

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных
технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
электроника
наименование кафедры

Направление подготовки

11.03.04. «Электроника и
наноэлектроника»
код и наименование

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
наименование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04.008 ПЗ

обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Автоматизированная система создания вакуума и управления им
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

[подпись] 12.06.23
подпись, дата

Д.С. Кежаев
иниц., фамилия

Руководитель доцент НимЭ
должность

[подпись] 23.06.23
подпись, дата

Ю.В. Аношкин
иниц., фамилия

ПГУ, каф. НимЭ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель [подпись] 16.06.23
должность подпись, дата

Т.Н. Рыжова
иниц., фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)
Заведующий кафедрой

[подпись] 16.06.23
подпись, дата

И.А. Пронин
инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой удовл. (протокол ГЭК от 28.06.23 № 18)

Секретарь ГЭК

[подпись] 28.06.23
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 85 страниц, 18 рисунков, 6 таблиц, 12 слайдов презентации, 6 используемых источников и 4 приложение.

Ключевые слова: вакуум, материалы электронной техники, установка, автоматизированная система, схемы, моделирование, измерения, плата, автомат Миля, датчики, управление.

Объектом разработки является автоматизированная система создания и управления вакуумом для установки термического испарения.

Целью работы является разработка и проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом для установок термического испарения.

Проведен обзор различных методов напыления материалов электронной техники в вакууме. Разработана и спроектирована схема автоматизированной системы создания и управления вакуумом. Проведено моделирование работы автоматизированной системы создания и управления вакуумом. Разработана и спроектирована схема измерения технологических параметров при создании вакуума. Проведено моделирование работы измерения технологических параметров при создании вакуума. Рассмотрены правила при эксплуатации вакуумных установок.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Термические методы получения компонентов электронной техники	6
1.1 Методы получения пленочных резисторов	6
1.2 Метод термического испарения в вакууме.....	7
1.3 Нанесение пленок методом термического испарения.....	10
1.4 Импульсное нанесение пленок	14
1.5 Получение пленок из ионизированных потоков многоатомных частиц методами ионного осаждения	18
2 Проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом.....	21
2.1 Микропроцессорное управление установками нанесения тонких пленок	21
2.2 Подготовка исходных данных для проектирования автоматизированной системой откачки установки УВН-71 ПЗ.....	27
2.3 Разработка и проектирование схемы управления процессом создания вакуума на установке УВН-71 ПЗ	29
2.4 Вывод логических выражений.....	36
2.5 Разработка автоматизированной схемы управления создания вакуума на основе автомата Миля	41
2.6 Моделирование работы автоматизированной системы создания вакуума.....	47
2.7 Разработка измерительного блока технологических параметров при создании вакуума	49

3 Охрана труда при эксплуатации установки вакуумного

напыления	56
Заключение.....	59
Список использованных источников	60
Приложение А. Задание на бакалаврскую работу	61
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ».....	66
Приложение В. Презентация.....	69
Приложение Г. Графическая часть.....	82

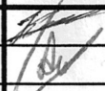
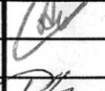
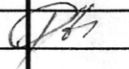
ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие электронной промышленности, а также применяемой оборудовании для создания компонентов микроэлектроники требует высокотехнологических решений необходимых, для быстрого и надежного формирования готовых изделий. Одним из возможных быстро развивающихся направлений в микроэлектронике является формирования тонких пленок из различных электротехнических материалов. Такие изделия получили широкое применение в авиации, космонавтике и оборонно-промышленном комплексе.

Для надежной работы изделий микроэлектроники и обеспечения заданных параметров необходимо обеспечивать чистую и безгазовую среду в процессе их формирования. Поэтому обеспечения высокого вакуума и контроль технологических параметров в процессе производства всегда являлось актуальным аспектом для качества формирования изделий микроэлектроники.

Целью работы является разработка и проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом для установок термического испарения. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести литературный обзор по методам термического испарения в вакууме;
- разработать и спроектировать автоматизированную систему создания и управления вакуумом;
- разработать и спроектировать измерительную систему технологических параметров;
- выполнить моделирование работы разработанных схем.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Кежаев			Введение	Лит.	Лист
Провер.		Аношкин					5
Реценз.						Группа 19ПД1	
Н. Контр.		Рыжова		16.06			
Утв.							

1 Термические методы получения компонентов электронной техники

1.1 Методы получения пленочных резисторов

Классификация вакуумных методов получения тонких пленок:

1) осаждение из молекулярного потока вещества:

а) методы термовакuumного осаждения:

1) резистивный нагрев;

1.1) прямой,

1.2) косвенный,

2) индуктивный нагрев:

2.1) нагрев пушкой,

2.2) нагрев 3-х электронной пушкой,

3) электронно-лучевой нагрев;

4) лазерный нагрев;

5) метод «вспышки»;

б) методы ионного распыления:

1) плазменные методы;

1.1) катодное распыление,

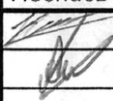
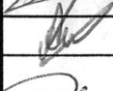
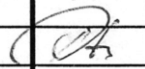
1.2) ВЧ – распыление,

1.3) магнетронное распыление,

1.4) катодное распыление со смещением,

2) ионно-плазменное распыление;

3) ионно-лучевое распылен.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Кежаев				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Аношкин					6	
Реценз.					Группа 19ПД1		
Н. Контр.	Рыжова			16.06			
Утв.							
					Термические методы получения компонентов электронной техники		

2) осаждение из ионного потока вещества:

а) импульсные методы осаждения в вакууме:

- 1) электрический взрыв,
- 2) импульсно электронно-лучевой нагрев,
- 3) импульсно-лазерный нагрев,

б) ионное осаждение из непрерывных потоков вещества:

1) термоионное осаждение:

- 1.1) плазменные методы,
- 1.2) ионно-кластерное осаждение,
- 1.3) автоэмиссионный метод,

2) вакуумно-дуговое осаждение;

3) ионно-лучевое осаждение.

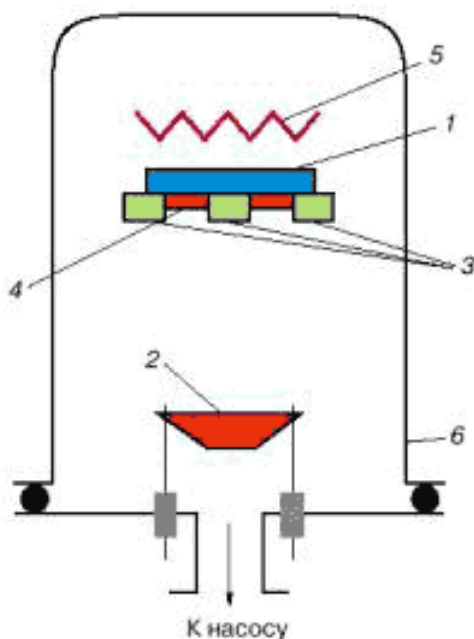
Рассмотрим некоторые методы получения резистивных пленок подробнее.

1.2 Метод термического испарения в вакууме

Этот метод предполагает испарение металла или сплава в вакууме и конденсацию паров на поверхности пластины (подложки). Качество и прочность пленки в значительной степени зависят от чистоты подложки. Поэтому поверхность подложки предварительно полируется и тщательно очищается. Во время процесса осаждения подложки часто нагревают до температуры от 100 до 3000 °С с помощью специальных нагревателей. Нагретая подложка частично снимает внутреннее напряжение пленки и улучшает адгезию к подложке. Подложки могут быть изготовлены из стекла, кварца, слюды и немагнитных металлов. В качестве подложек могут также использоваться монокристаллические твердые растворы NaCl. Простейшая схема установки, где тонкие пленки изготавливаются путем термического испарения металлов и сплавов в вакууме, показана на рисунке 1.1.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сплав или металл, подлежащий испарению на подложке 1, помещается в испаритель 2 (см. рисунок 1.1). Здесь он имеет форму лодочки из вольфрама или другого тугоплавкого металла. Через эту лодочку пропускается электрический ток, который при достижении достаточно высокой температуры расплавляет материал. Пары расплавленного металла в виде атомных пучков, распространяющихся от лодочки, достигают подложки 1 и оседают на ее поверхности (см. рисунок 1.1), образуя тонкий слой пленки.



1 – подложка; 2 – лодочка с испаряемым сплавом; 3 – маска;
4 – пленка; 5 – нагреватель; 6 – корпус вакуумной камеры

Рисунок 1.1 – Схема испарительной части вакуумной установки для получения пленок

Вся система помещается в вакуумную камеру 6, которая откачивается до достаточно высокого вакуума (см. рисунок 1.1). Этот вакуум должен быть таким, чтобы атомы металла при движении к подложке не сталкивались с молекулами остаточного газа, т.е. их траектории должны быть линейными. Это условие выполняется, если давление в камере составляет около

10^{-5} мм. рт. ст. В этом случае расстояние от испарителя до подложки достаточно мало по сравнению со средним свободным пробегом молекул газа, чтобы большинство атомов металла достигли подложки без столкновения с молекулами остаточного газа. Такой уровень вакуума может быть легко достигнут с помощью специального вакуумного оборудования. Осаждение на подложку означает, что атомы металла переходят из паровой фазы в конденсированное состояние.

Этот метод позволяет получать пленки различной толщины. Это можно контролировать, изменяя скорость и продолжительность конденсации.

На процесс образования пленки влияет несколько факторов, наиболее важным из которых является температура подложки.

В зависимости от этой температуры могут быть достигнуты различные механизмы конденсации, что существенно влияет на структурное состояние и магнитные свойства пленки. В частности, при увеличении температуры подложки от 200°C до 5000°C происходит заметное изменение проницаемости и величины внешнего магнитного поля H_s , в котором происходит насыщение ферромагнитной среды. Не анализируя каждый механизм в отдельности, рассмотрим, например, механизм парной конденсации жидких кристаллов, которая происходит, когда температура подложки превышает определенное критическое значение.

Электронная микроскопия подтверждает, что при конденсации пара сначала образуется капелька конденсированной фазы, которая на определенной стадии роста кристаллизуется, в большинстве случаев образуя сферические, разделенные частицы (зародыши). Затем, в процессе дальнейшей конденсации пара, бактерии растут и коалесцируют, образуя непрерывный слой [1].

1.3 Нанесение пленок методом термического испарения

Все вещества могут находиться в одном из трех фазовых состояний – твердом, жидком или газообразном (парообразном) – в зависимости от температуры нагрева. Испарение, т.е. переход вещества в парообразное состояние, происходит тогда, когда средняя колебательная энергия его частиц при повышении температуры становится больше энергии связи других частиц, покидающих поверхность (испарение) и диффундирующих в свободное пространство.

Условно и практически установленная температура испарения – это температура, при которой давление насыщенного пара вещества достигает примерно 1,3 Па.

Температуры плавления и испарения для наиболее важных элементов приведены в таблице 1.1. Из этой таблицы видно, что условная температура испарения большинства элементов выше температуры их плавления, т.е. они испаряются из жидкого состояния. Некоторые вещества также имеют условную температуру испарения ниже температуры плавления, т.е. они испаряются из твердого состояния достаточно бурно. Процесс, при котором вещество минует жидкую фазу и переходит из твердого состояния в парообразное, называется сублимацией (или возгонкой). Скорость испарения, т.е. количество вещества (в граммах), покидающего свободную поверхность площадью 1 см² в секунду при температуре условия T_y , рассчитывается по следующей формуле

$$v_n = 6 \cdot 10^{-4} \sqrt{M/T_y}, \quad (1.1)$$

где M – молекулярная масса, г/моль.

Скорость испарения большинства элементов при температуре T_y составляет 10⁻⁵ г/(см² · с). Для получения приемлемой скорости роста пленки и экономичного использования материалов (которые часто являются

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дорогостоящими), необходимо создать условия, при которых испаряемые частицы материала движутся в основном в сторону подложки. Для этого требуется достаточно глубокий вакуум, чтобы предотвратить столкновения между молекулами остаточного газа и вещества и рассеивание потока на пути к подложке.

По этой формуле можно определить, например, какова скорость испарения алюминия, имеющего $M = 27$ и $T = 1423$ °C:

$$v_n = 6 \cdot 10^{-4} \sqrt{27/1423} \approx 9 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} \right), \quad (1.2)$$

Таблица 1.1 – Температуры плавления и испарения элементов

Элемент	Атомная масса	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$T_y, ^\circ\text{C}$	Рекомендуемые материалы испарителя	
				провода, ленты	Тигля
1	2	3	4	5	6
Ag	107,9	961	1047	Mo, Ta	Mo, C
Al	27	660	1150	W	C, BN
Au	197	1063	1465	W, Mo	Mo, C
Cr*	52	1800	1205	W, Ta	—
Cu	63,2	1083	1273	W, Mo, Ta	Mo, C, Al_2O_3
Ge	72,6	959	1251	W, Mo, Ta	W, C, Al_2O_3
Mg*	24,3	651	443	W, Mo, Ta, Ni	FeC
Mn	54,9	1244	980	W, Mo, Ta	Al_2O_3
Mo**	95,9	2622	2533	—	—
Ni	58,7	1455	1510	W	Al_2O_3 , ZrO_2
Pt	195	1774	2090	W	ZrO_2
Si	28	1415	1342	—	BeO , ZrO_2
Ta**	181	2996	3070	—	—
Ti*	47,9	1725	1546	W, Ta	—
W**	183,9	3382	3309	—	—

* Испаряется из твердого состояния (сублимируется),

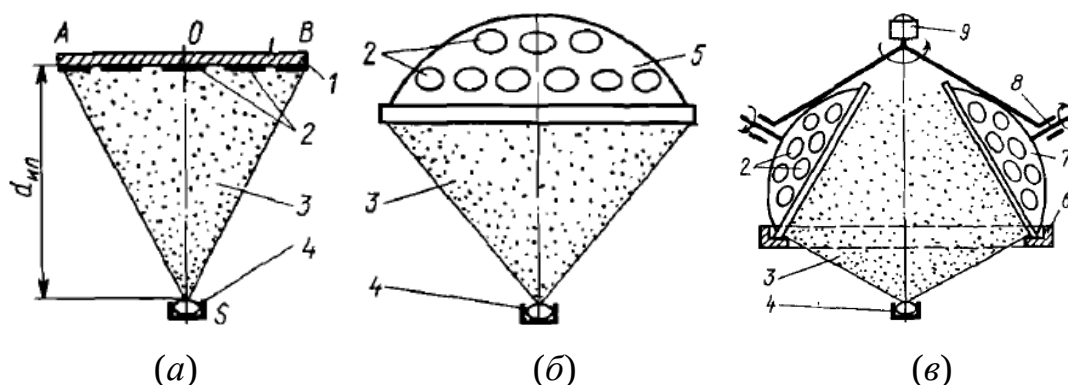
** Рекомендуется испарение электронно-лучевым нагревом или распыление ионной бомбардировкой.

Поток испаренного вещества называется молекулярным потоком, поскольку молекулы (атомы) не сталкиваются и не рассеиваются по пути и, следовательно, движутся прямолинейно. Чтобы определить условия существования молекулярного потока, удобно характеризовать степень вакуума средней длиной свободного пробега его молекул, а не давлением остаточного газа.

Уравнение (1.1) показывает, что уже при давлении $p = 10^{-2}$ Па средняя длина свободного пробега молекул составляет 50 см, что превышает реальное расстояние от испарителя до подложки (обычно менее 30 см). Поэтому для линейной траектории движения молекул вещества в пространстве между испарителем и подложкой необходимо давление порядка от 10^{-3} до 10^{-5} Па.

Кроме того, распределение толщины пленки, ключевого параметра подложки, должно быть равномерным. Толщина пленки в данной точке подложки определяется количеством частиц, поступающих в единицу времени. Если поток поступающих частиц равномерен по всей поверхности подложки, толщина пленки будет одинаковой. Однако площадь испарителя материала во много раз меньше площади держателя подложки (отсюда термин «точечный источник»). В результате невозможно добиться равномерного потока. Как показано на рисунке 1.2а, скорость осаждения неодинакова в точке O , точке A и точке B . Чем дальше эти точки находятся от оси OS , тем ниже скорость осаждения и тем меньше толщина пленки после определенного времени осаждения. На держателе с плоской подложкой неравномерность толщины пленки составляет $\pm 20\%$.

Самый простой способ уменьшить неравномерность толщины пленки - увеличить расстояние $d_{ин}$. Однако это снижает скорость конденсации пленки и оказывает негативное влияние на свойства. Максимально возможное расстояние наклона ограничено размерами камеры.



1, 5, 7 – плоский, сферический и планетарный подложкодержатели,
 2 – подложки, 3 – потокосаждаемых частиц, 4 – точечный источник
 потока осаждаемых частиц, 6 – кольцо, 8 – ось подложкодержателя,
 9 – приводная вращающаяся ось
а – плоский подложкодержатель; *б* – сферический подложкодержатель;
в – вращающий подложкодержатель

Рисунок 1.2 – Схемы осаждения пленок из точечного источника

Неравномерность толщины пленки ограничивается $\pm 10\%$. Если этого все же недостаточно, используется система двойного вращения, так называемая планетарная карусель (рисунок 1.2*в*). Эта система состоит из трех держателей подложек 7 на вращающемся приводном валу 9. Каждый подложкодержатель может вращаться вокруг своей оси 8, одновременно обкатываясь вокруг кольца 6. Таким образом, реализуется планетарное движение подложки. Планетарные карусели очень дороги, но благодаря их использованию неравномерность толщины пленки может быть снижена на $\pm (3-4) \%$.

Для проверки неравномерности толщины пленки измеряют толщину пленки d_n с помощью микроскопа МП 4 в пяти местах в центре пластины и на краю, где диаметры ортогональны друг другу. Из полученных значений толщины пленки выбирают максимальное значение $d_{n_{max}}$ и минимальное значение $d_{n_{min}}$ и рассчитывают неравномерность (отклонение толщины пленки

от среднего значения) (%) по формуле.

$$B = \pm \frac{d_{\text{п_max}} - d_{\text{п_min}}}{2 \cdot (d_{\text{п_max}} - d_{\text{п_min}})} \cdot 100\% . \quad (1.3)$$

Рассмотрим пример расчета неравномерности толщины пленки. Получены замеры в пяти точках (нм): 1260, 1255, 1290, 1280, 1265. Из этого ряда выберем $d_{\text{п_max}} = 1290$ нм и $d_{\text{п_min}} = 1255$ нм и вычислим неравномерность по формуле (1.3):

$$B = \pm \frac{1290 - 1255}{2 \cdot (1290 - 1255)} \cdot 100\% = \pm 2,7\% . \quad (1.4)$$

Процесс испарения и качество пленки покрытия в значительной степени определяются типом и конструкцией испарителя с резистивным или электронно-лучевым нагревом. Выбор типа испарителя зависит от типа испаряемого материала, его агломерационного состояния, температуры при испарении и других факторов [2].

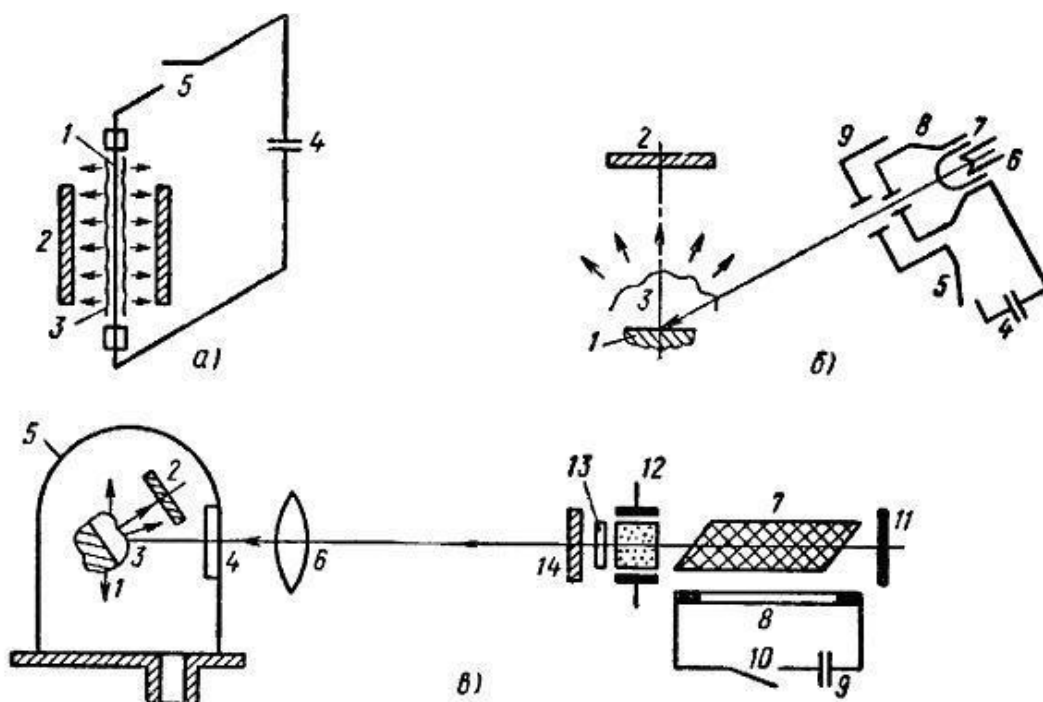
1.4 Импульсное нанесение пленок

Осаждение методом термического испарения в вакууме состоит из трех взаимосвязанных процессов: испарение образца конденсированного материала (мишени), перенос паров от мишени к конденсированной поверхности (подложке), зарождение конденсированной фазы на подложке и рост пленки за счет обмена энергией с подложкой [3].

Импульсное осаждение устраняет температурный предел при испарении, увеличивает мгновенную скорость осаждения на несколько порядков (до 10^{-1} м/с и более) и характеризуется нестационарностью процесса [3].

Электрический взрыв проводников происходит в тонких образцах конденсированного материала при интенсивном выделении джоулева тепла. Проводники (проволоки, фольги, пленки, осажденные на диэлектрические подложки) распыляются при высоковольтных разрядах конденсаторной батареи с низкой индукцией (большой силой тока) (рисунок 1.3а). Диаметр проволоки или толщина плоского образца составляет от 0,01 до 0,1 мм, а интенсивность источника тепла достигает от 10^5 до 10^7 МВт/г [3].

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



1 – взрываемый образец, 2 – подложка, 3 – поток продуктов взрыва,
4 – конденсаторная батарея, 5 – управляемый разрядник

а) – электрический взрыв;

1 – мишень, 2 – подложка, 3 – поток пара, 4 – конденсатор или
специальный генератор импульсного тока, 5 – управляемый разрядник,
6 – накал катода электронной пушки, 7 – катод, 8 – фокусирующий
электрод, 9 – анод,

б) – испарение мощным сходящимся электронным лучом;

1 – мишень, 2 – подложка, 3 – поток пара, 4 – прозрачное окно,
5 – вакуумная камера, 6 – фокусирующая линза, 7 – активное вещество,
8 – лампа накачки, 9 – конденсатор, 10 – управляемый разрядник,
11 – непрозрачное зеркало, 12 – ячейка Керра, 13 – поляризатор,
14 – полупрозрачное зеркало

в) – лазерное испарение

Рисунок 1.3 – Различные способы импульсного нанесения пленок

Взрывы можно разделить на медленную абляцию, быструю абляцию и взрывную абляцию, в зависимости от соотношения между временем испарения проволоки τ_e и постоянными времени τ_s и τ_h . (τ_s - константа неустойчивости, т.е. неустойчивость, например, характерное время, необходимое для удвоения волнистости проволоки, а τ_h - электротермическая постоянная времени, т.е. время, необходимое для того, чтобы температура, равная температуре кипения, проникла на глубину порядка радиуса проволоки).

Для медленных взрывов, $\tau_e \gg \tau_s$, физическое искажение проволоки оказывает значительное влияние на характерное время ее прохождения. Быстрый взрыв соответствует $\tau_e \ll \tau_s$. Взрывная абляция относится к ситуации, когда распространение взрыва контролируется эпидермальными эффектами и испарение происходит только в тонком поверхностном слое, а центр не нагревается [3].

При быстром вакуумном взрыве за время от 10^{-8} до 10^{-7} с взорванный образец превращается в пар с плотностью, близкой к плотности твердого тела, и температурой от $1 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ К (энергия 10^{-35} эВ).

Основными особенностями электроиспарительных пленок являются очень высокая скорость роста пленки (от 10^7 до 10^8 нм/с) и высокая энергия конденсированной плазмы (эквивалентная температура $T \approx 10^5 - 10^6$ К). Скорость потока плазмы составляет около 10^5 см/с, а плотность потока - около 10^{23} см $^{-2}$ ·с $^{-1}$. Такая высокая интенсивность пара характеризуется также тем, что на 10^8 атомов пара приходится только одна молекула остаточного газа (давление около $133 \cdot 10^{-5}$ Па), попадающего на подложку, расположенную на расстоянии $L = 7$ см от взорванного образца. Это позволяет получать чрезвычайно чистые пленки методом электролитического испарения.

Из-за высокой энергии конденсированных частиц поверхность подложки и сам конденсат сильно нагреваются во время роста пленки. Существует три типа кристаллизации. Первый - при температуре выше

температуры подложки и ниже температуры плавления, при температуре плавления и при интенсивном повторном испарении [3].

1.5 Получение пленок из ионизированных потоков многоатомных частиц методами ионного осаждения

Метод ионно-кластерного осаждения использует явление образования кластеров (агрегатов из многих атомов), когда пар со сверхзвуковой скоростью вытекает из квазизамкнутого тигля через одно или несколько отверстий малого диаметра (сопла) в вакуум. Если температура пара в тигле равна T_T , то температура после выхода из сопла снижается до T_B в результате адиабатического расширения, которое можно определить по формуле:

$$\frac{T_B}{T_T} = \left(\frac{P_B}{P_T} \right)^{\frac{(\nu-1)}{\nu}}, \quad (1.5)$$

где P_T и P_B – давление пара в тигле и в вакуумной камере вблизи сопла;

ν – отношение удельной теплоемкости пара при постоянном давлении C_p к его удельной теплоемкости при постоянном объеме C_v :

$$\nu = \frac{C_p}{C_v} = 1 + \frac{2}{n_c}, \quad (1.6)$$

где n_c – число степеней свободы молекулы пара.

Образование кластеров происходит наиболее эффективно, когда $P_T / P_B > 10^4$, что обеспечивается выбором температуры тигля и диаметра отверстия сопла. Этот диаметр обычно не превышает 1-30 % от внутреннего диаметра тигля и составляет 0,1-1,0 мм. Число атомов в кластере N_a = от 10^2 до 10^3 . Энергия кластера:

$$W = k \cdot T_T \cdot N_a, \quad (1.7)$$

где k – постоянная Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К.

Для увеличения энергии кластеров их ионизируют и ускоряют в электрическом поле. Ионизация пучка кластеров происходит при столкновении электронов. Сечение ионизации кластера является функцией размера, и для энергий электронов от 50 до 500 эВ степень ионизации пучка кластеров в первом приближении равна геометрическому сечению кластера.

Ионно-кластерный процесс позволяет получать пленки от простых до сложных составов, включая металлы, полупроводники и диэлектрики. В качестве рабочих материалов в этом процессе используются материалы, склонные к сублимации (например, серебро, золото, медь, свинец, кремний). При ионно-кластерном осаждении возможно легирование материалов мембраны в процессе осаждения. Метод является высокоэффективным и позволяет регулировать скорость осаждения в широком диапазоне (от сотых долей минуты до десятков микрометров в минуту), даже если материалы испаряются из тигля с одним соплом.

Конденсация кластеров на подложке может сопровождаться частичным или полным распадом на составляющие атомы, которые могут перемещаться по поверхности подложки. Большие средние пути миграции атомов (от 10 до 50 мкм) способствуют зарождению, росту островков и их коалесценции, что приводит к получению поли- и монокристаллических пленок при более низкой температуре подложки, чем в термовакуумном методе.

Атомный перенос снижает удельное сопротивление металлической пленки и уменьшает внутренние напряжения. Плотность материала пленки увеличивается с ростом энергии кластера, что объясняется непрерывным удалением ионной бомбардировкой слабосвязанных атомов обрабатываемого материала на поверхности подложки и усилением движения конденсированных частиц вдоль подложки. С увеличением энергии ионных частиц увеличивается количество ионов, вводимых в подложку, и травление

ее поверхности становится более интенсивным, что повышает адгезию пленки к подложке [1].

Рассмотрены наиболее распространенные термические методы получения компонентов электронной техники. Для всех рассмотренных методов необходимо обеспечить высокий уровень вакуума для исключения различных загрязнений при формировании электронных компонентов и обеспечить надежность работы электронных приборов и микросхем. Из вышесказанного следует, что автоматизированная система создания и управления вакуумом должна обеспечить надежную работу термических установок в процессе создания компонентов электронной техники.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом

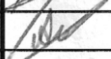
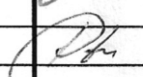
2.1 Микропроцессорное управление установками нанесения тонких пленок

Установки нанесения тонких пленок, состоят из различных агрегатов и функциональных устройств и поэтому являются сложными объектами управления. Кроме того, технологические операции нанесения тонких пленок на этих установках характеризуются прецизионностью, что предопределяет исключение любых неконтролируемых побочных явлений, которые могут возникнуть в процессе обработки. Известно, что при ручном управлении установками подавляющая доля потерь в условиях производства появляется из-за ошибок оператора.

В настоящее время автоматизация управления новыми установками, основанная на микропроцессорной технике, исключает утомительный монотонный труд и соответственно ошибочные несанкционированные действия оператора.

Микропроцессорные системы управления (МПСУ) установками нанесения тонких пленок обеспечивают:

– поддержание необходимых технологических режимов, непосредственно влияющих на электрофизические параметры пленок и способствующих повышению их качества (скорости осаждения, воспроизводимости толщины и свойств пленок; предварительной очистки подложек; подачи газов; стабилизации рабочего давления и состава вакуумной среды);

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.	Кежаев								
Провер.	Аношкин						21		
Реценз.						Группа 19ПД1			
Н. Контр.	Рыжова			16.06					
Утв.									

- подложек, обезгаживания внутривакуумных стенок камеры, охлаждения, откачки, энергоснабжения);
- выполнение вспомогательных функций (загрузки, шлюзования и межоперационного транспортирования подложек);
- защиты обслуживающего персонала и оборудования;
- диагностики состояния установок.

Возможность выполнения этих задач определяется структурой систем управления, а также технических (аппаратных) средств их реализации и связями между ними. Схема технических средств МПСУ включает:

- микропроцессорные устройства управления (программируемые логические и регулирующие контроллеры, контроллеры смешанного типа, микроконтроллеры), а также аналоговые регуляторы и «жесткие» логические контроллеры;
- датчики параметров функциональных устройств и обрабатываемых изделий с нормирующими преобразователями сигналов, вводимых в устройства микропроцессорного управления;
- преобразователи и усилители мощности для передачи управляющих воздействий от устройства управления на исполнительные механизмы;
- устройства ввода и отображения информации, соответственно обеспечивающие задание программы управления и параметров технологического процесса, а также его контроль и состояние отдельных устройств оборудования.

Различают два вида построения систем управления: централизованные и децентрализованные (распределенные).

В системах централизованного управления информация обрабатывается микроЭВМ. При этом технические средства системы управления располагаются в блоке управления, а датчики и исполнительные элементы –

на установке (объекте управления). При поступлении сигналов с датчиков блок управления в соответствии с программой формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы. Достоинство централизованных систем – возможность управления различными установками с помощью ограниченного комплекта аппаратных средств, а основной недостаток – сложность конструкционной схемы управления.

В распределенных системах каждый агрегат установки управляется отдельным контроллером, который полностью или частично расчленяет функции управления технологическим процессом. Связь между контроллерами, а также управление установкой осуществляются блоком управления.

Достоинство этой системы состоит в том, что контроллеры и блок управления по конструкции проще, чем используемые в централизованной системе.

Современный этап развития централизованных и децентрализованных систем управления оборудованием характеризуется широкой номенклатурой применяемых аппаратных средств.

При микропроцессорном управлении оборудованием оператор использует только устройство ввода-вывода информации: мнемосхемы и клавиатуру с дисплеем.

Мнемосхемы являются простейшими устройствами отображения информации, обычно располагаются на передней панели установок и на них с помощью ламп накаливания или светодиодов отображается состояние функциональных устройств и механизмов.

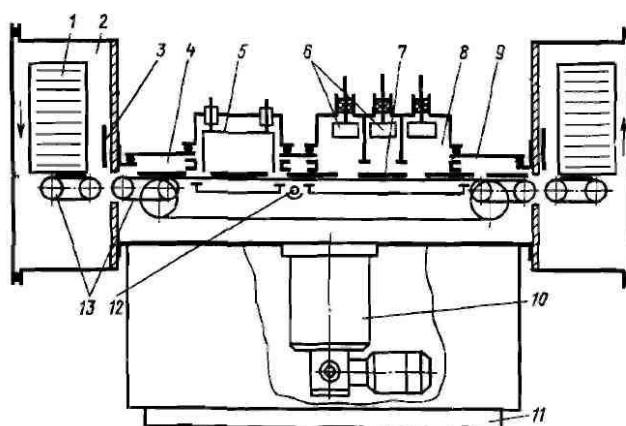
Клавиатура служит для ввода и вывода необходимой информации с отображением на дисплее.

Символьные (алфавитно-цифровые) дисплеи обеспечивают широкие возможности отображения, как текущих данных, так и результатов воздействия оператора на протекающие технологические процессы.

В последние годы получают распространение более совершенные графические цветные дисплеи, на экране которых отображаются мнемосхемы оборудования, а также выделяются цветом технологические параметры, значения которых вышли за допустимые пределы.

Микропроцессорным устройством, широко применяемым в технологическом оборудовании для производства изделий микроэлектроники и предназначенным для выполнения различных функций управления, является серийно выпускаемый блок централизованного управления БУ-3 «Орион-3». Этот блок выпускается нескольких модификаций, в основном отличающихся возможностью обработки различного количества дискретных и аналоговых сигналов.

Рассмотрим в качестве примера систему управления установки непрерывного действия УВНМЭ-100/125-003 (рисунок 2.1), которая состоит из микропроцессорного блока управления «Орион-3», контроллера «жесткой» логики «Логикон» и релейных блоков управления.



- 1 – кассета, 2 – входной шлюз, 3 – затвор, 4 – рабочая камера,
 5 – ВЧ-источник, 6 – магнетрон, 7 – подложка, 8 – камера, нанесения
 пленки, 9 – крышка, 10 – криогенный насос, 11 – каркас,
 12 – нагреватель, 13 – конвейер

Рисунок 2.1 – Установка непрерывного действия

Управляет нагревателем подложек блок «Орион-3», позволяющий запрограммировать и стабилизировать ток нагревателя. Для защиты элементов конструкции рабочей камеры от перегрева при отсутствии охлаждающей воды на вход блока «Орион-3» поступает сигнал с датчика наличия воды и срабатывает блокировка. Значение тока и возникновение неисправности устройства нагрева отображаются на экране дисплея.

Управляет мощностью магнетронов и регулирует ее по показаниям датчиков тока и напряжения блок «Орион-3».

Стабилизация давления аргона, напускаемого в рабочую камеру нанесения пленок, производится блоком «Орион-3».

Ресурс использования мишени магнетрона определяется по суммарной энергии, выделяемой на катоде в процессе нанесения пленки и подсчитываемой блоком «Орион-3». Оставшийся ресурс использования мишени магнетрона отображается в процентах на экране дисплея.

Контроль за состоянием пневматической системы, обеспечивающей подачу сжатого воздуха на пневмоприводы клапанов вакуумной системы, осуществляется по сигналу датчика давления блоком «Орион-3».

Управляют шлюзами загрузки—выгрузки релейные блоки управления и контроллер «Логикон», а для диагностики работы шлюзов и выдачи команды на загрузку рабочей камеры по показаниям датчиков служит блок «Орион-3». Счет количества загруженных подложек производится блоком «Орион-3» по сигналам, поступающим с датчика нахождения подложек в приемной части конвейера.

Для управления перегрузочными пассиками в шлюзовой камере служит контроллер «Логикон». Если за 100 с подложка не загрузилась на конвейер, блок «Орион-3» формирует и высвечивает на экране дисплея сообщения об аварии. После поступления подложки в выходную кассету срабатывает датчик ее наличие и кассета перемещается на шаг вверх для ожидания прихода очередной подложки. После этого блок «Орион-3» начинает считать время до

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

прихода очередной подложки и сравнивает его с расчетным. Если за это время очередная подложка не появится, блок «Орион-3» воспринимает это как окончание обработки партии подложек.

Приводом конвейера также управляет блок «Орион-3», обеспечивая задание необходимой скорости перемещения и ее стабилизацию. При этом на экране дисплея отображается значение заданной скорости.

Управляют вакуумной системой, обеспечивая необходимые блокировки, контроллер «Логикой» и релейный блок. Результаты контроля давления в разных частях установки отображаются на экране дисплея.

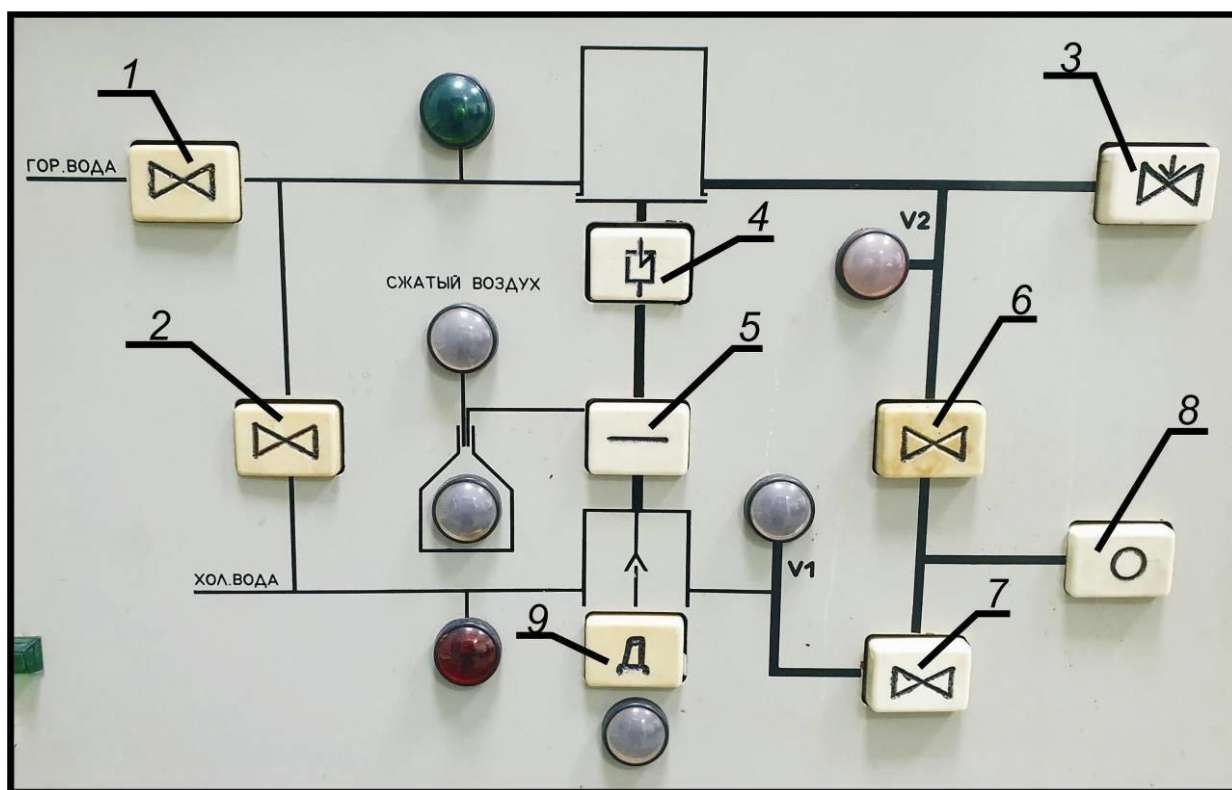
В режиме программирования работы установки оператор с клавиатуры может задать следующие параметры:

– шаг цепи конвейера, мм	75-125;
– скорость конвейера, мм/мин	120-240;
– ток нагревателя, А	2-4;
– давление аргона в рабочей камере	$1,3 \cdot 10^{-1}$ -1,3;
– мощность магнетрона, кВт	0-6;
– ресурс работы мишени, %	100-10.

Управляющей программой предусматривается проведение диагностики работы агрегатов и устройств установки. При этом на экран дисплея (в его нижней части) могут выводиться, например, следующие диагностические сообщения: «Нет сжатого воздуха», «Затвор закрыт»; «Крионасос откачан», «Кассета загрузки пуста», «Плохой вакуум в камере», «Не открыт шлюз загрузки», «Не открыт шлюз выгрузки», «Высоковакуумная откачка камеры» и др.

2.2 Подготовка исходных данных для проектирования автоматизированной системой откачки установки УВН-71 ПЗ

Панель управления установкой, с помощью которой управляет оператор процессом создания вакуума, представлена на рисунке 2.1. Оператор при выполнении своей работы выполняет определенный алгоритм действий, по созданию вакуума руководствуясь показаниями различных приборов. В частности, оператор контролирует уровень вакуума в колпаке и диффузионном насосе с помощью датчиков на основе вакуумных ламп.



1 – клапан подачи горячей воды в колпак; 2 – клапан подачи холодной воды в диффузионный насос/колпак; 3 – клапан напуска воздуха; 4 – клапан откачки воздуха из камеры; 5 – вкл./выкл. азотной ловушки; 6 – клапан откачки воздуха из колпака форвакуумным насосом; 7 – клапан откачки воздуха из диффузионного насоса форвакуумным насосом; 8 - вкл./выкл. форвакуумного насоса; 9 - вкл./выкл. диффузионного насоса

Рисунок 2.2 – Панель управления создания вакуума установки УВН 71 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Следовательно, исходя из вышесказанного, необходимо определить входные и выходные сигналы, которые будут управлять процессом создания вакуума в автоматическом режиме. Обозначим входные сигналы через X , а выходные сигналы – Q . В таблице 2.1 представлены входные и выходные сигналы с соответствующим описанием.

Таблица 2.1 – Входные и выходные сигналы для автоматического управления процессом создания вакуума

Сигналы	Описание сигналов	Поз. на рисунке 2.1
1	2	3
Входные сигналы		
X1	сигнал на пуск процесса, (вкл - 1 / выкл - 0)	—
X2	датчик температуры диффузионного насоса больше установленного, (°C)	—
X3	датчик низкого вакуума камеры больше установленного, (мм рт ст)	—
X4	датчик высокого вакуума камеры больше установленного, (мм рт ст)	—
X5	датчик высокого вакуума диффузионного насоса больше установленного, (мм рт ст)	—
X6	установка начального состояния, (вкл - 1 / выкл - 0)	—
Выходные сигналы		
Q1	клапан горячей воды камеры (вкл - 1 / выкл - 0)	1
Q2	клапан холодной воды камеры (вкл - 1 / выкл - 0)	2
Q3	клапан напуска воздух в камеру (вкл - 1 / выкл - 0)	3
Q4	клапан высоковакуумного затвора (вкл - 1 / выкл - 0)	4
Q5	азотная ловушка (вкл - 1 / выкл - 0)	5
Q6	клапан камера - форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	6
Q7	клапан диффузионный насос - форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	7
Q8	форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	8
Q9	нагрев диффузионного насоса (вкл - 1 / выкл - 0)	9

Для управления входными сигналами X необходимо предусмотреть схему измерения параметров в процессе создания вакуума. В качестве датчиков вакуума необходимо применять ионизационные датчики, которые позволяют измерять вакуум в диапазоне от 5×10^{-10} до 5×10^{-2} мм. рт. ст. Также автоматизированная система создания вакуума должна иметь возможность переключения с автоматического режима на ручной и обратно.

В приложение Г представлена структурная схема системы управления вакуумом при напылении материалов электронной техники.

2.3 Разработка и проектирование схемы управления процессом создания вакуума на установке УВН-71 ПЗ

Цифровые автоматы – это логические устройства, в которых помимо логических элементов имеются элементы памяти. Значение выходных сигналов такого устройства зависит не только от аргументов на входе в данный момент времени, но и от предыдущего состояния автомата, которое фиксируется элементами памяти. В качестве элементов памяти могут использоваться триггеры. Каждое внутреннее состояние цифрового автомата определяется исходным состоянием триггеров и последовательностью входных сигналов, действующих на входе в данный момент времени, поэтому такие устройства называются последовательностными схемами. К последовательностным схемам можно отнести: триггеры, счетчики, регистры.

При условии если на вход комбинационной схемы управления триггерами поступают комбинации входных сигналов $X_1, X_2, \dots, X_n$, отражающих состояние элементов памяти $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$. С учетом этих множеств, комбинационная схема формирует серии сигналов, управляющих состоянием триггеров. Кодовые комбинации состояния триггеров образуют внутренние состояния цифрового автомата, которые принято обозначать буквой a . Комбинационная схема формирования

выходных сигналов создают сигналы $Q_1, Q_2, \dots Q_n$, которые могут использоваться для управления некоторыми узлами, для активизации процессов в других схемах. Эти сигналы могут зависеть только от внутренних состояний: в этом случае устройство принято называть автоматом Мура, а если выходные сигналы зависят и от входных сигналов $X_1, X_2, \dots X_n$, то – автоматом Мили.

Проектирование автоматизированной системы создания вакуума будет основана на цифровом автомате Мили, который обеспечивает заданные выходные сигналы, как от входных сигналов (X), так и от внутреннего состояния автомата (a).

Рассмотрим процесс создания вакуума оператором установки УВН-71 ПЗ. Для получения пленок методом термического испарения в вакууме на установке УВН-71 ПЗ выполняются следующие действия:

- 1) подготовка подколпачного пространства. Очистка внутренних поверхностей колпака и используемого внутреннего оборудования. Выбор и установка необходимого испарителя для данного технологического процесса, размещение подложек на подложкодержателе с соответствующими масками для создания микроэлектронных приборов, опускание и герметизация колпака;
- 2) создание необходимого вакуума в соответствии с технологическими картами по контрольным приборам (датчикам вакуума);
- 3) включение и контроль нагрева подложек и испарителя для формирования микроэлектронных изделий, с последующим напылением исходного материала;
- 4) охлаждения подколпачного пространства, с последующей разгерметизацией;
- 5) извлечение подложек с пленкой для последующей передачи их на следующую технологическую операцию.

Таким образом, исходя из вышесказанного можно, сделать вывод, что на

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

процесс создания вакуума затрачивается наибольшее время. Поэтому рассмотрим этот этап более подробно.

Оператор установки УВН-71 ПЗ подает питание электрической сети, включает горячую и холодную воду, включает компрессор сжатым воздухом для азотной ловушки и устанавливает требуемые значения входных сигналов $X1 \dots X6$, значения которых будут рассмотрены ниже в следующих подразделах данной пояснительной записки, после чего приступает к процессу откачки воздуха из-под колпака, начальное состояние a_0 выходных сигналов в двоичной системе будет иметь вид:

$$\overline{Q1} \quad \overline{Q2} \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad \overline{Q5} \quad \overline{Q6} \quad \overline{Q7} \quad \overline{Q8} \quad \overline{Q9}. \quad (2.1)$$

В первую очередь открывает клапан подачи горячей воды (поз. 1 рисунок 2.2) на колпак, это необходимо для процесса дегазации, т.е. удаление загрязнения со стенок колпака.

На следующем этапе оператор установки включает форвакуумный насос (поз. 8 рисунок 2.2) и открывает клапан между колпаком и форвакуумным насосом (поз. 6 рисунок 2.2), а также включает азотную ловушку (поз. 5 рисунок 2.2), в двоичной системе выходные сигналы будут соответствовать состоянию a_1 и коду:

$$Q1 \quad \overline{Q2} \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad Q5 \quad Q6 \quad \overline{Q7} \quad Q8 \quad \overline{Q9}. \quad (2.2)$$

На этом этапе идет откачка воздуха из-под колпака до заданного значения низкого вакуума, который контролируется датчиком низкого вакуума и управляет сигналом $X3$. После того как значение низкого вакуума достигнет значения больше установленного оператором, на входной сигнал подается команда для перехода к следующему этапу.

Следующий этап автоматизированной системы включает нагрев диффузионного насоса и идет продолжение откачки вакуума. На этом этапе система будет находиться в состоянии a_2 , в двоичном коде выходные сигналы будут иметь вид:

$$Q1 \quad \overline{Q2} \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad Q5 \quad Q6 \quad \overline{Q7} \quad Q8 \quad Q9. \quad (2.3)$$

Здесь процесс создания вакуума продолжается с параллельным нагревом диффузионного насоса до заданной температуры, управление осуществляется входным сигналом $X2$. При достижении температуры нагрева масла диффузионного насоса больше заданного значения система управления переходит в состояние a_3 . Этому состоянию выходные сигналы соответствуют коду:

$$\overline{Q1} \quad Q2 \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad Q5 \quad \overline{Q6} \quad Q7 \quad Q8 \quad Q9. \quad (2.4)$$

На данном этапе клапан между колпаком и форвакуумным насосом закрывается (поз. 6 рисунок 2.2), клапан между диффузионным насосом и форвакуумным насосом открывается (поз. 7 рисунок 2.2) и происходит процесс откачки воздуха из диффузионного насоса. При этом клапан горячей воды закрывается (поз. 1 рисунок 2.2), а клапан холодной воды подается на колпак (поз. 2 рисунок 2.2), для его охлаждения. Откачка из диффузионного насоса контролируется по уровню создания высокого вакуума и управляется входным сигналом $X5$. По достижению уровня высокого вакуума в диффузионном насосе, автоматизированная система переходит в следующее состояние.

Состояние системы a_4 закрывает клапан между диффузионным и форвакуумным насосами (поз. 7 рисунок 2.2) и открывает клапан между колпаком и форвакуумным насосом (поз. 6 рисунок 2.2). В данном состоянии ведется контроль высокого вакуума в колпаке и диффузионном насосе. Контроль осуществляет входной сигнал $X4$, этому состоянию соответствует код выходных сигналов:

$$\overline{Q1} \quad Q2 \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad Q5 \quad Q6 \quad \overline{Q7} \quad Q8 \quad Q9. \quad (2.5)$$

При достижении высокого вакуума в колпаке и диффузионном насосе входной сигнал $X4$ переводит систему в новое состояние a_5 .

Состояние автоматизированной системы a_5 закрывает клапан между

колпаком и форвакуумным насосом (поз. 6 рисунок 2.2) и открывает клапан между диффузионным и форвакуумным насосом (поз. 7 рисунок 2.2). Выходные сигналы:

$$\overline{Q1} \quad Q2 \quad \overline{Q3} \quad \overline{Q4} \quad Q5 \quad \overline{Q6} \quad Q7 \quad Q8 \quad Q9. \quad (2.6)$$

Т.к. уровень вакуума в колпаке и диффузионным насосом примерно равны, то система переходит в состояние a_6 и при этом открывается высоковакуумный затвор и осуществляется процесс создания вакуума в соответствии с технологическими картами по производству микроскопических изделий. По достижению заданного вакуума подается сигнал на разрешения проведения дальнейшего нагрева подложки и испарителя с последующим напылением. Двоичный код выходных сигналов для данного состояния имеет следующий вид:

$$\overline{Q1} \quad Q2 \quad \overline{Q3} \quad Q4 \quad Q5 \quad \overline{Q6} \quad Q7 \quad Q8 \quad Q9. \quad (2.7)$$

После напыления материала на подложку приходит команда о завершении напыления, это контролируется входным сигналом $X1$ и система переходит в состояние a_7 . Высоковакуумный клапан закрывается (поз. 4 рисунок 2.2) и нагрев диффузионного насоса отключается (поз. 9 рисунок 2.2). При достижении температуры диффузионного насоса меньше установленного значения открывается клапан напуска воздуха в колпак (поз. 3 рисунок 2.2), а остальные системы выключаются, что соответствует коду выходных сигналов:

$$\overline{Q1} \quad \overline{Q2} \quad Q3 \quad \overline{Q4} \quad \overline{Q5} \quad \overline{Q6} \quad \overline{Q7} \quad \overline{Q8} \quad \overline{Q9}, \quad (2.8)$$

и на завершающем этапе автоматизированная система переходит в исходное состояние соответствующее выражению (2.1).

Таким образом, выполняется полный цикл создания высокого вакуума на установке УВН-71 ПЗ. На рисунке 2.3 представлена блок-схема полного алгоритма создание вакуума.

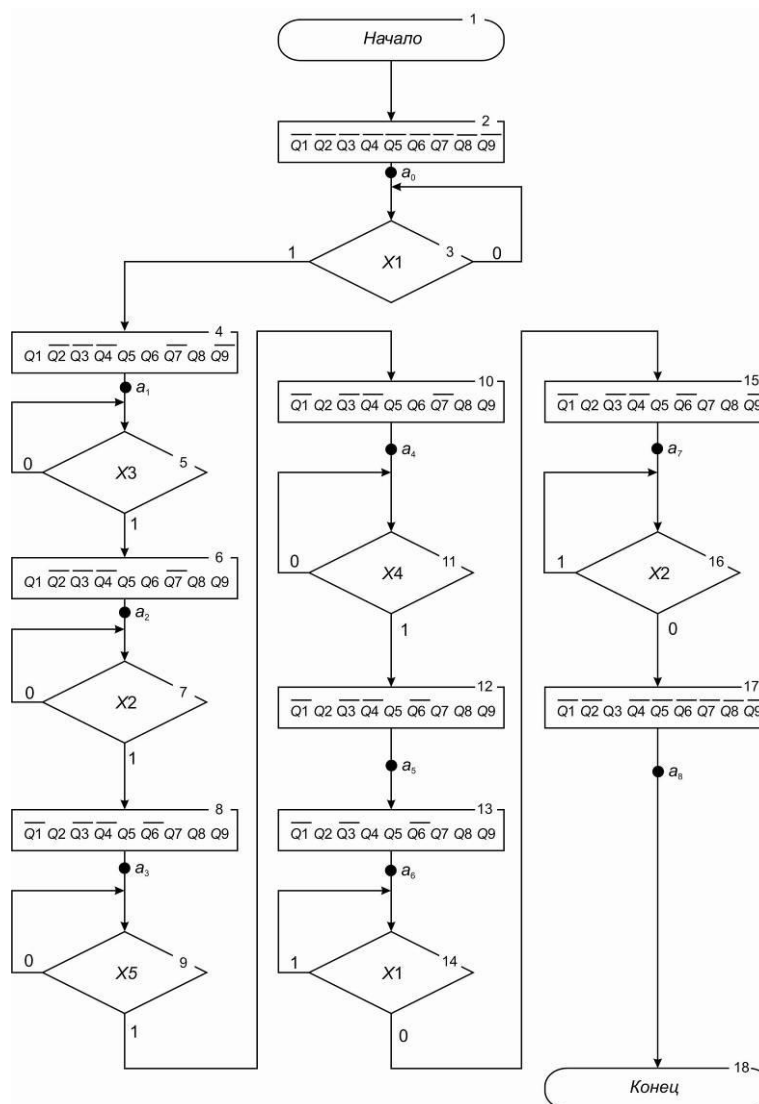


Рисунок 2.3 – Алгоритм автоматизированного процесса управления создания вакуума на установке УВН 71 ПЗ

Алгоритм является фактически формализованным представлением задачи по построению цифрового автомата Миля, где определены группы выходных сигналов (от Q1 до Q9) для инициализации устройства схемы (например, операционного устройства процессора в зависимости от поступления тех или иных входных сигналов (от X1 до X6). Задавать цифровой автомат удобно с помощью векторного графа. Графом называется непустое конечное множество вершин вместе с множеством ветвей, соединяющих пары различных вершин (рисунок 2.4).

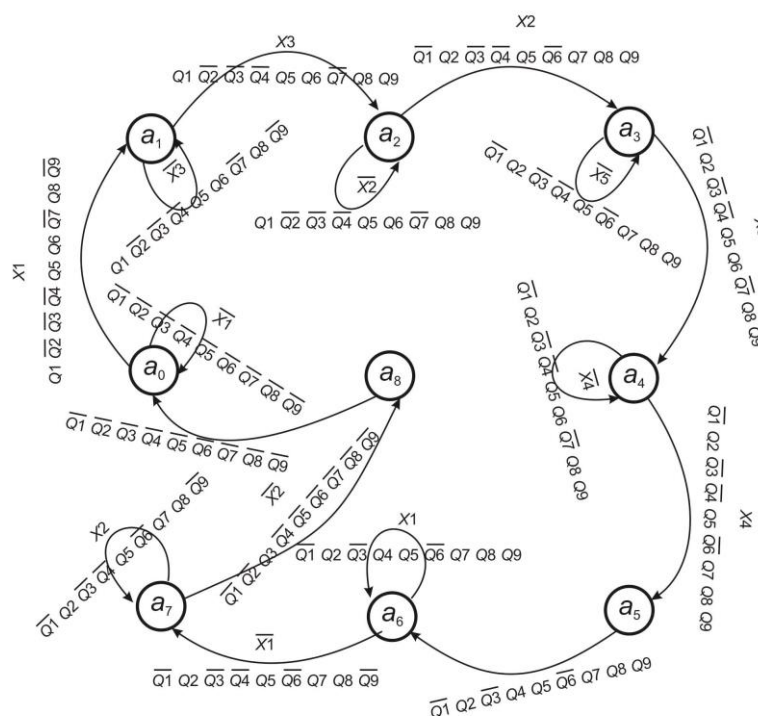


Рисунок 2.4 – Граф перехода автомата в соответствии с алгоритмом

Граф обычно представляется в наглядной форме, при этом вершины изображаются кругами, которые помечаются с целью идентификации, а ветви изображаются линиями, соединяющими соответствующие узлы. Если каждой ветви также приписано направление, то такой граф называется ориентированным. Если направления не указаны, то граф называется неориентированным. Данные представления полезны ввиду их наглядности. Вершины обычно соответствуют объектам некоторого вида (в цифровом автомате – внутренним состояниям), а ветви – физическим или логическим связям между ними. Таким образом, графы можно использовать для математического моделирования самых разнообразных систем.

2.4 Вывод логических выражений

Для подготовки логических выражений, в соответствии с заданным алгоритмом, необходимо построить таблицу состояний и определить двоичный код для каждого состояния. Каждому состоянию автомата соответствует определенный код выходных сигналов в зависимости от входных. В таблице 2.2 представлены состояния автомата и соответствующий ему двоичный код в соответствии с алгоритмом (рисунок 2.3).

Таблица 2.2 – Состояние автомата и соответствующий двоичный код

Состояние автомата	Состояние элементов памяти			
	Y1	Y2	Y3	Y4
1	2	3	4	5
a_0	0	0	0	0
a_1	0	0	0	1
a_2	0	0	1	0
a_3	0	0	1	1
a_4	0	1	0	0
a_5	0	1	0	1
a_6	0	1	1	0
a_7	0	1	1	1
a_8	1	0	0	0

Для дальнейших расчетов потребуются таблицы переходов триггеров. Число триггеров для построения регистра состояний равно разрядности кодовой комбинации состояния a (таблица 2.2). Что бы реализовать алгоритм (рисунок 2.3) нам понадобится четыре триггера. Проектирование автоматизированной системы создания вакуума в рабочей камере установки УВН-71 ПЗ применим D – триггеры, таблица переходов которые представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Таблица переходов D – триггеров

Переход	D
1	2
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

Интегральным D -триггером называется триггер с одним сигнальным и одним тактовым входом. Такие триггеры носят другое название – триггер задержки. Название произошло от английского слова *delay* (задержка). D -триггеры предназначены для выполнения следующих основных операций:

- запоминание информации;
- задержка логических сигналов;
- счет поступающих импульсов.

D -триггеры являются синхронными триггерами и классифицируются по количеству тактов работы одноктактный двухтактный (2-х ступенчатый).

После построения графа (рисунок 2.4), составление таблицы состояний (таблица 2.2), а так же таблице переходов D -триггера (таблица 2.3) необходимо заполнить таблицу функционирования комбинационного узла автомата (таблица 2.4). Если число переменных X небольшое, и автомат имеет 2-3 состояния, то в этом случае можно воспользоваться методом Вейча (Карно). Это удобно, если число клеток в карте Карно будет до 25, т.е. 32. В других случаях этот метод становится слишком громоздким. Предлагаемая таблица позволяет записать функции для любого числа переменных. Затем их следует внимательно проанализировать с целью возможного упрощения (минимизации). В данном случае оказывается достаточным к некоторым выражениям применить закон склеивания и взаимного поглощения.

Таблица 2.4 – Функционирования комбинационного автомата

Состояние автомата										Условие перехода					Сигналы управления триггерами				Выходные сигналы									
Исходное					Новое																							
<i>a</i>	Y4	Y3	Y2	Y1	<i>a</i>	Y4	Y3	Y2	Y1	X5	X4	X3	X2	X1	D4	D3	D2	D1	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
<i>a</i> ₈	1	0	0	0	<i>a</i> ₀	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>a</i> ₀	0	0	0	0	<i>a</i> ₀	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>a</i> ₀	0	0	0	0	<i>a</i> ₁	0	0	0	1	-	-	-	-	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	
<i>a</i> ₁	0	0	0	1	<i>a</i> ₁	0	0	0	1	-	-	0	-	-	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	
<i>a</i> ₁	0	0	0	1	<i>a</i> ₂	0	0	1	0	-	-	1	-	-	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	
<i>a</i> ₂	0	0	1	0	<i>a</i> ₂	0	0	1	0	-	-	-	0	-	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	
<i>a</i> ₂	0	0	1	0	<i>a</i> ₃	0	0	1	1	-	-	-	1	-	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	
<i>a</i> ₃	0	0	1	1	<i>a</i> ₃	0	0	1	1	0	-	-	-	-	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	
<i>a</i> ₃	0	0	1	1	<i>a</i> ₄	0	1	0	0	1	-	-	-	-	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	
<i>a</i> ₄	0	1	0	0	<i>a</i> ₄	0	1	0	0	-	0	-	-	-	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	
<i>a</i> ₄	0	1	0	0	<i>a</i> ₅	0	1	0	1	-	1	-	-	-	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	
<i>a</i> ₅	0	1	0	1	<i>a</i> ₆	0	1	1	0	-	-	-	-	-	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	
<i>a</i> ₆	0	1	1	0	<i>a</i> ₆	0	1	1	0	-	-	-	-	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	
<i>a</i> ₆	0	1	1	0	<i>a</i> ₇	0	1	1	1	-	-	-	-	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	
<i>a</i> ₇	0	1	1	1	<i>a</i> ₇	0	1	1	1	-	-	-	1	-	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	
<i>a</i> ₇	0	1	1	1	<i>a</i> ₈	1	0	0	0	-	-	-	0	-	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	

После заполнения таблицы 2.4 необходимо составить и записать логические выражения. У автомата Миля выходные сигналы и сигналы управления памятью являются функцией исходного состояния и внешних условий. Ниже представлены логические выражения выходных сигналов:

$$Q1 = a_0 \cdot X1 + a_1 + a_2 \cdot \overline{X2}; \quad (2.9)$$

$$Q2 = a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4} + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.10)$$

$$Q3 = a_7 \cdot X2; \quad (2.11)$$

$$Q4 = a_5 + a_6 \cdot X1; \quad (2.12)$$

$$Q5 = a_0 \cdot X1 + a_1 \cdot \overline{X3} + a_1 \cdot X3 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_2 \cdot X2 + a_2 \cdot \overline{X5} + a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.13)$$

$$Q6 = a_0 \cdot X1 + a_1 \cdot \overline{X3} + a_1 \cdot X3 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4}; \quad (2.14)$$

$$Q7 = a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.15)$$

$$Q8 = a_0 \cdot X1 + a_1 \cdot \overline{X3} + a_1 \cdot X3 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.16)$$

$$Q9 = a_1 \cdot X3 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 \cdot \overline{X4} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 \cdot X1; \quad (2.17)$$

и сигналов управления памятью:

$$D1 = a_0 \cdot X1 + a_1 \cdot \overline{X3} + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 \cdot X4 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.18)$$

$$D2 = a_1 \cdot X3 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.19)$$

$$D3 = a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 \cdot X1 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.20)$$

$$D4 = a_7 \cdot X2. \quad (2.21)$$

На следующем этапе выполним упрощения этих логических выражений по закону склеивания и взаимного поглощения. В результате получим окончательные логические выражения, которые позволят управлять автоматом Миля в соответствии с заданным алгоритмом. Для выходных сигналов получим следующие выражения:

$$Q1 = a_0 \cdot X1 + a_1 + a_2 \cdot \overline{X2}; \quad (2.22)$$

$$Q2 = a_2 \cdot X2 + a_3 + a_4 \cdot \overline{X4} + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.23)$$

$$Q3 = a_7 \cdot X2; \quad (2.24)$$

$$Q4 = a_5 + a_6 \cdot X1; \quad (2.25)$$

$$Q5 = a_0 \cdot X1 + a_1 + a_2 + a_2 \cdot \overline{X5} + a_3 \cdot X5 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.26)$$

$$Q6 = a_0 \cdot X1 + a_1 + a_2 \cdot \overline{X2} + a_3 \cdot X5 + a_4 \cdot \overline{X4}; \quad (2.27)$$

$$Q7 = a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 \cdot X4 + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.28)$$

$$Q8 = a_0 \cdot X1 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.29)$$

$$Q9 = a_1 \cdot X3 + a_2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 + a_5 + a_6 \cdot X1. \quad (2.30)$$

Для сигналов управления памятью, в частности D-триггеров будем иметь следующие выражения:

$$D1 = a_0 \cdot X1 + a_1 \cdot \overline{X3} + a_2 \cdot X2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_4 \cdot X4 + a_6 \cdot \overline{X1} + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.31)$$

$$D2 = a_1 \cdot X3 + a_2 + a_3 \cdot \overline{X5} + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.32)$$

$$D3 = a_3 \cdot X5 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 \cdot \overline{X2}; \quad (2.33)$$

$$D4 = a_7 \cdot X2. \quad (2.34)$$

Таким образом, в результате анализа исходного алгоритма, графа и выполненных всех необходимых расчетов, получили логические выражения в соответствии, с которыми реализуем схемы цифрового автомата Миля.

2.5 Разработка автоматизированной схемы управления создания вакуума на основе автомата Миля

Разработку схемы управления создания вакуума для установки УВН-71 ПЗ будем реализовывать на Разработку схемы управления создания вакуума для установки УВН-71 ПЗ будем реализовывать на основе *k*-МОП микросхем 4000В – CMOS с питанием от 3 до 18 В, 90 нс.

k-МОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник; англ. CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor) – набор полупроводниковых технологий построения интегральных микросхем и соответствующая ей схемотехника микросхем. Подавляющее большинство современных цифровых микросхем – *k*-МОП.

В более общем случае название – *k*-МДП (со структурой металл-диэлектрик-полупроводник). В технологии *k*-МОП используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости. Отличительной особенностью схем *k*-МОП по сравнению с биполярными технологиями (ТТЛ, ЭСЛ и др.) является очень малое энергопотребление в статическом режиме (в большинстве случаев можно считать, что энергия потребляется только во время переключения логических состояний). Отличительной особенностью структуры *k*-МОП по сравнению с другими МОП-структурами (*n*-МОП, *p*-МОП) является наличие как *n*-, так и *p*-канальных полевых транзисторов, локализованных в одном месте кристалла. Вследствие меньшего расстояния между элементами *k*-МОП-схемы обладают большим быстродействием и меньшим энергопотреблением, однако при этом характеризуются более сложным технологическим процессом изготовления и меньшей плотностью упаковки

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Схема электрическая принципиальная автоматизированной системы создания вакуума для установки УВН-71 ПЗ представлена на рисунке 2.5 и в приложении Г.

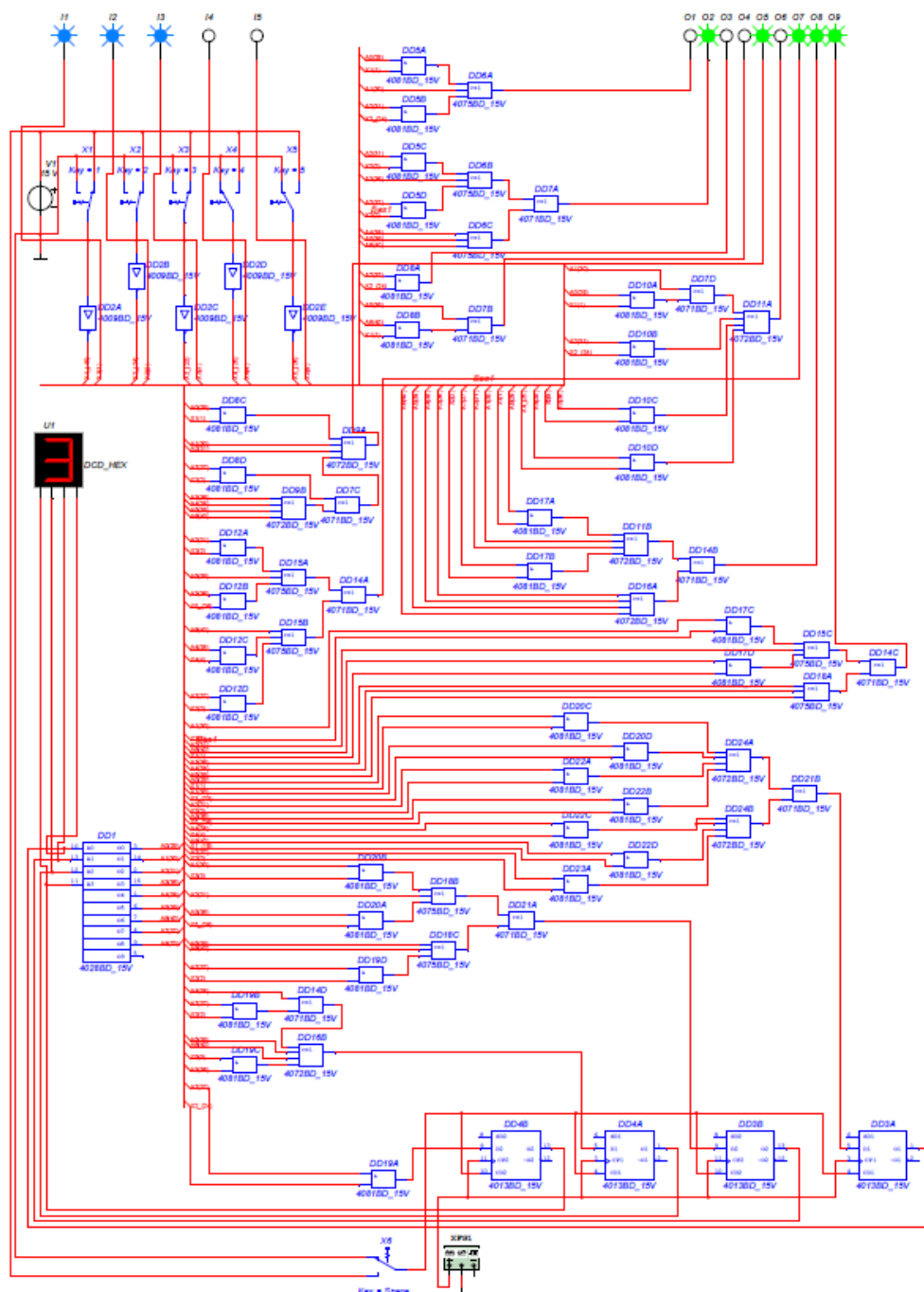


Рисунок 2.5 – Схема автоматизированной системы создания
и управления вакуумом

На рисунке 2.6 представлены 3D модели печатной платы автоматизированной системы создания вакуума в программе система автоматизированного проектирования *Ultiboard 12.0*.

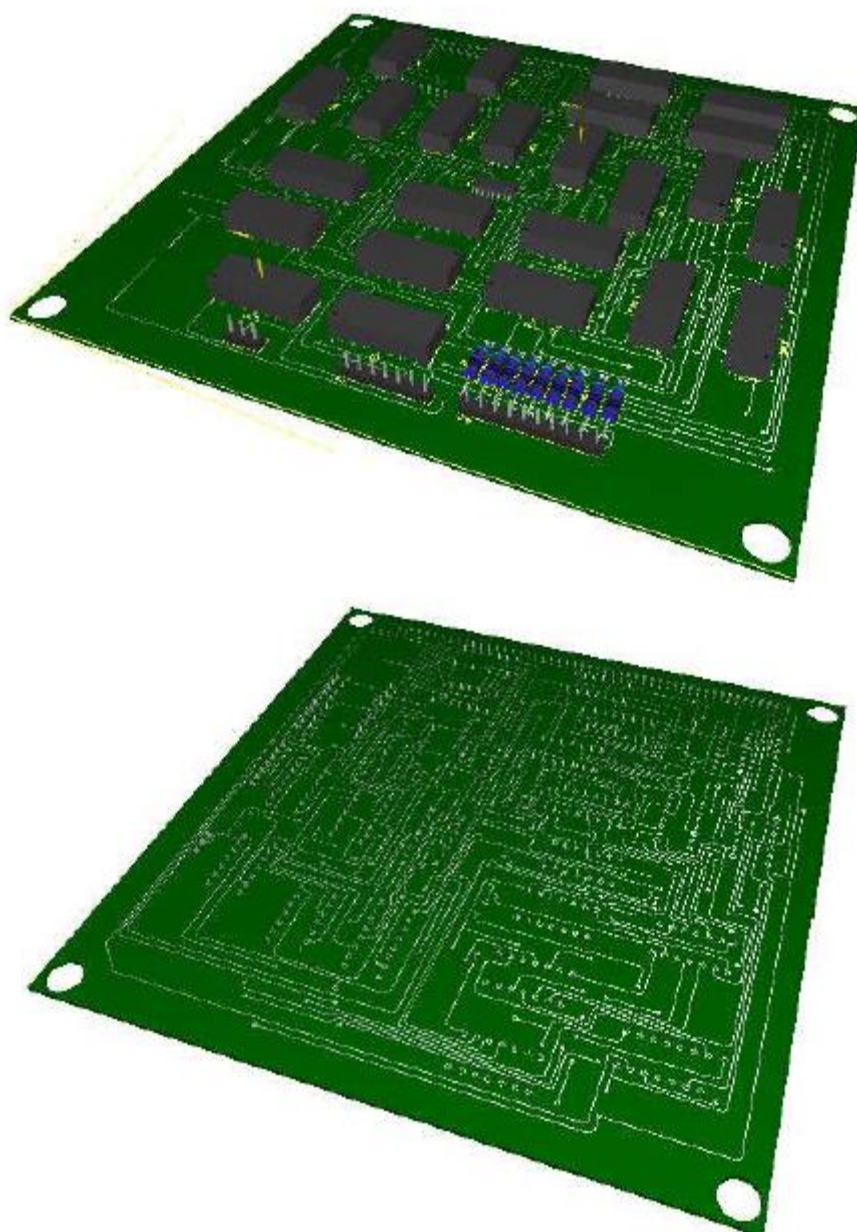


Рисунок 2.6 – 3D модель печатной платы автоматизированной системы создания вакуума

Печатную плату изготавливают комбинированным позитивным методом для многослойных печатных плат. На рисунках 2.7-2.9 представлены послойные чертежи печатной платы автоматизированной системы создания вакуума для установки УВН-71 ПЗ.

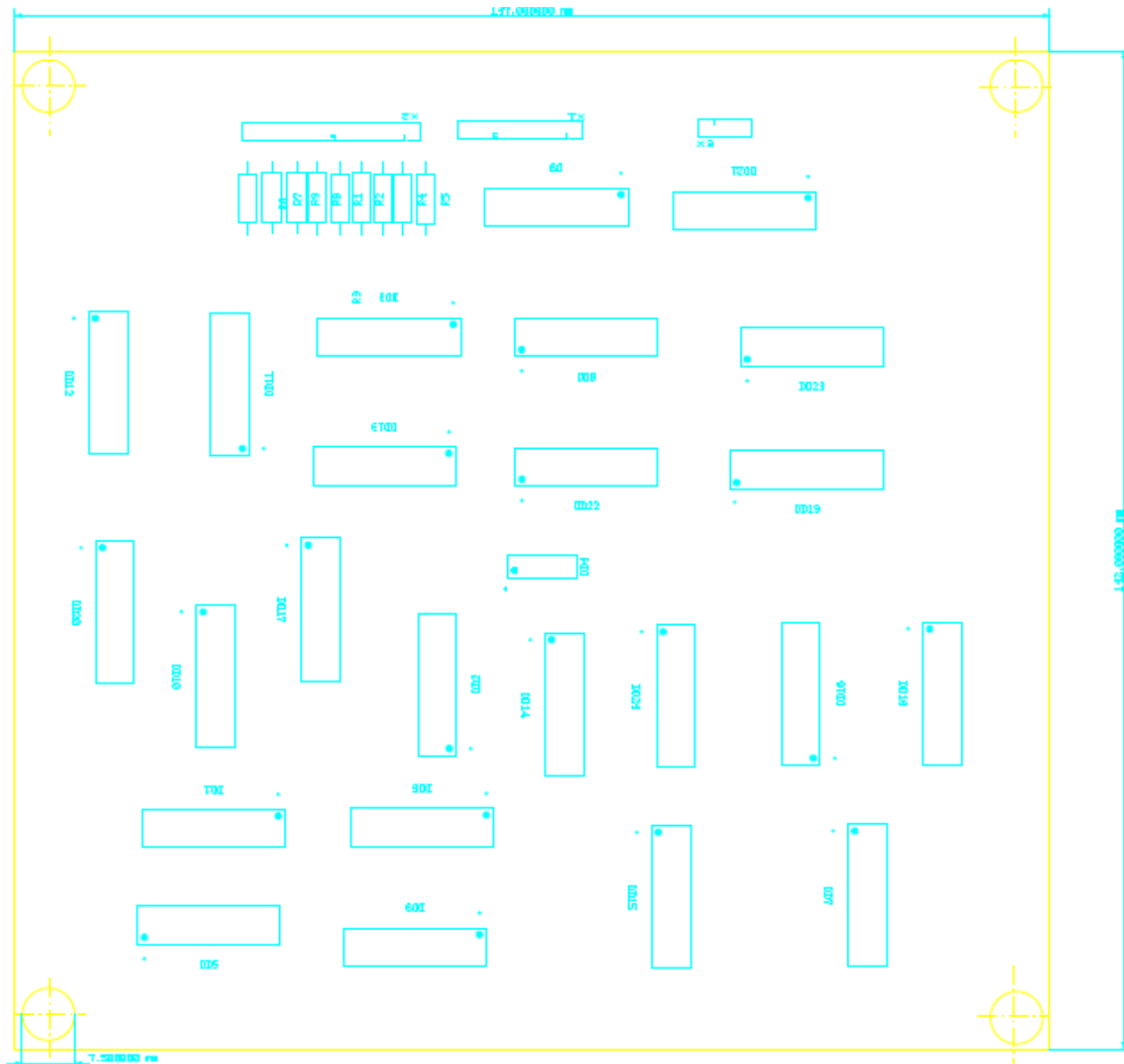


Рисунок 2.7 – Изображение расположение компонентов на печатной плате

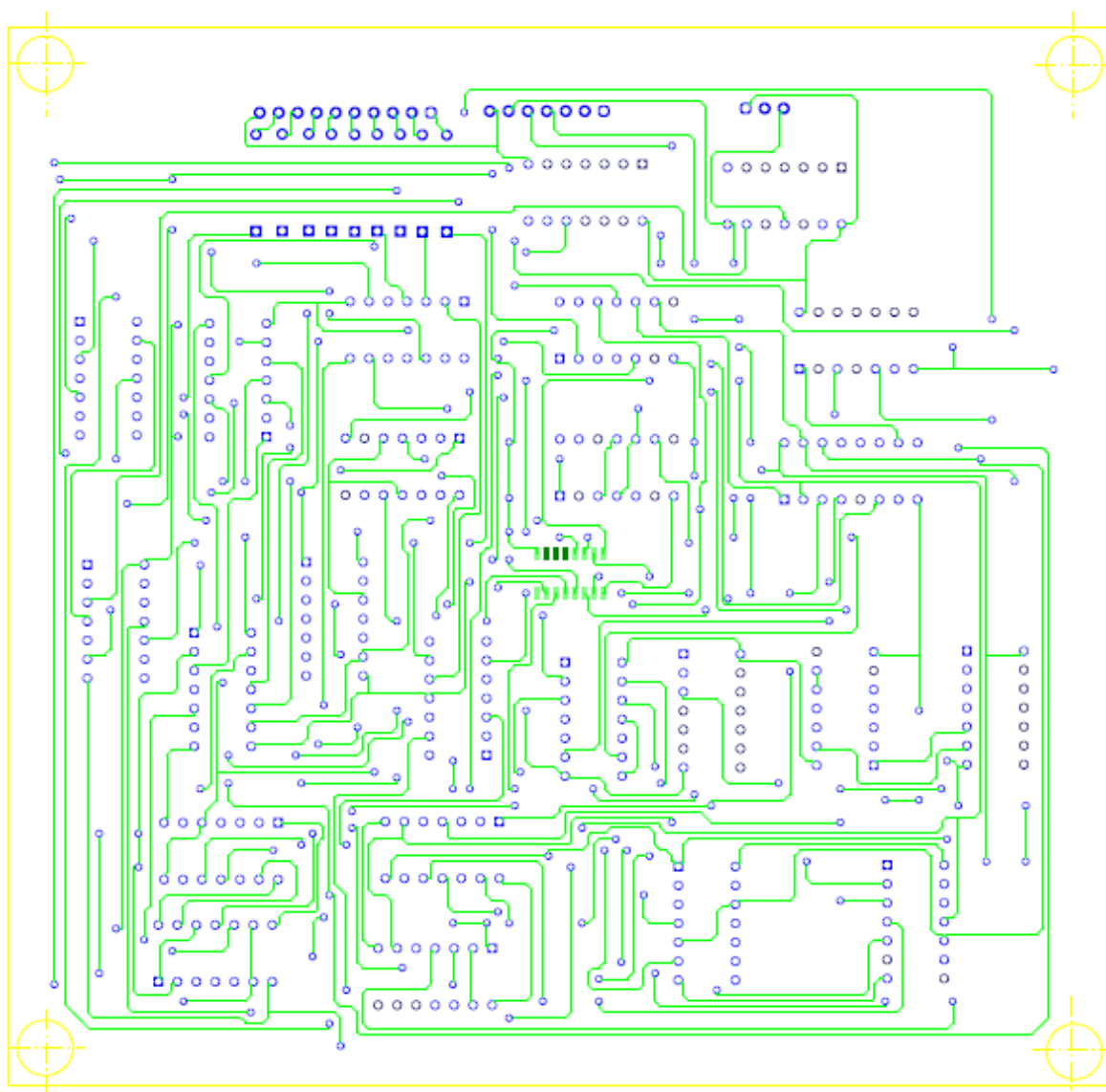


Рисунок 2.8 – Изображение верхнего слоя проводников на печатной плате

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ

Лист

45

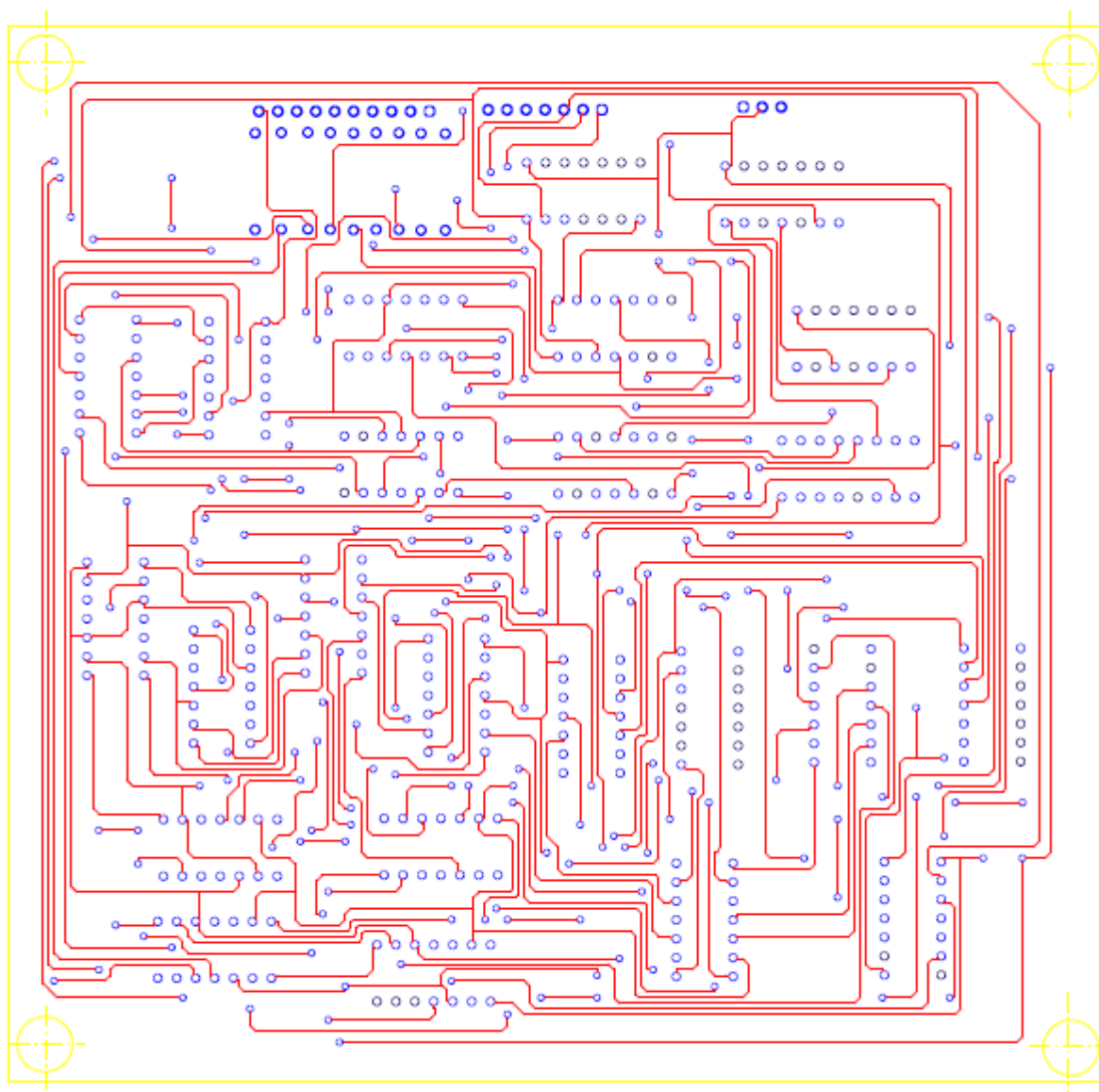


Рисунок 2.9 – Изображение нижнего слоя проводников на печатной плате

На рисунке 2.7 представлен слой шелкографии печатной платы, где отображаются компоненты и их позиционное обозначение. На рисунке 2.8 представлен верхний слой проводников и соответствующие отверстия для посадочных мест компонентов. На рисунке 2.9 представлен нижний слой проводников печатной платы автоматизированной системы создания вакуума.

2.6 Моделирование работы автоматизированной системы создания вакуума

Моделирование работы автоматизированной системы создания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ

Лист

46

вакуума реализовано в программе *MultiSim 12.0* фирмы *National Instruments* (рисунок 2.5) в виде автомата Миля. На начальном этапе все системы, которые реализуют технологический процесс создания вакуума, отключены. Этому соответствует состояние a_0 , где выходные индикаторы $O1..O9$, которые соответствуют выходным сигналам $Q1...Q9$ не горят.

В соответствие с алгоритмом, представленном на рисунке 2.3 приходит на вход $I1$ сигнал «1» моделируемой схемы. В данный момент автомат Миля переходит в состояние a_1 . В этом состоянии моделируются следующие технологические процессы: включение подачи горячей воды на колпак $O1$, включение азотной ловушки $O5$, включение форвакуумного насоса $O8$, открытие клапана между колпаком и форвакуумным насосом $O6$ для откачки воздуха. Далее по датчику низкого вакуума колпака контролируется уровень вакуума. По достижению уровня низкого вакуума заданного оператором установки, приходит сигнал «1» на вход $I3$ моделируемой схемы. Автомат переходит с состояние a_2 .

В состояние a_2 моделируются следующий технологический процесс: включается нагревание масла в диффузионном насосе. Контроль температуры масла диффузионного насоса осуществляется по резистивному датчику температуры. Значение температуры устанавливается оператором установки. Это значение постоянное для конкретного вида диффузионного насоса и может регулироваться при необходимости. При достижении установленной температуры масла диффузионного насоса $I2$ автомат Миля переходит к следующему состоянию a_3 .

В состояние a_3 моделируются следующие технологические процессы: подача горячей воды на колпак (для дегазации подколпачного загрязнения) отключается $O1$, подача холодной воды на колпак включается $O2$, клапан между колпаком и форвакуумным насосом закрывается $O6$ и открывается клапан откачки воздуха из диффузионного насоса форвакуумным насосом $O7$. Контроль уровня вакуума в диффузионном насосе

осуществляется ионизационным датчиком давления высокого вакуума, который устанавливается в трубопровод между диффузионным и форвакуумным насосом. При достижении установленного вакуума в диффузионном насосе, на вход *I5* и автомат Миля переходит к состоянию *a₄*.

В состояние *a₄* моделируются следующие технологические процессы протекающие на установке УВН-71 ПЗ: клапан между диффузионным насосом и форвакуумным насосом закрывается *O7*, а клапан между колпаком и форвакуумным насосом открывается *O6* и происходит откачка воздуха из под колпака до установленного значения вакуума, которое должно примерно составлять уровню вакуума диффузионного насоса. Значение уровня вакуума в колпаке выставляется оператором установки вакуумного напыления. При достижении вакуума в колпаке примерно равное значению вакуума в диффузионном насосе. Здесь поступает сигнал «1» на вход *I4* и автомат Миля переходит к состоянию *a₅*.

В состояние *a₅* моделируются следующие технологические процессы: клапан между колпаком и форвакуумным насосом закрывается *O6*, а клапан между диффузионным насосом и форвакуумным насосом открывается *O7*,

и происходит откачка воздуха из диффузионного насоса. Автомат Миля переходит к состоянию *a₆*.

В этом состоянии *a₆* моделируются открытия высоковакуумной заслонки *O4* между колпаком и диффузионным насосом установки УВН-71 ПЗ и выполняется откачка воздуха для создания необходимого технологического вакуума для проведения технологической операции напыления.

После процесса напыления приходит сигнал «0» на вход *I1*, данная команда предназначена для завершения процесса напыления и автомат Миля переходит в состояние *a₇*. Здесь моделируются следующие технологические

процессы: закрытие высоковакуумной заслонки О4 и отключение нагрева масла диффузионного насоса О9. При достижении температуры масла диффузионного насоса меньше установленного значения, поступает сигнал «0» на вход I2. Автомат Миля переходит в состояние а8. В этом состоянии выключаются все технологические процессы, и напускается воздух в колпак, т.е. колпак напуска воздуха открыт ОЗ.

Таким образом, схема автоматизированной системы создания вакуума выполняет полный спектр технологических процессов подготовки условий вакуума для напыления.

2.7 Разработка измерительного блока технологических параметров при создании вакуума

Измерительный блок должен представлять систему позволяющую подключать все необходимые датчики. Измерения с датчиковой аппаратуры должны преобразовываться в управляющие сигналы, которые необходимы для управления процессом создания вакуума.

Ввиду того, что для установки термического испарения в вакууме УВН-71 ПЗ необходима модернизация измерительной системы. Возникла необходимость замены вакуумных ламп на вакуумные ионизационные датчики. В колпаке необходимо контролировать уровень вакуума на всем протяжении технологического процесса, поэтому нам потребуется два датчика: датчик низкого вакуума и датчик высокого вакуума. Уровень вакуума в диффузионном насосе нам достаточно одного ионизационного датчика высокого вакуума, а также требуется датчик температуры диффузионного масла. Контроль температуры масла позволит обеспечить безопасную и надежную работу диффузионного насоса. В таблице 2.5 представлены наименования и некоторые характеристики применяемых датчиков.

Таблица 2.5 – Характеристики датчиков применяемых в автоматизированной системе создания вакуума

№ п/п	Наименование	Тип	Диапазон измеряемой величины	Диапазон измеряемой величины	Напряжение питания	Масса
1	2	3	4	5	6	7
1	Датчик низкого вакуума	<i>Thyracont VSP63MA4</i>	от 750 до $8 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.	от 0,5 до 8,5 В	от +15 до 30 В	120 г.
2	Датчик высокого вакуума	<i>AIGX – S – DN16CF</i>	от $5 \cdot 10^{-10}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ мм.рт.ст.	от 0,7 до 8,7 В	от +14,5 до 30 В	300 г.
3	Датчик температуры	<i>PT1000</i>	от – 50 до 150 °С	от 800 до 1600 Ом	–	100 г

Исходя из представленных характеристик, для измерительной схемы необходимо обеспечить рабочее напряжение около ± 15 В. Для преобразования выходных сигналов датчика и использования их в дальнейшем в схеме автоматизированной системы создания вакуума воспользуемся схемами на операционных усилителях (ОУ). Подключение датчиков в измерительной схеме представлена на рисунке 2.10.

Компаратор – это устройство, предназначенное для сравнения каких-либо величин (от лат. *comparare* – «сравнивать»).

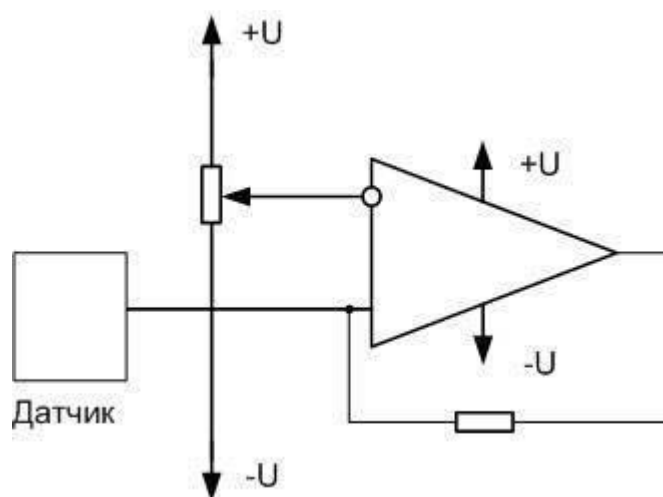


Рисунок 2.10 – Подключение датчика по схеме компаратора

Является операционным усилителем с большим коэффициентом умножения. Имеет входы: прямой и инверсный. При необходимости опорный сигнал может быть подключен к любому из них.

На один из входов подается постоянный сигнал, который называется опорным. Он используется как образец для сравнения. Ко второму поступает испытуемый сигнал. На выходе стоит транзистор, меняющий свое состояние в зависимости от условий:

- напряжение прямого входа выше инверсного – транзистор открыт.
- напряжение инверсного входа выше прямого – закрыт.

Соответственно, выходное напряжение меняется скачком от минимума до максимума, или наоборот [5].

Измерительная схема представлена на рисунке 2.11.

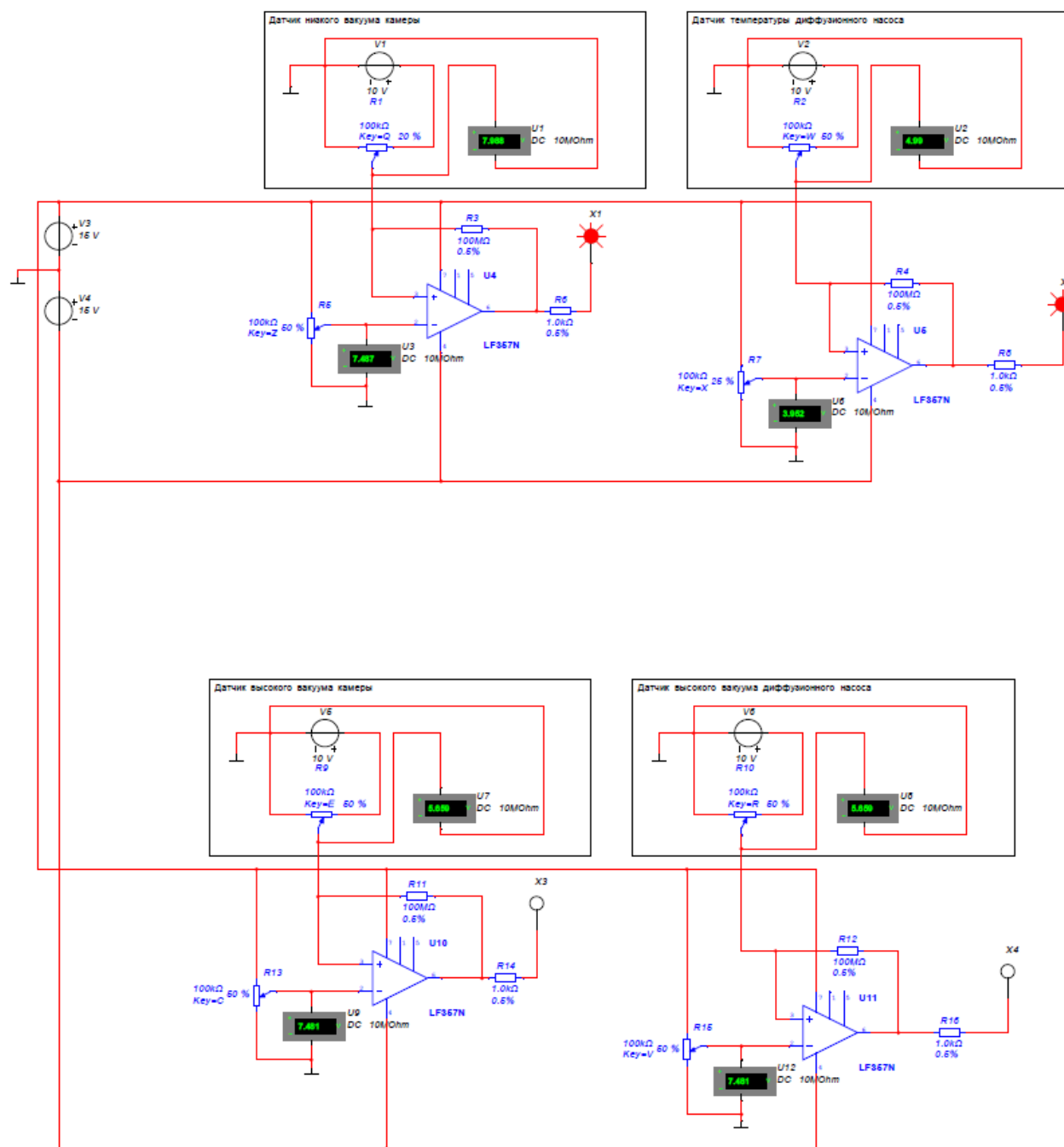


Рисунок 2.11 – Измерительная схема технологических параметров

На рисунке 2.12 представлены 3D модели печатной плат измерительной схемы в программе *Ultiboard 12.0*.

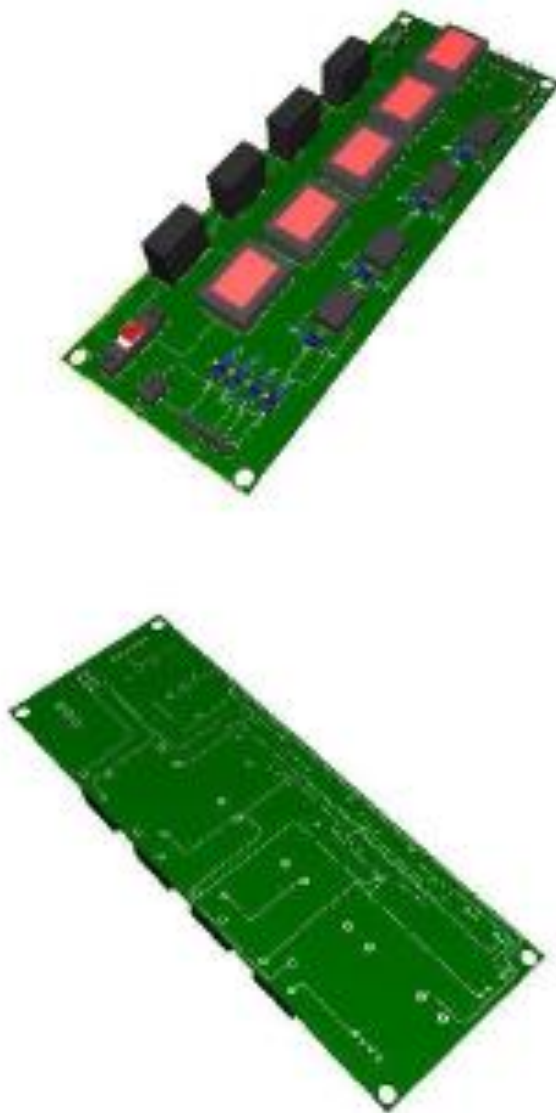


Рисунок 2.12 – 3D модель печатной платы измерительной схемы

Печатную плату изготавливают комбинированным позитивным методом для многослойных печатных плат. На рисунках 2.13-2.15 представлены послойные чертежи печатной платы измерительной схемы.

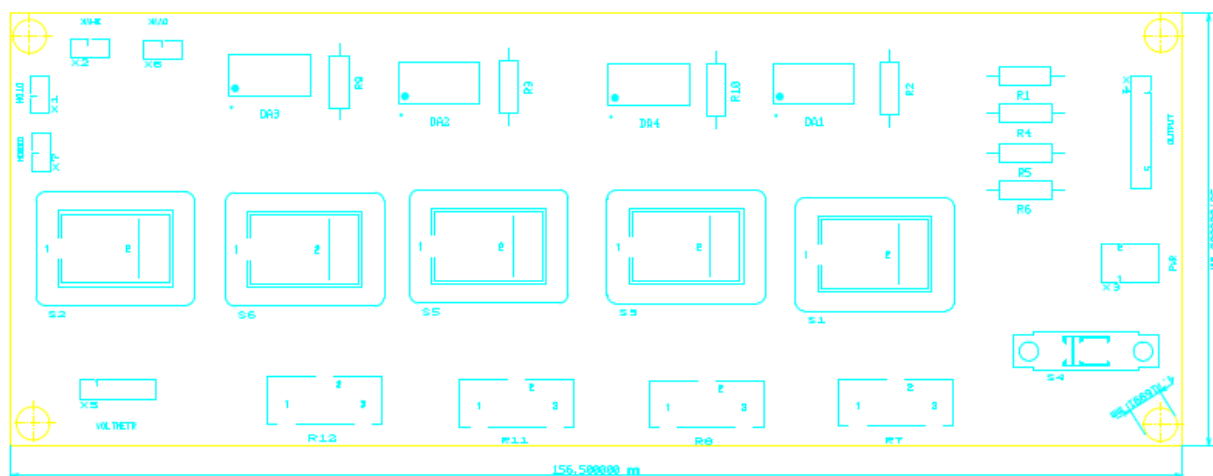


Рисунок 2.13 – Изображение расположение компонентов на печатной плате измерительной схемы

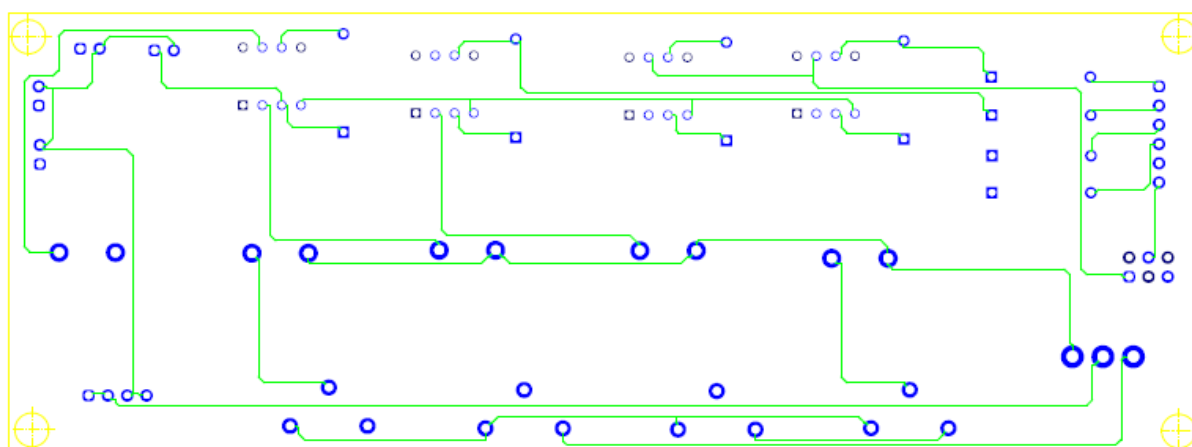


Рисунок 2.14 – Изображение верхнего слоя проводников на печатной плате измерительной схемы

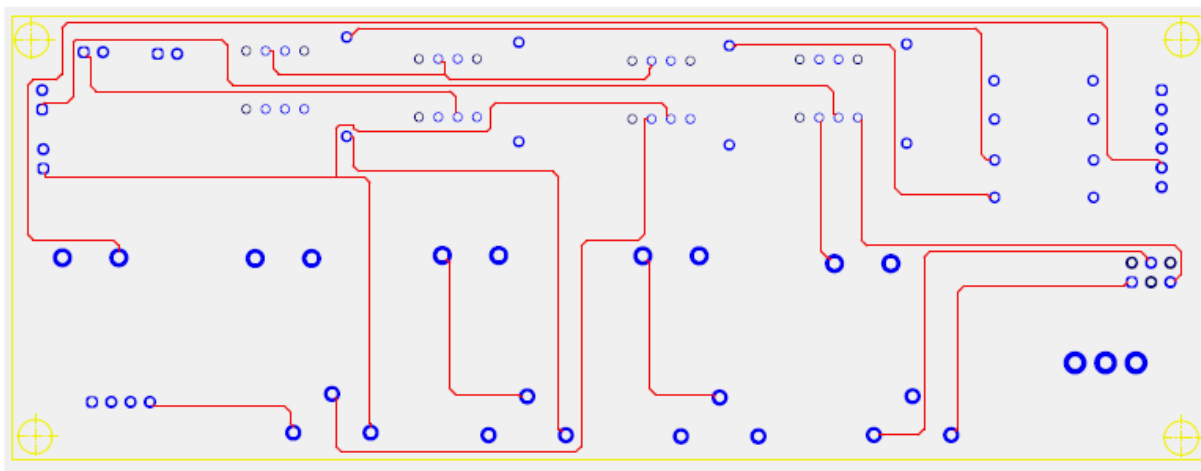


Рисунок 2.15 – Изображение нижнего слоя проводников на печатной плате измерительной схемы

На рисунке 2.13 представлен слой шелкографии печатной платы, где отображаются компоненты и их позиционное обозначение. На рисунке 2.14 представлен верхний слой проводников и соответствующие отверстия для посадочных мест компонентов. На рисунке 2.11в представлен нижний слой проводников печатной платы измерительной схемы.

3 Охрана труда при эксплуатации установки вакуумного напыления

Установки вакуумного напыления предназначены для серийного производства многослойных пленочных микросхем, а также для отработки технологии их изготовления [6].

Конструктивно установка включает в себя:

- колпак с подколпачным устройством;
- вакуумную систему;
- систему водоохлаждения;
- электрооборудование;
- контрольно-измерительные приборы;
- установку питания электронно-лучевого испарителя;
- азотный питатель.

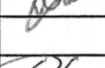
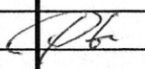
3.1 Порядок включения установки

3.1.1 Ручки, кнопки, тумблеры, имеющие положение «Вкл.», «Откл.», должны находиться в положении «Откл.», рукоятка высоковакуумного затвора – в положении «Закрыто» (вниз).

3.1.2 Включить вентиль холодной воды для охлаждения установки.

3.1.3 На правой боковой панели управления включить тумблер «Питание», после этого – тумблер «Сеть» на панели управления. Включение сети дублируется загоранием лампочки.

3.1.4 Включить тумблер «Механический насос» на панели управления и откачать воздух из трубопровода механического насоса.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Кежаев				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Аношкин					56	
Реценз.					Группа 19ПД1		
Н. Контр.	Рыжова			16.06			
Утв.							
					Охрана труда при эксплуатации установки вакуумного напыления		

3.1.2 Нижнюю ручку клапанной коробки повернуть на 45° против часовой стрелки, вытянуть до упора и повернуть еще на 45° против часовой стрелки до упора.

3.1.3 При достижении давления по прибору ВИТ-2П $5 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. в паромасляном насосе перевести тумблер «Паромасляный насос» на панели управления в положение «Вкл.».

3.1.7 После подогрева паромасляного насоса, что будет видно по снижению давления, нижнюю ручку клапанной коробки утопить, повторяя действия (см. п. 3.1.5) в обратном порядке, верхнюю ручку клапанной коробки *осторожно* вытянуть, копируя действия п. 3.1.5.

3.1.4 После достижения давления под колпаком $5 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. верхнюю ручку клапанной коробки утопить, затем вытянуть нижнюю ручку клапанной коробки, после чего открыть высоковакуумный затвор плавным переводом его рукоятки в положение «Открыто» (вверх).

3.2 Порядок выключения установки

3.2.1 Закрывать высоковакуумный затвор.

3.2.2 Отключить паромасляный насос.

3.2.3 После остывания паромасляного насоса (45...60 мин) нижнюю ручку клапанной коробки утопить.

3.2.4 Выключить механический насос, после чего заполнить воздухом в трубопровод, нажав на кнопку «Натекатель».

3.2.5 Отключить контрольно-измерительные приборы.

3.2.6 Обесточить установку.

3.2.7 Перекрыть подачу воды к установке.

3.3 Порядок подъема колпака

3.3.1 Отвернуть натекаТЕЛЬ и открыть доступ атмосферному воздуху под колпак.

3.3.2 После достижения под колпаком атмосферного давления поднять колпак.

3.3.3 Отвести вручную колпак в верхнее положение влево. Опускается колпак в обратном порядке.

Предупреждение! Заполнение атмосферным воздухом объема паромасляного насоса допустимо только при необходимости съема или ремонта самого насоса. Во всех остальных случаях заполнение атмосферным воздухом насоса

Запрещается! Во избежание порчи вакуумного масла паромасляный насос всегда должен находиться под вакуумом.

					ПГУ 2. 11.03.04.008 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы мной было выполнено следующее:

1. Рассмотрены термические методы получения тонких пленок.
2. Рассмотрены различные способы получения резистивных пленок, для изделий микроэлектронной промышленности.
3. Разработана схема электрическая принципиальная и спроектирована печатная плата для автоматизированного создания и управления вакуумом для установки термического испарения в вакууме УВН-71 ПЗ.
4. Выполнено моделирование работы автоматизированной системы создания и управления вакуумом для поддержания технологического процесса создания резистивных пленок.
5. Разработана схема электрическая принципиальная и спроектирована печатная плата измерительного блока технологических параметров при создании резистивных пленок.
6. Проведено моделирование работы измерительного блока технологических параметров в процессе создания резистивных пленок.
7. Разработаны правила эксплуатации установки вакуумного напыления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН. Применение и особенности. Метод термического испарения в вакууме [Электронный ресурс], Режим доступа: URL: <http://kirensky.ru/ru/info/study/dop/vak> (дата обращения: 14.04.2023).
2. Минайчев, В.Е. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. В 10 кн.: Учеб. пособие для ПТУ. Кн. 6. Нанесение пленок в вакууме / В.Е. Минайчев – М.: Высш. шк., 1989. – 110 с.
3. Готра, З.Ю. Справочник. Технология микроэлектронных устройств /З.Ю. Готра – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
4. Википедия. КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник [Электронный ресурс], Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CMOS> – (дата обращения: 05.05.2023).
5. Мир познаний. Что такое компаратор в электронике [Электронный ресурс], Режим доступа: URL: <https://deepcloud.ru/articles/что-такое-компаратор-v-elektronike>, (дата обращения: 10.05.2023).
6. Кулиш С.Н., Олейник В.П. Конструирование и технология специализированных микросхем и микросборок. / С.Н. Кулиш, В.П. Олейник. – Учеб. пособие по лабораторному практикуму. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 84 с.

Приложение А
(Обязательное)
Задание на бакалаврскую работу

					ПГУ.2.11.03.04.008ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		1

«Утверждаю»

Зав. кафедрой НиМЭ

Пронин И.А.

(фамилия, инициалы)

«09» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники
Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и микроэлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника
Кежаев Данила Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Аношкин Юрий Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Автоматизированная система создания вакуума и управления им
Тема утверждена приказом ПГУ № 359а/о от 04.04.2023

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)
Разработка и проектирование схемы автоматизированной системы создания и управления вакуумом для термического напыления.

Основные характеристики:

1. Управление вакуумом осуществляется клапанами напряжением 220 В.
2. Управление клапанами осуществляется через реле с рабочим напряжением 15 В.
3. Напряжение питания аналоговых и цифровых микросхем должно быть не менее 15 В.
4. Схема системы создания и управления вакуумом должна легко интегрироваться в вакуумную установку термического напыления.
5. Моделирование работы схем выполнить в программе Multisim фирмы National Instruments.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1. Термические методы получения компонентов электронной техники
 - 1.1 Методы получения пленочных резисторов
 - 1.2 Метод термического испарения в вакууме
 - 1.3 Нанесение пленок методом термического испарения

1.4 Импульсное нанесение пленок

1.5 Получение пленок из ионизированных потоков многоатомных частиц методами ионного осаждения

2. Проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом

2.1 Микропроцессорное управление установками нанесения тонких пленок

2.2 Подготовка исходных данных для проектирования автоматизированной системой откачки установки УВН-71 ПЗ

2.3 Разработка и проектирование схемы управления процессом создания вакуума на установке УВН-71 ПЗ

2.4 Вывод логических выражений

2.5 Разработка автоматизированной схемы управления создания вакуума на основе автомата Миля

2.6 Моделирование работы автоматизированной системы создания вакуума

2.7 Разработка измерительного блока технологических параметров при создании вакуума

3. Охрана труда при эксплуатации установки вакуумного напыления

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1 Цели и задачи выпускной квалификационной работы (слайд 2).

2 Панель управления и алгоритм создания и управления вакуумом (слайд 3).

3 Схема структурная автоматизированной системы АЗ×1, (слайд 4)

4 Схема электрическая принципиальная автоматизированной системы создания и управления вакуумом А2×1, (слайд 5)

5 Моделирование работы автоматизированной системы создания и управления вакуумом в *multisim* (слайд 6).

6 3D модель и послойные изображения платы автоматизированной системы создания и управления вакуумом (слайд 7).

7 Схема электрическая принципиальная измерительного блока технологических параметров при создании вакуума АЗ×1, (слайд 8).

8 Моделирование работы измерительного блока технологических параметров при создании вакуума в *multisim* (слайд 9).

9 3D модель и послойные изображения платы измерительного блока технологических параметров (слайд 10).

10 Выводы по выпускной квалификационной работе (слайд 11)

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1. _____

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Термические методы получения компонентов электронной техники	25 %	10.06.2023 г.	
Проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом	60 %	11.06.2023 г.	
Охрана труда при эксплуатации установки вакуумного напыления	5 %	12.06.2023 г.	
Подготовка графической части выпускной квалификационной работы	5 %	13.06.2023 г.	
Оформление ПЗ выпускной квалификационной работы	5 %	14.06.2023 г.	

Руководитель бакалаврской работы


подпись

Аношкин Ю.В.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«09»

июня

2023 г.

Задание к исполнению принял


подпись

Кежаев Д.С.

фамилия, инициалы

«09»

июня

2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета


подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

« 19 » июня

2023 г.

Приложение Б

(Обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе
«Антиплагиат.ВУЗ»

					ПГУ.2.11.03.04.008ПЗ	Лист
						1
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

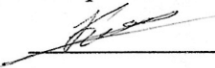
Ректору Пензенского
государственного университета
А. Д. Гулякову
студента курса ФИТЭ
очной формы обучения
Кежаева Данилы Сергеевича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Кежаев Данила Сергеевич, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, бакалаврской программы «Микроэлектроника и твердотельная электроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему «Автоматизированная система создания вакуума и управления им», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.


Подпись студента

16.06.2023

дата

ВКР представлена на проверку 16.06.2023

Руководитель ВКР  Ю.В. Аношкин

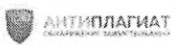
Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Автоматизированная система создания вакуума и управления им»

студента 4 курса Д.С. Кежаева направления подготовки/специальности 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Бакалаврской программы «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Аношкин Ю.В.

 **АНТИПЛАГИАТ**
система проверки оригинальности документов

СПРАВКА Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ ВУЗ

Автор работы: Кежаев Данила Сергеевич
Самодитирование рассчитано для: Кежаев Данила Сергеевич
Название работы: Автоматизированная система создания вакуума и управления им
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМОЙ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОМПЬЮТЕРНОЙ	
СОВПАДЕНИЕ	49.1%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	49.82%
ЦИТИРОВАНИЕ	1.85%
САМОДИТИРОВАНИЕ	0%

Дата последней проверки: 16.06.2023

Дата и время корректуры: 16.06.2023 09:30

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с. 1, 4-59, содержание с.2-3, библиография с.60

Модуль поиска: ИПС Адюлет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnEn); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ; аналитика; СПС ГАРАНТ; нормативно-правовая документация; ИБС; Медицина; Диссертации ИБС; Коллекция ИБС; Перефразирование по eLIBRARY.RU; Перефразирование по СПС ГАРАНТ; аналитика; Перефразирование по Интернету; Перефразирование по Интернету (EnEn); Перефразирование заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразирование заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирование по коллекции

Работу проверил: Голосовский Алексей Викторович

Дата подписи: 16.06.23

Подпись проверяющего

 Чтобы убедиться в достоверности сведений, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Отчет на запрос, написанное для обнаружения заимствований, корректным, система отказывает из-за отсутствия правообладателя. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

16.06.23

Ю.В. АНОШКИН



СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Кежаев Данила Сергеевич
Самоцитирование
рассчитано для: Кежаев Данила Сергеевич
Название работы: Автоматизированная система создания вакуума и управления им
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	49.1%	СОВПАДЕНИЯ	47.85%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	49.02%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.27%
ЦИТИРОВАНИЯ	1.88%	ЦИТИРОВАНИЯ	1.88%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 16.06.2023 09:36

Структура
документа:

Проверенные разделы: основная часть с.1, 4-59, содержание с.2-3, библиография с.60

Модули поиска:

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

16.06.23

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Приложение В
(Обязательное)
Презентация

					ПГУ.2.11.03.04.008ПЗ	Лист
						1
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Нано- и микроэлектроника»

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ВАКУУМА И УПРАВЛЕНИЯ ИМ

Выполнил студент гр. 19ПД1

Кежаев Д.С.

Руководитель к.т.н., доцент каф. НиМЭ

Аношкин Ю.В.

ПЕНЗА 2023

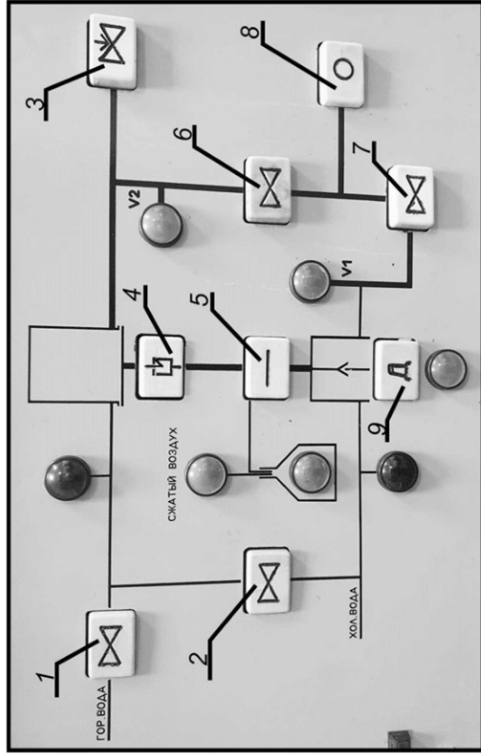
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВКР:

Целью работы является разработка и проектирование автоматизированной системы создания и управления вакуумом для установок термического испарения.

Задачи работы:

- провести литературный обзор по методам термического испарения в вакууме;
- разработать и спроектировать автоматизированную систему создания и управления вакуумом;
- разработать и спроектировать измерительную систему технологических параметров;
- выполнить моделирования работы разработанных схем.

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ И АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ



Сигналы	Описание сигналов	Поз. на рисунке 2.1
1		3
Входные сигналы		
X1	сигнал на пуск процесса. (вкл - 1 / выкл - 0)	—
X2	датчик температуры диффузионного насоса больше установленного. ($^{\circ}\text{C}$)	—
X3	датчик низкого вакуума камеры больше установленного. (дм рт ст)	—
X4	датчик высокого вакуума камеры больше установленного. (дм рт ст)	—
X5	датчик высокого вакуума диффузионного насоса больше установленного. (дм рт ст)	—
X6	установка начального состояния. (вкл - 1 / выкл - 0)	—
Выходные сигналы		
Q1	клапан горячей воды камеры (вкл - 1 / выкл - 0)	1
Q2	клапан холодной воды камеры (вкл - 1 / выкл - 0)	2
Q3	клапан напуска воздуха в камеру (вкл - 1 / выкл - 0)	3
Q4	клапан высоковакуумного затвора (вкл - 1 / выкл - 0)	4
Q5	азотная подушка (вкл - 1 / выкл - 0)	5
Q6	клапан камеры - форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	6
Q7	клапан диффузионный насос - форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	7
Q8	форвакуумный насос (вкл - 1 / выкл - 0)	8
Q9	нагрев диффузионного насоса (вкл - 1 / выкл - 0)	9

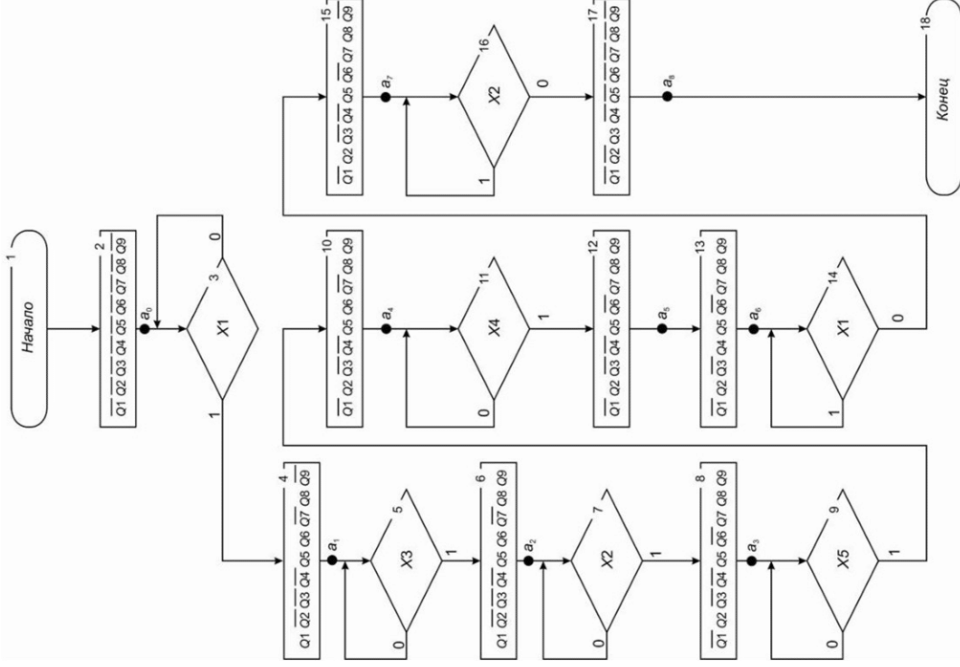


СХЕМА СТРУКТУРНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

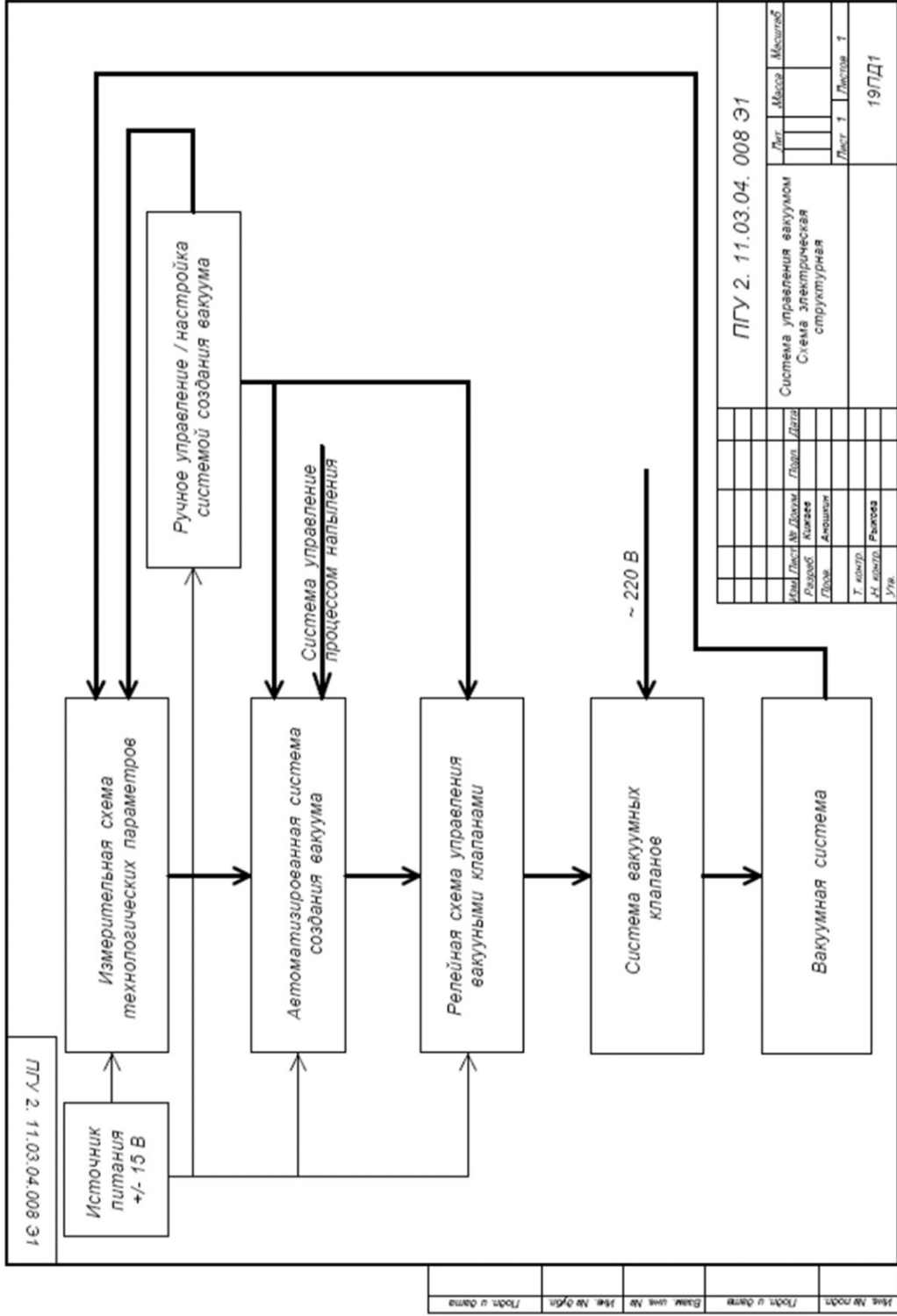
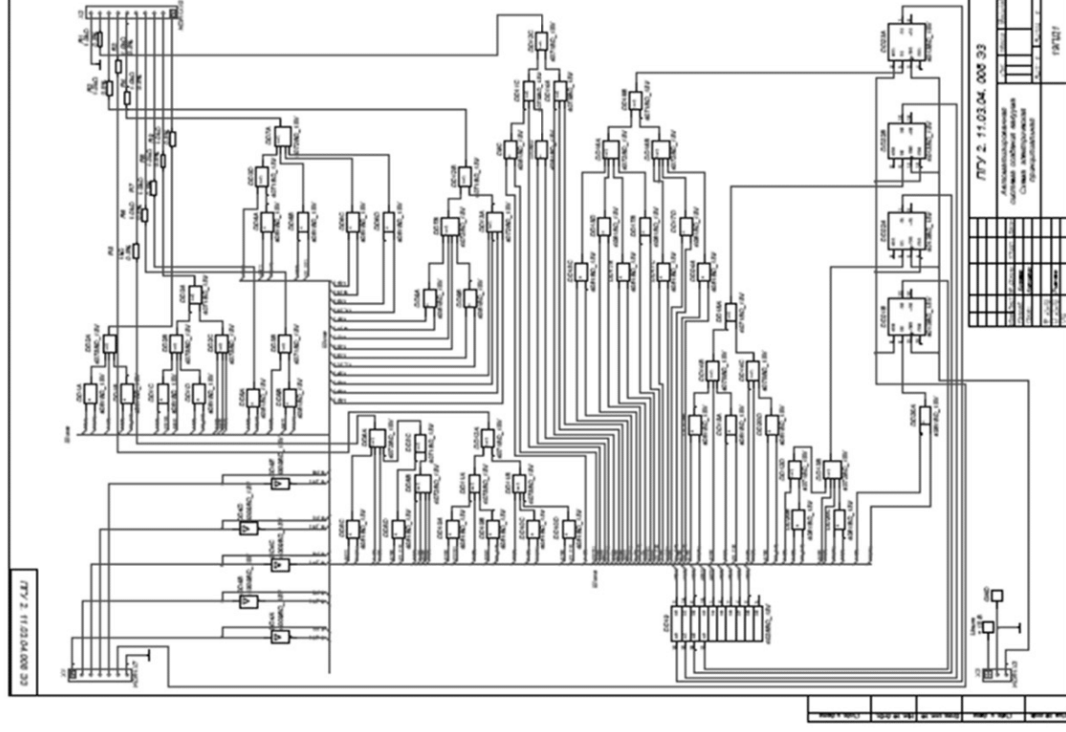
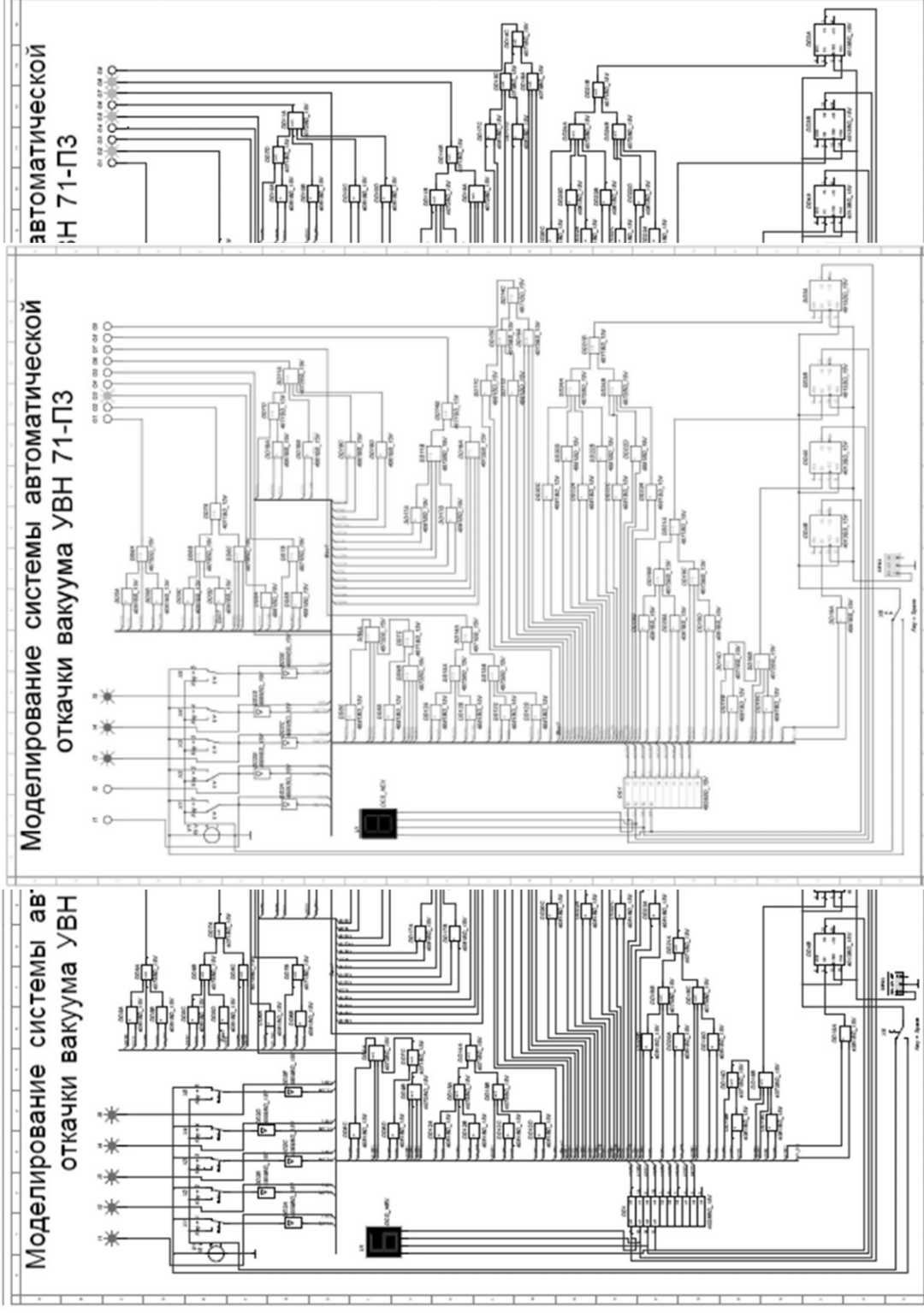


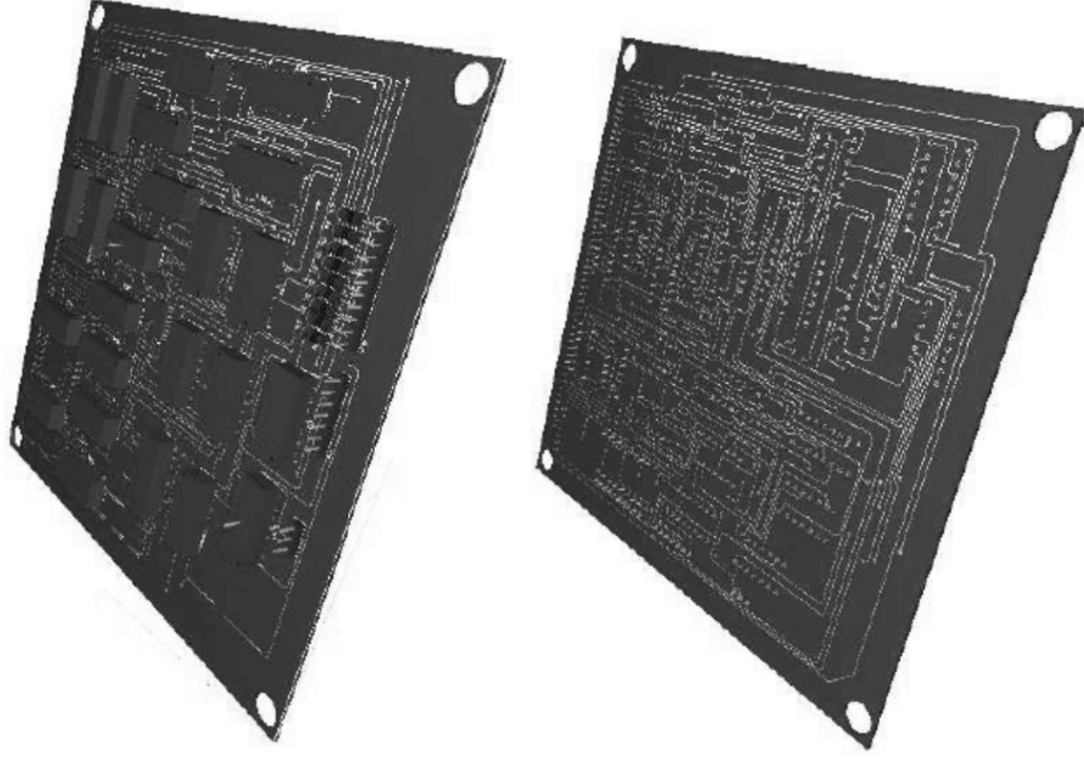
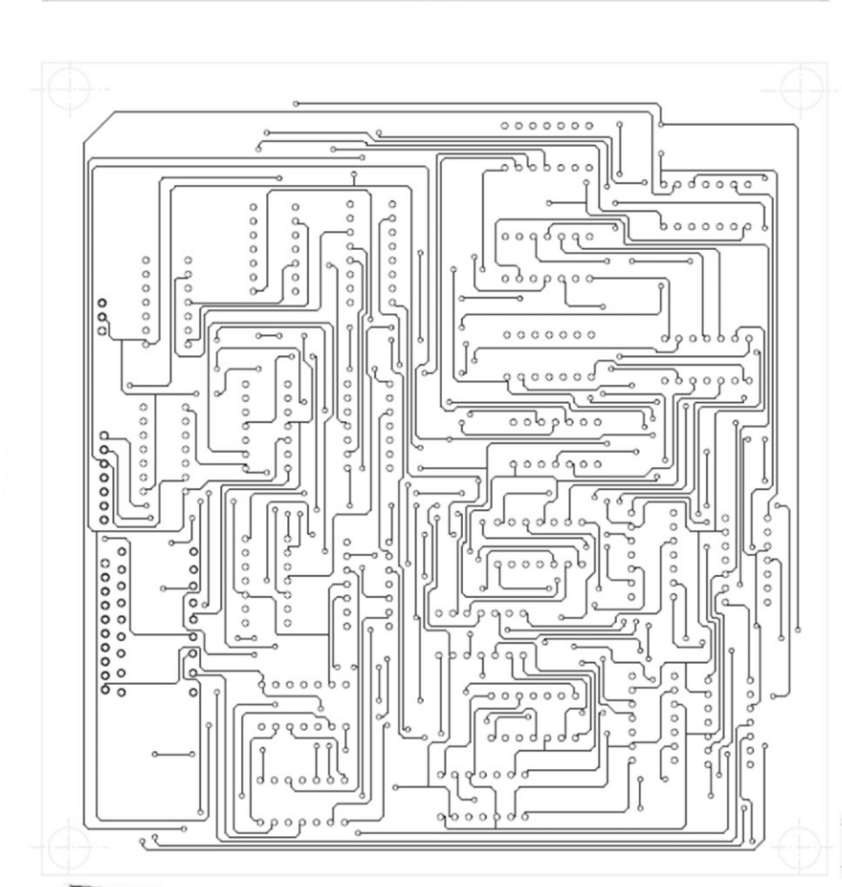
СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ



МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ В *MULTISIM*

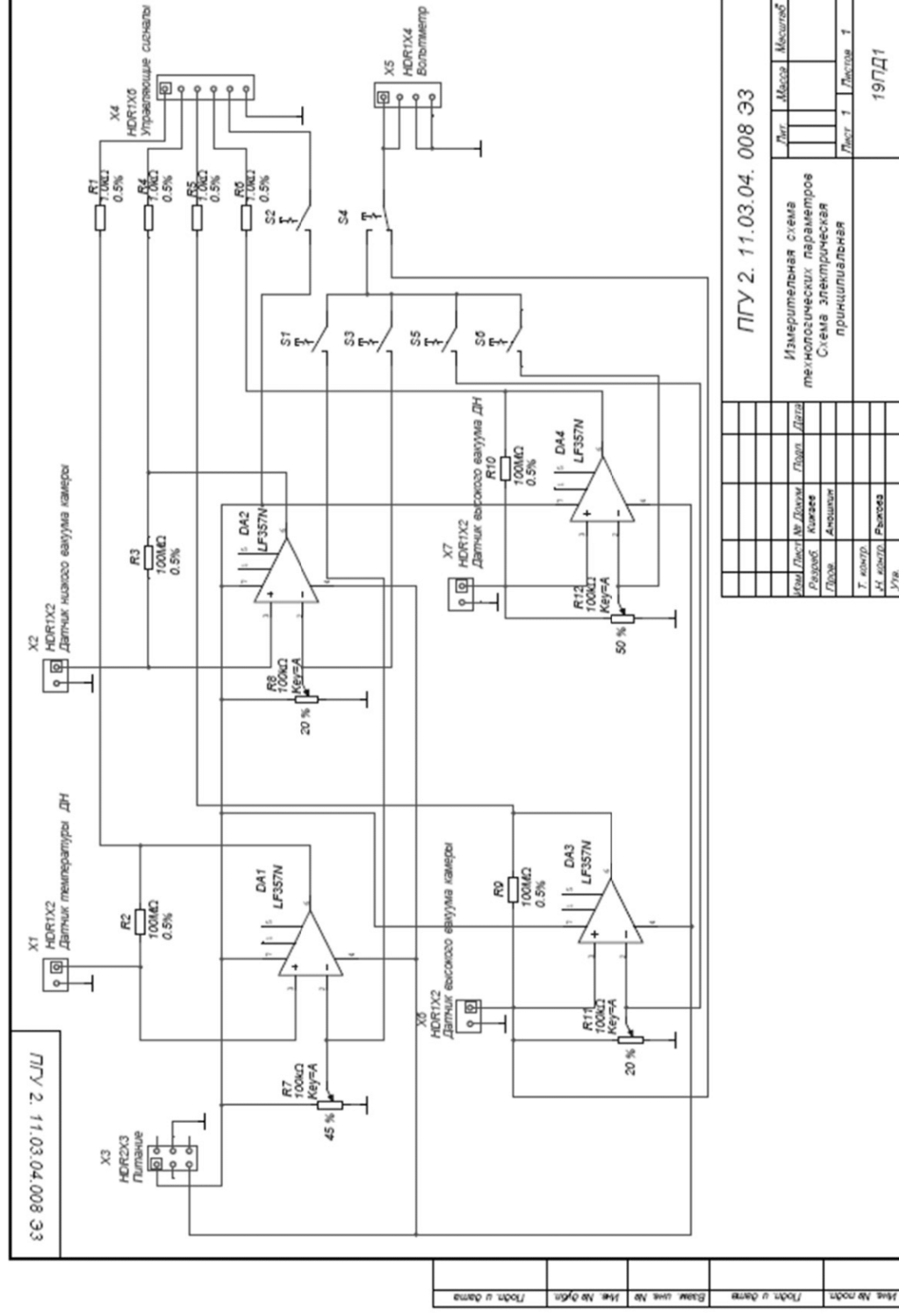


3D модель и послойные изображения платы автоматизированной системы создания и управления вакуумом

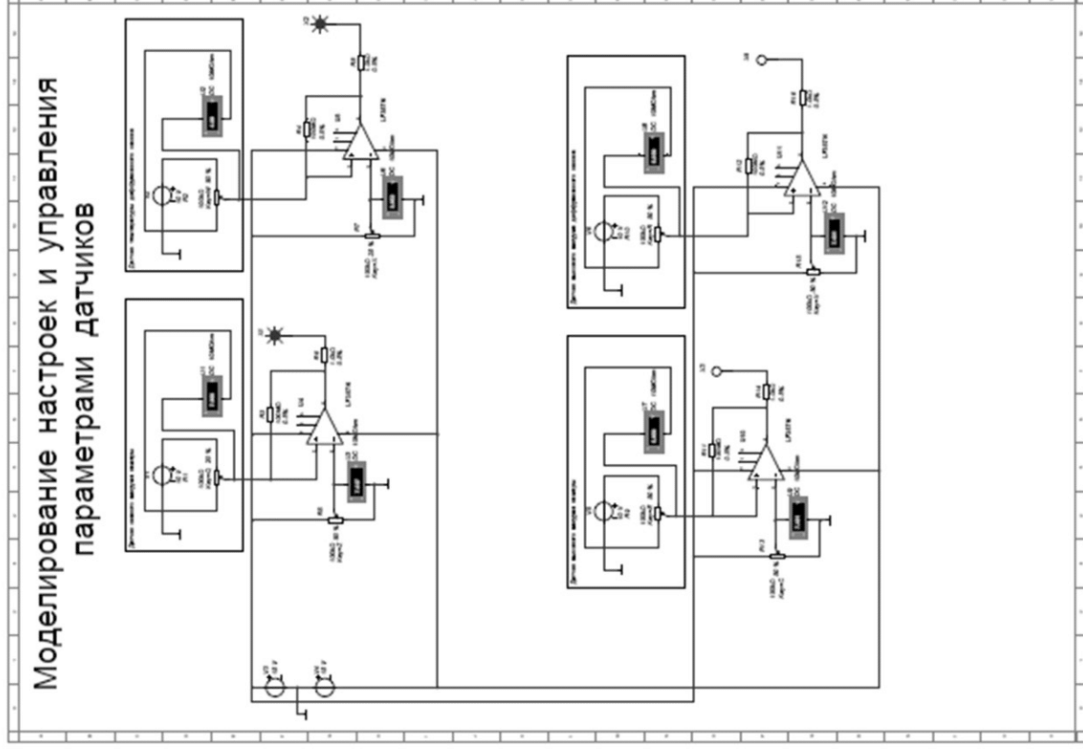


Изображение разводки компонентов
крупнолистовой печатной плате

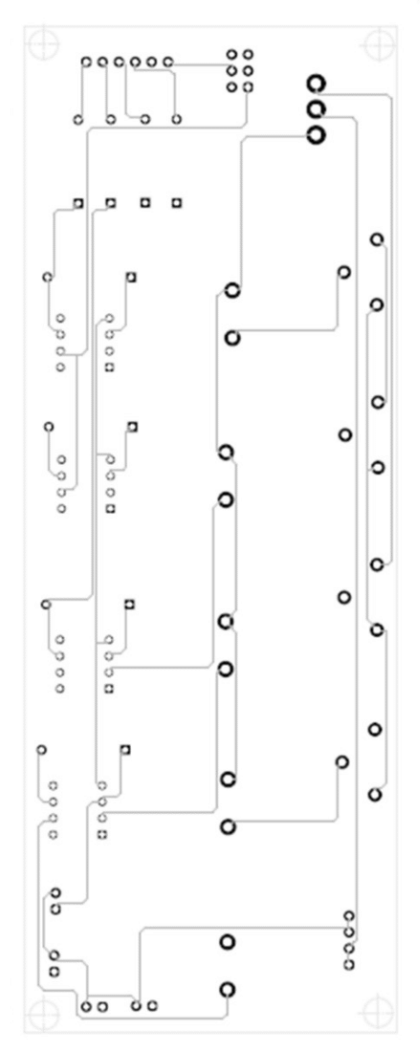
Схема электрическая принципиальная измерительного блока технологических параметров при создании вакуума



Моделирование работы измерительного блока технологических параметров при создании вакуума в *multisim*



3D модель и послойные изображения платы измерительного блока технологических параметров



Изображение внешнего слоя проводников на
Изображение расположения компонентов на
печатной плате измерительной схемы
печатной плате

ВЫВОДЫ:

1. Рассмотрены термические методы получения тонких пленок.
2. Рассмотрены различные способы получения резистивных пленок, для изделий микроэлектронной промышленности.
3. Разработана схема электрическая принципиальная и спроектирована печатная плата для автоматизированного создания и управления вакуумом для установки термического испарения в вакууме UVN-71 ПЗ.
4. Выполнено моделирование работы автоматизированной системы создания и управления вакуумом для поддержания технологического процесса создания резистивных пленок.
5. Разработана схема электрическая принципиальная и спроектирована печатная плата измерительного блока технологических параметров при создании резистивных пленок.
6. Проведено моделирование работы измерительного блока технологических параметров в процессе создания резистивных пленок.
7. Разработаны правила эксплуатации установки вакуумного напыления.

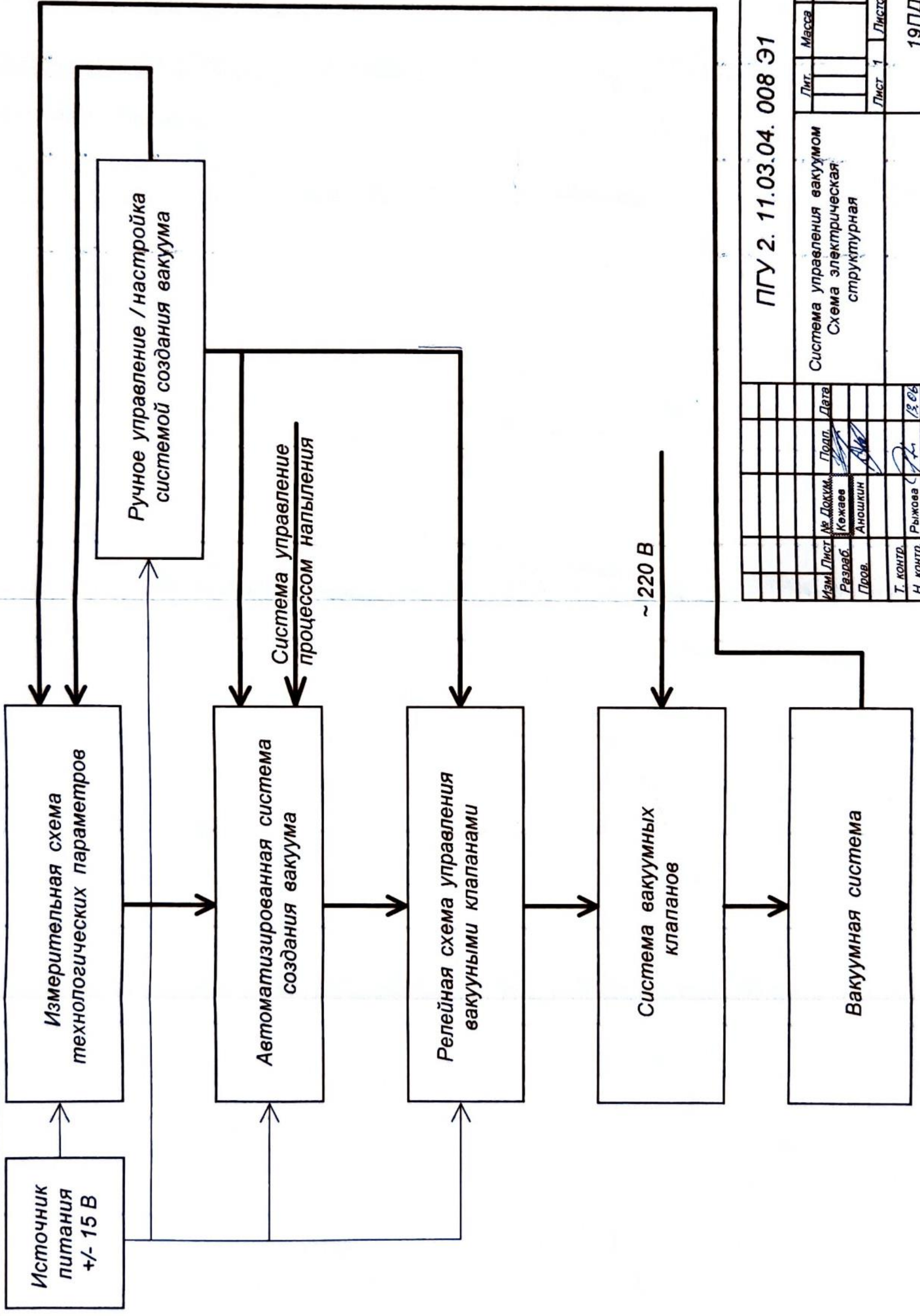
**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ**

Приложение Г
(Обязательное)
Графическая часть

					ПГУ.2.11.03.04.008ПЗ	Лист
						1
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата

ПГУ 2. 11.03.04. 008 Э1



ПГУ 2. 11.03.04. 008 Э1

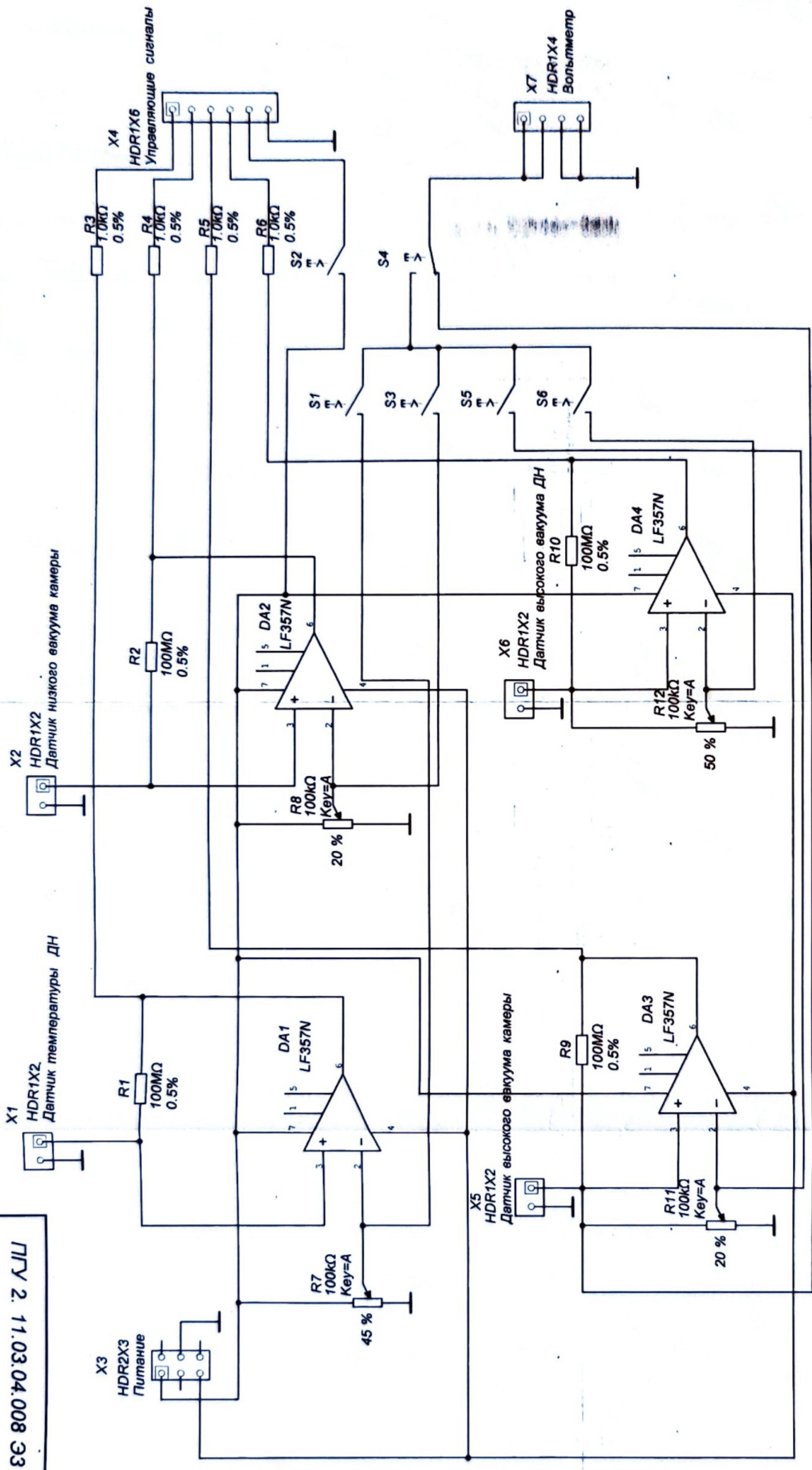
Изм. Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Кежеев		
Пров.	Аношкин		
Т. контр.			
Н. контр.	Рыжова		12.06
Утв.			

Лит.	Масса	Масштаб

Лист 1	Листов 1
--------	----------

19ПД1

Система управления вакуумом
Схема электрическая
структурная

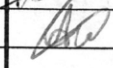
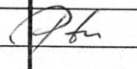


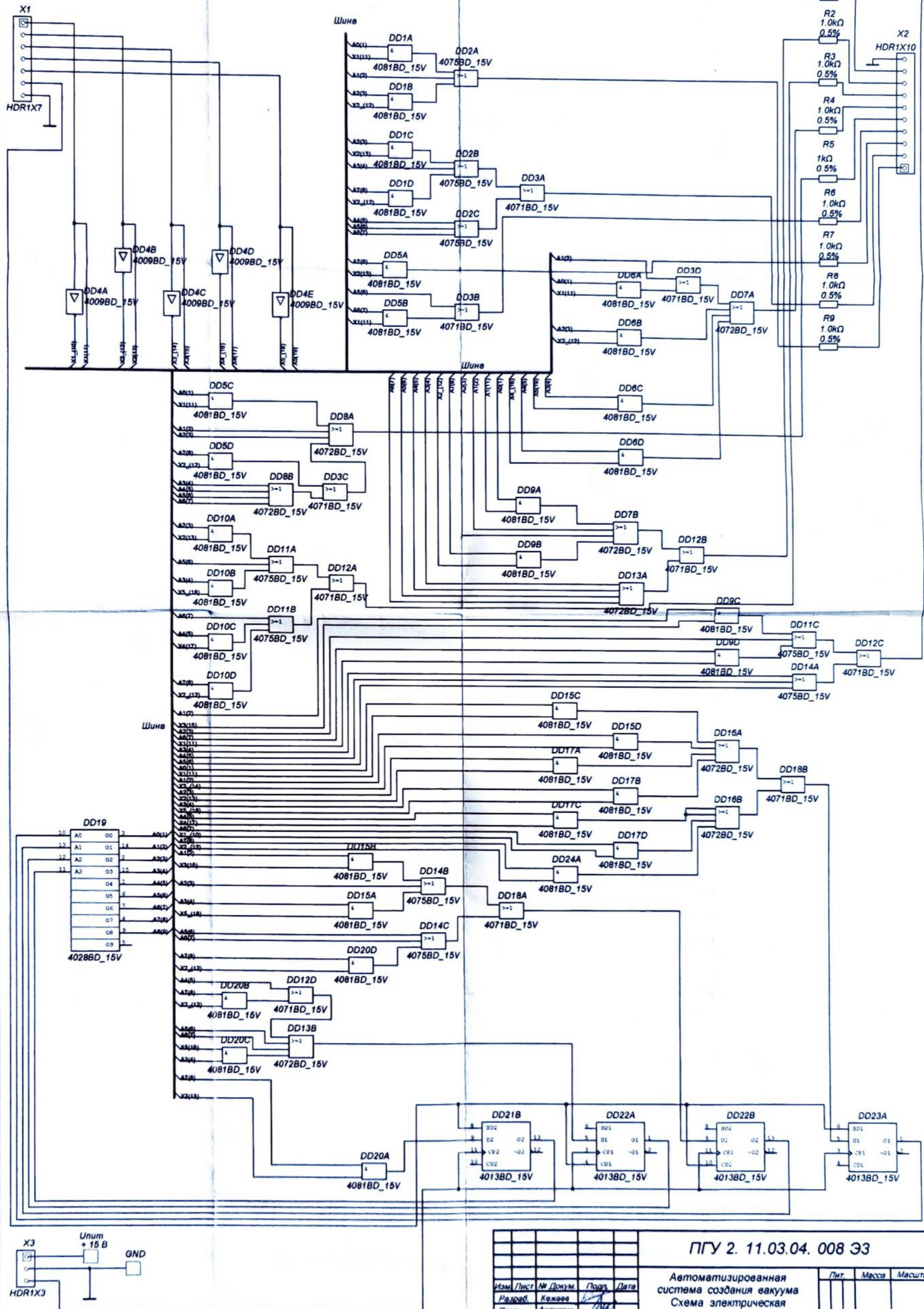
ПГУ 2. 11.03.04.008 ЭЗ

Изм. Лист		№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кежеев		
Пров.		Аношкин		
Т. контр.		Рыжова		20.06
Н. контр.				
Утв.				
Изм. Лист				
Масса				
Масштаб				
Лист 1				
Листов 1				
197Д1				

Измерительная схема
технологических параметров
Схема электрическая
принципиальная

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Схемы интегральные аналоговые</u>		
DA1 – DA4	LF357N	4	
	<u>Резисторы</u>		
R1, R2, R9, R10	C2 – 29B – 0,125 – 100МОм ± 0,5 % - 1,0 - А	4	
R3 – R5, R8	C2 – 29B – 0,125 – 1 кОм ± 0,5 % - 1,0 - А	4	
	<u>Потенциометры</u>		
R6, R7, R11, R12	СПЗ – 33 – 100кОм А	4	
	<u>Переключатели</u>		
S1 – S3, S5, S6	2контактный	5	
S4	3 контактный	1	
	<u>Соединения монтажные</u>		
X1, X2, X6, X5	Разъём HDR1X2	4	
X3	Разъём HDR2X3	1	
X4	Разъём HDR1X6	1	
X7	Разъём HDR1X4	1	

					ПГУ 2. 11.03.04.008ПЭЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Кежаев				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Аношкин					1	1
Н. Контр.	Рыжова			18.06.	Измерительная схема технологических параметров Перечень элементов		
Утв.							
					Группа 19ПД1		



ПГУ 2. 11.03.04. 008 Э3

Автоматизированная
система создания вакуума
Схема электрическая
принципиальная

Лит.	Масштаб	Масштаб
Лист 1	Листов 1	

19ПД1

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Схемы интегральные цифровые</u>		
DD1, DD5, DD6, DD9,	CMOS 4081BD	4	
DD2, DD11, DD14	CMOS 4075BD	3	
DD3, DD12, DD18	CMOS 4071BD	3	
DD4	CMOS 4009BD	1	
DD7, DD8, DD13, DD16	CMOS 4072BD	4	
DD10, DD15, DD17, DD20, DD24	CMOS 4081BD	5	
DD19	CMOS 4028BD	1	
DD21 – DD23	CMOS 4013BD	3	
	<u>Резисторы</u>		
R1 – R9	C2 – 29B – 0,125 – 1 кОм ± 0,5 % - 1,0 - А	9	
	<u>Соединения монтажные</u>		
X1	Разъём HDR1X7	1	
X2	Разъём HDR1X10	1	
X3	Разъём HDR1X3	1	

					ПГУ 2. 11.03.04.008ПЭЗ							
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Автоматизированная система создания вакуума Перечень элементов			Лит.	Лист	Листов		
Разраб.	Кежаев									1	1	
Провер.	Аношкин							Группа 19ПД1				
Н. Контр.	Рыжова			18.06								
Утв.												