или оптимальными.

Влаговыведения

Влага выделяется в результате испарения со свободной поверхности воды и влажных поверхностей материалов и кожи, в результате дыхания людей, а также химических реакций, работы оборудования и т.д. Количество влаги, выделяемое людьми (см. табл. 1), г/ч, определяется по формуле:

$$W = n / w$$

где n - число людей; w - количество влаги, выделенное одним человеком, г/ч.

Таблица 1.

Количество тепла и влаги, выделяемое человеком.

Характер выполняемой работы	Тепло, Вт				Влага, г/ч	
	полное		явное		при 10°C	при 35°C
	при 10 °С	при 35 °С	при 10 °С	при 35°C		
Умственная	160	93	140	16	30	115
Физическая						
Легкая	180	145	150	8	40	200
Средняя	215	195	165	8	70	280
Тяжелая	290	290	195	16	135	415

Количество влаги, испаряющейся с открытой поверхности не кипящей воды, кг/ч, определяется по формуле:

$$W_B = (a + 0,13V) \cdot (P_{нос} - P_{окр}) \cdot \frac{101,325}{B} \cdot F$$

где a - коэффициент, зависящий от температуры поверхности испарения (табл. 2), V - скорость движения воздуха над поверхностью испарения, м/с.; $P_{нос}$, $P_{окр}$ - давление водяного пара, соответственно, при температуре поверхности испарения и полном насыщении и в окружающем воздухе, кПа; F - площадь поверхности испарения, м²; B - барометрическое давление, кПа.

Таблица 2.

Значение коэффициента a

$t_{исп}$, °С	≤30	40	50	60	70	80	90
a	0,02	0,028	0,033	0,037	0,041	0,046	0,051

Для некипящей воды температура поверхности испарения $t_{исп}$ находится из таблицы 3 по средней температуре воды $t_с$

Таблица 3.

Температура поверхности испарения воды

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90
$t_с, ^\circ\text{C}$	18	28	37	45	51	58	69	82

Количество влаги, испарившейся при кипении воды, $W_{охл}$, кг/ч, зависит от количества подводимого к воде тепла и вида укрытия воды и может быть определено по формуле:

$$W_{кип} = 3,6 K_{укр} (N_{ист} / q),$$

где $K_{укр}$ - опытный коэффициент, учитывающий вид укрытия: для плотных укрытий без отсоса воздуха – 0,1, при отсосе воздуха - 0,2...0,25; $N_{ист}$ - мощность теплового источника испарения, Вт; q - скрытая теплота испарения, кДж/кг.

Ориентировочно интенсивность испарения может быть принята равной 40...50 кг в 1 час с 1 м² поверхности.

Количество водяных паров, образующихся при химических реакция, в том числе и при горении веществ, определяется по опытным данным. При сжигании 1 кг горючего количество образовавшейся влаги может быть определено по таблице 4.

Таблица 4.

Количество влаги $W_{гор}$, образующейся при сгорании 1 кг топлива

Горючей вещество	$W_{гор}$, кг/кг
Водный генераторный газ	0,61
Ацетилен	0,7
Бензин	1,4

Количество испаряющейся влаги $W_{\text{охл}}$ (кг/ч) при применении охлаждающих эмульсий при охлаждении металлорежущих станков определяется по формуле $W_{\text{охл}} = 0,15 \cdot N$, где N - мощность станков, кВт.

Влаговыведения от технологического оборудования обычно принимаются по справочным данным.

Расчет местной вытяжной вентиляции

Искусственная (механическая) вентиляция устраняет недостатки естественной вентиляции. При механической вентиляции воздухообмен осуществляется за счет напора воздуха, создаваемого вентиляторами (осевыми и центробежными); воздух в зимнее время подогревается, в летнее охлаждается и кроме того очищается от загрязнений (пыли и вредных паров и газов). Механическая вентиляция бывает приточной, вытяжной, приточно-вытяжной, а по месту действия — общеобменной и местной.

При **приточной системе вентиляции** (рис. 1, а) производится забор воздуха извне с помощью вентилятора через калорифер, где воздух нагревается и при необходимости увлажняется, а затем подается в помещение. Количество подаваемого воздуха регулируется клапанами или заслонками, устанавливаемыми в ответвлениях. Загрязненный воздух выходит через двери, окна, фонари и щели неочищенным.

При **вытяжной системе вентиляции** (рис. 1, б) загрязненный и перегретый воздух удаляется из помещения через сеть воздуховодов с помощью вентилятора. Загрязненный воздух перед выбросом в атмосферу очищается. Чистый воздух подсасывается через окна, двери, неплотности конструкций.

Приточно-вытяжная система вентиляции (рис. 1, в) состоит из двух отдельных систем приточной и вытяжной, которые одновременно подают в помещение чистый воздух и удаляют из него загрязненный. Приточные

системы вентиляции также возмещают воздух, удаляемый местными отсосами и расходуемый на технологические нужды; огневые процессы, компрессорные установки, пневмотранспорт и др.

Рассчитываемая местная вытяжная вентиляционная установка предназначена для удаления запыленного воздуха от фасовочной машины и включает в себя приемник запыленного воздуха, расположенный над машиной, воздуховод, одну задвижку, два поворота на 90° , очистное сооружение (циклон), вентилятор.

Исходные данные:

1. площадь сечения приемника (зонта) – $F_{раб} = 1 м^2$;
2. дополнительные отверстия в воздуховоде отсутствуют - $F_{дон} = 0$;
3. коэффициент запаса - $\alpha = 1,1$;
4. объемный расход выделяющейся пыли - $V_t = 5 \cdot 10^{-5} м^3/с$;
5. температура удаляемого воздуха - $20^\circ C$;
6. динамическая вязкость воздуха — $\mu_c = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{Н \cdot с}{м^2}$
7. длина воздуховода - $L = 20 м$;
8. скорость воздуха в воздуховоде - $W_e = 5 м/с$
9. гидравлическое сопротивление циклона — $\Delta P_u = 500 Па$
10. общий к.п.д. вентиляционной установки — $\eta = 0,5$;
11. диаметр частицы пыли - $d = 100 \cdot 10^{-6} м$;
12. кажущаяся плотность частицы - $\rho = 1600 кг/м^3$.

При расчете необходимо найти мощность электродвигателя вентилятора.

Выполнение работы:

1. Вычисление критерия Архимеда

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho \cdot \rho_c \cdot g}{\mu_c^2},$$

где, d - диаметр частицы пыли, $м$;

ρ - кажущаяся плотность частицы, $кг/м^3$;

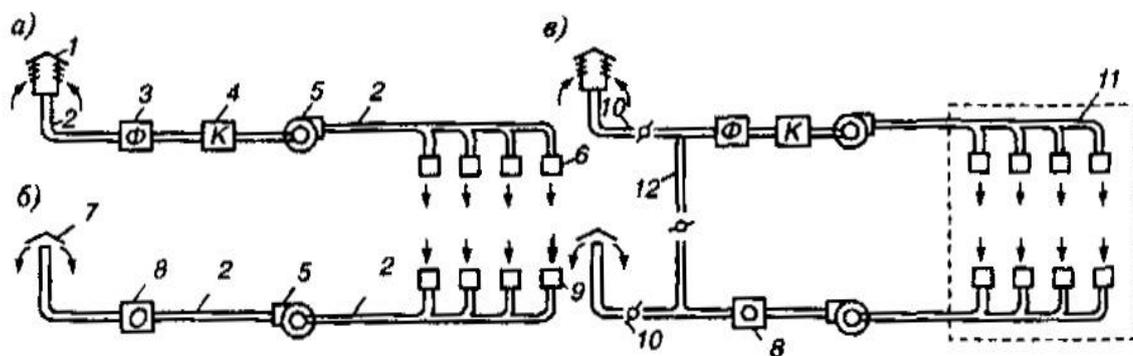


Рис. 1. Схема приточной, вытяжной и приточно-вытяжной механической вентиляции: *a* — приточная; *б* — вытяжная; *в* — приточно вытяжная; *1* — воздухоприемник для забора чистого воздуха; *2* — воздуховоды; *3* — фильтр для очистки воздуха от пыли; *4* — калориферы; *5* — вентиляторы; *6* — воздухораспределительные устройства (насадки); *7* — вытяжные трубы для выброса удаляемого воздуха в атмосферу; *8* — устройства для очистки удаляемого воздуха; *9* — воздухозаборные отверстия для удаляемого воздуха; *10* — клапаны для регулирования количества свежего вторичного рециркуляционного и выбрасываемого воздуха; *11* — помещение, обслуживаемое приточно-вытяжной вентиляцией; *12* — воздуховод для системы рециркуляции

ρ_c - плотность воздуха, кг/м^3 ;

g - ускорение свободного падения;

μ_c — динамическая вязкость воздуха.

2. Вычисление критерия $Re_{\text{вит}}$

$$R_{\text{вит}} = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{58,361}} = 2,576$$

3. Вычисление объемного расхода удаляемого запыленного воздуха

$$V = W_{\text{нр}} \cdot (F_{\text{раб}} + F_{\text{дон}}) \cdot \alpha + V_T, \quad \text{м}^3/\text{с}$$

$$\text{где } W_{\text{нр}} = 1,2W_{\text{сум}} = 1,2 \cdot 0,385 = 0,462 \text{ м/с}$$

$$V = 0,462 \cdot (1+0) \cdot 1,1 + 5 \cdot 10^{-5} = 0,508 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Вычисление диаметра воздуховода

$$d_a = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot W_a}} = \sqrt{\frac{0,508}{0,785 \cdot 5}} = 0,36 \text{ м}$$

5. Вычисление гидравлического сопротивления вентиляционной установки

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ск}} + \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.с.}} + \Delta p_{\text{ц}}$$

где $\Delta p_{\text{ск}}$ – скоростной напор, Па;

$\Delta p_{\text{тр}}$ – Потери напора на трение, Па;

$\Delta p_{\text{м.с.}}$ – потери напора на местное сопротивление, Па;

$\Delta p_{\text{ц}}$ – потери напора в циклоне, Па.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

I. Техничко-экономические обоснование проекта

II. Определить объем инвестиции

- Стоимость основных фондов
- Объем инвестиции на покупку материально-производственных запасов
- Объем инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов
- Расчет заработной платы производственных рабочих

III. Определить экономическую эффективность, годовой доход

IV. Определить срок окупаемости инвестиции

1. Техничко-экономическое обоснование проекта

- Цель, сущность и задачи проекта и его актуальность
- Экономическая эффективность проекта

2. Определить объем инвестиции

Нижеследующим таблице дано приведенные затраты на ВКР

Таблица 1

Объем инвестиции на покупку материално-производственных запасов

№	Наименование	Кол-во	Цена за единицы	НДС 20%	Общая стоимость с учетом НДС
1	Вилка, провода	5	12.000	12.000	72.000
2	Корпус	1	150.000	30.000	180.000
3	Двигатель	1	100.000	10.000	60.000
4	Термометр	2	25.000	20.000	120.000
5	Чашка	3	6500	3900	23.400
6	Хлопковый материал	4	30.000	6000	36.000
7	Чувствительные измерительные приборы	2	100.000	40.000	240.000
8	Итого				731.400

Таблица 2.

Объем инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов

№	Наименование материалов	Кол-во	Цена материала за единицы	НДС 20%	Стоимость материала с учетом НДС
1	паяльник	1	15.000	3000	18.000
2	пинцет	1	7000	1400	8400
3	отвертка	1	5000	1000	6000
4	кусачки	1	2000	400	2400
5	плоскогубцы	1	5000	1000	6000
6	Итого				40800

Таблица3.

Стоимость основных фондов

№	Наименование основных фондов	Кол-во	Стоимость ОФ
1	Лаборатория	1	1.000.000
2	инструмент		40.800
3	Итого		1040.800 сум

Амортизационные отчисления составляет 20 % от стоимости ОФ

$$A_{отч} = 0,2 \cdot ОФ / 12$$

$$A_{отч} = 0,2 \cdot 1040.800/12$$

$$A_{отч} = 17346.66 \text{ сум}$$

Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание 12% от стоимости ОФ

$$P_m = \frac{12\% \cdot \text{ОФ}}{12}$$

$$P_T = 0,12 \cdot 1040.800/12$$

$$P_T = 10408 \text{ сум}$$

Таблица 4

Расчет заработной платы производственных рабочих

№	Наименование операции	Исполнители	Продолжительность	Среднедневная ставка	Стоимость выполненных работ
1	Выбор темы на разработку	СНС	1	17000	17000
2	Изучение и анализ литератур по теме	МНС	2	9000	18000
3	Работа и конструкции эксперимента	МНС	1	9000	9000
4	Ознакомление информационной обеспечение	МНС	1	9000	9000
5	Определение актуальность работ	МНС	1	9000	9000
6	Получение омических контактов	МНС	1	9000	9000
7	Сбора измерительной схемы	МНС	1	9000	9000
8	Подготовка к основному измерению	МНС	1	9000	9000
9	Основное измерение	МНС	1	9000	9000

		СНС	1	17000	17000
10	Анализ полученных результатов	МНС	1	9000	9000
11	Провести исследование	МНС	1	9000	9000
12	Приготовит заключение по проведенному исследованию	МНС	2	9000	18000
		СНС	1	17000	17000
13	Просчитать на прочность	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
14	Экономическая часть	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
15	БЖД	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
16	Рецензирование	СНС	1	17000	17000
17	Подготовка пояснительной	МНС	1	9000	9000
	Итого		24		272000

Основная заработная плата определяется как сумма оплаты труда всех рабочих и премии в размере 40 %

$$Z_{осн} = COT * 0.4 + COT Z_{осн} = 272000 * 1,4$$

$$Z_{осн} = 38080$$

Дополнительной заработной платы производственных рабочих берется 10 % от основного З/п

$$Z_{д} = K_{д} \cdot Z_{осн}$$

$$Z_{д} = 0,1 \cdot 380800$$

$$Z_{д} = 38080$$

Фонд оплаты труда определяется как сумму основной и дополнительной заработной платы

$$ФОТ = Z_{осн} + Z_{д}$$

$$\Phi OT = 380800 + 38080$$

$$\Phi OT = 418880$$

Затраты на социальное страхование рассчитываются 25% от ФОТ

$$O_{\text{фсс}} = 25\% \cdot \Phi OT$$

$$O_{\text{фсс}} = 0,25 \cdot 418880$$

$$O_{\text{фсс}} = 104720 \text{ с\у м}$$

Транспортные расходы рассчитывается 20% от Зосн

$$P_{\text{тп}} = 0,2 \cdot Z_{\text{осн}}$$

$$P_{\text{тп}} = 0,2 \cdot 380800$$

$$P_{\text{тп}} = 76160 \text{ с\у м}$$

Расход пара на производственные нужды

$$\text{Длина} = 8 \text{ м}$$

$$\text{Ширина} = 5 \text{ м}$$

$$V = \text{длина} \cdot \text{ширина}$$

$$V = 8 \cdot 5 = 40 \text{ м}^2$$

$$V = 40 \cdot 663,05 = 26522 \text{ с\у м}$$

Расходы на электроэнергию определяются по формуле

$$W = N \cdot T \cdot S$$

N – установленная мощность, кВт

T – время работы

S – стоимость электроэнергии за кВт

$$W = 1 \cdot 144 \cdot 112,2$$

$$W = 16156,8 \text{ с\у м}$$

Объем инвестиции определяется по формуле

$$K = \text{МПЗ} + \Phi OT + A_{\text{оф}} + \sum P$$

$$K=731400+418880+17346,66+129246,8=1296873,46 \text{ сум}$$

Таблица 5

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	1799149,03
2	Затраты на производство	1383960,79
3	Производственная себестоимость	1342072,79
4	Расходы периода	41888
5	Материальные затраты	774078,8
6	Сырьё	731400
7	Электроэнергия +отопления	42678,8
8	ФОТ	418880
9	Социальное страхование	104720
10	Амортизация	17346,66
11	Прочие затраты	27047,33
12	Основная заработная плата	272000

Таблица 6.

Расчет экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Ед.изм ерения	сумма	Примечание
1	Стоимость выполненных работ	Сум	1799149,03	Таблица
2	Затраты на производство	Сум	1383960,79	Таблица
3	Инвестиции	Сум	1296873,46	Формула
4	Экономическая эффективность	Сум	415188,24	Формула
5	Срок окупаемость	Месяц	3,1	Формула
6	рентабельность	%	32	Формула

Экономическую эффективность определим по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_1 - C_2) \cdot Q] \quad C_1 = C_2 \cdot 1,3$$

C_1 и C_2 -себестоимость до и после

Q-объём производство

$$\mathcal{E} = (1799149,03 - 1383960,79) \times 1$$

$$\mathcal{E} = 415188,24 \text{ сум}$$

Рентабельность определим по формуле

$$R = \frac{\mathcal{E} \cdot 100\%}{K} \quad R = 415188,24 \times 100\% / 1296873,46$$

$$R = 32\%$$

Определяем срок окупаемости

$$T_{OK} = K / \mathcal{E}$$

\mathcal{E} – экономическая эффективность

K-капитал

$$T_{OK} = 1296873,46 / 415188,24$$

$$T_{OK} = 3,1$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегунов А.А. Теоретические основы и технические средства гигрометрии. Метрологические аспекты. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 176 с. с ил.
2. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. – 320 с., ил.
3. Аванесян Г.Р., Левшин В.П. Интегральные микросхемы ТТЛ, ТТЛШ: Справочник. – М.: Машиностроение, 1993. – 256 с.: ил.
4. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов / Коледов Л.А., Волков В.А., Докучаев Н.И. И др.; Под ред. Л.А. Коледова. - М.: Высш. шк., 1984. - 231 с., ил.
5. Конструкции и технология микросхем частного применения: Учеб. пособие к курсовому проекту / В.Г. Сергиев, Б.Н. Лысов, В.Е. Никитин, А.Д. Французов; Под ред. В.Г. Сергиева. - Челябинск: ЧПИ, 1983. Ч. I. – 78 с.
6. Сергиев В.Г., Колмакова Н.С., Смылова Р.В. Технология микроэлектронных устройств: Учебное пособие / Под ред. В. М. Березина. - Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1996. - 93 с.
7. В.Г. Сергиев и др. Конструкции и технология микросхем частного применения: Учеб. пособие к курсовому проекту / В.Г. Сергиев, Б.Н. Лысов, В.Е. Никитин, А.Д. Французов; Под ред. В.Г. Сергиева. - Челябинск: ЧПИ, 1984. Ч. II. – 82 с.
8. Ефимов И.Е., Кальман И.Г., Мартынов В.И. Надёжность твёрдых интегральных схем. Изд. 2-е, испр. М., Издательство стандартов, 1979, с. 217.
9. Едрёнкин Э.Д., Березин В.М. Расчёт надёжности электронных средств: Учебное пособие. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. - 18 с.
10. Сетевые методы планирования и управления: Методические указания к курсовому проекту для студентов приборостроительного

факультета / Составители: В.С. Зинкевич, Л.А. Баев, Н.П. Мешковой. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. - 22с.

11. Организационно-экономический раздел дипломного проекта конструкторского направления: Учеб. пособие для студентов приборостроительного факультета / Мешковой Н.П., Закиров Р.Ш., Зинкевич В.С., Попов Г.С.; Под ред. Н.П. Мешкового. - Челябинск: ЧГТУ, 1990. - 53 с.

12. Методические указания по дипломному проектированию для студентов приборостроительного факультета. (Раздел "Охрана труда") / Составитель Н.М. Мирзаева; Под ред. А.И. Сидорова. - Челябинск: ЧПИ, 1989. - 15 с.

13. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности / К.Н. Ткачук, Р.В. Сабарно, А.Г. Степанов, Е.Н. Шкляренко: Учеб. пособие. - К.: Выщашк. Головное издательство, 1988. - 240 с., ил.

14. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Подред. Б.А. Князевского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 336 с., ил.

15. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 448 с., ил.

16. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство стандартов, 1992. - 316 с.

17. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ. пособие / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов, Т.П. Новикова. -М.: Радио и связь, - 1984. - 256 с., ил.

18. Тверской П.Н. Курс метеорологии - Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962.

19. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Санкт-Петербург.: Гидрометеоздат 2000г.

20. Бройдо А.Г., Зверева С.В., Курбатова А.В., Ушаков Т.В. Задачник по общей метеорологии. Ленинград. Гидрометеиздат. 1984г.
21. Физика 10 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профильный уровни / Г.Я.Мякишев и др. – 18-е изд. – М.: Просвещение, 2009.
22. Касьянов В.А. Физика. Учебн. для общеобразоват. учеб. заведений. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2010.
23. Аксенович Л. А. Физика в средней школе: Теория. Задания. Тесты: Учеб. пособие для учреждений, обеспечивающих получение общ. сред, образования / Л. А. Аксенович, Н.Н.Ракина, К. С. Фарино; Под ред. К. С. Фарино. — Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2011. — С. 201-203.
24. *З.Шамшина Е.А., Гуреева Е.М.* Интегрированный урок “Влажность воздуха” (физик и литератор) //www.openclass.ru/io/10/shamshina// Интернет и образование Июль, Том 2009, № 10.
25. Перышкин А.В. Физика. Учебник для общеобразовательных Учреждений. Москва: Дрофа, 2009. 192 с.;
26. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
27. <http://bse.sci-lib.com>
28. www.allbest.ru
29. www.google.scholar.ru