

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа *Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности*  
 Направление подготовки *11.03.04 Электроника и наноэлектроника*  
 Отделение школы *электронной инженерии*

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
<b>Разработка газоанализатора для установки плазмохимического синтеза</b>
УДК 1: 543.27-047.84:544.556.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А8А	Кокшаров М.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Г.В.	к.т.н.		

Со-руководитель (по разделу «Концепция стартап-проекта»)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Ермушко Ж.А.	к.э.н		

#### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева И.И.	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Наталинова Н.М.	к.т.н		

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности.

ОПК(У)- 2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приёмы обработки и представления полученных данных.
ОПК(У)- 3	Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)- 4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)- 5	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
ПК(У)-2	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
ПК(У)-3	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
ПК(У)-4	Способен осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа *Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности*  
 Направление подготовки *11.03.04 Электроника и наноэлектроника*  
 Отделение школы *электронной инженерии*

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ В.С. Иванова  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1А8А	Кокшарову Михаилу Андреевичу

Тема работы:

Разработка газоанализатора для установки плазмохимического синтеза	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2022 № 33-13/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект проектирования: газоанализатор, состоящий из электрохимических и оптических газовых сенсоров. Режим работы: непрерывный. Устройство предназначено для измерения концентрации газов в воздушной среде с заданной периодичностью.</p> <p>Эксплуатация: отапливаемое закрытое помещение с нормальными условиями.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение современных газовых сенсоров</li> <li>2. Подбор сенсоров, удовлетворяющих по диапазону измеряемых концентраций</li> <li>3. Разработка принципиальной схемы</li> <li>4. Проектирование печатной платы и печатного узла</li> <li>5. Проектирование газовой камеры</li> <li>6. Написание программного кода</li> <li>7. Написание оконного приложения для компьютера</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>ФЮРА.400001.001ЭЗ          ФЮРА.400001.002СБ          ФЮРА.400001.003          ФЮРА.400001.004СП          ФЮРА.400001.005ЭЗ          ФЮРА.400001.006СБ          ФЮРА.400001.007          ФЮРА.400001.008СП</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>“Концепция СТАРТАП проекта”</b></p>	<p style="text-align: center;">Ермушко Жанна Александровна</p>
<p style="text-align: center;"><b>“Социальная ответственность”</b></p>	<p style="text-align: center;">Авдеева Ирина Ивановна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <p style="text-align: center;">-</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p style="text-align: center;">02.02.2022</p>
--	---

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p style="text-align: center;">Доцент ОЭИ</p>	<p style="text-align: center;">Арышева Г.В.</p>	<p style="text-align: center;">к.т.н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p style="text-align: center;">1А8А</p>	<p style="text-align: center;">Кокшаров М.А.</p>		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение школы **электронной инженерии**

Период выполнения \_\_\_\_\_ ( 02.02.2022 – 16.06.2022 ) \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

**бакалаврская работа**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.12.2021	<i>Раздел 1. Обзор принципов проектирования газоанализатора</i>	14
25.01.2022	<i>Раздел 2. Объект и методы исследования</i>	14
20.04.2022	<i>Раздел 3. Теоретический анализ при проектировании газоанализатора</i>	14
02.06.2022	<i>Раздел 4. Практическая реализация газоанализатора</i>	14
18.05.2022	<i>Раздел 5. Социальная ответственность</i>	15
01.06.2022	<i>Раздел 6. Концепция стартап-проекта</i>	15
02.06.2022	<i>Оформление ВКР</i>	14

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н.	Арышева Г.В.	Доцент ОЭИ		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «КОНЦЕПЦИЯ СТАРТАП-ПРОЕКТА»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А8А	Кокшарову Михаилу Андреевичу

<b>Школа</b>	ИШНКБ	<b>Направление</b>	11.04.03 Электроника и наноэлектроника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат		

<b>Перечень вопросов, подлежащих разработке:</b>	
<i>Проблема конечного потребителя, которую решает продукт, который создается в результате выполнения НИОКР (функциональное назначение, основные потребительские качества)</i>	Контроль воздушной среды реакторной зоны в процессе плазмохимического синтеза
<i>Способы защиты интеллектуальной собственности</i>	Коммерческая тайна, патентование
<i>Объем и емкость рынка</i>	Объем российского рынка: 67 млрд. руб. Объем мирового рынка (рынок Северной Америки): 521.2 млн. дол.
<i>Современное состояние и перспективы отрасли, к которой принадлежит представленный в ВКР продукт</i>	Отсутствие серийных газоанализаторов для установок плазмохимического синтеза
<i>Себестоимость продукта</i>	240000 рублей
<i>Конкурентные преимущества создаваемого продукта</i>	Одновременное измерение высоких концентраций семи газов; функция автонастройки сенсоров в процессе эксплуатации
<i>Сравнение технико-экономических характеристик продукта с отечественными и мировыми аналогами</i>	На основании конкурентных преимуществ
<i>Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта</i>	Химическая промышленность, эко-энергетика, мусоропереработка, научные лаборатории
<i>Бизнес-модель проекта</i>	Модель по А. Остервальду и И. Пинье
<i>Производственный план</i>	1 устройство в месяц
<i>План продаж</i>	1 устройство в месяц
<b>Перечень графического материала:</b>	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы</i>	Модель по А. Остервальду и И. Пинье, таблицы расчета бюджета проекта

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

Задание выдал консультант по разделу «Концепция стартап-проекта» (со-руководитель ВКР):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.э.н	Ермушко Ж.А.	доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А8А	Кокшаров М.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
1А8А		Кокшаров Михаил Андреевич	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение электронной инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/ специальность</b>	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Тема ВКР:

<b>Разработка газоанализатора для установки плазмохимического синтеза</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b>	<p><i>Объект исследования:</i> газоанализатор, состоящий из электрохимических и оптических газовых сенсоров</p> <p><i>Область применения:</i> энергетика, экология, переработка отходов, научные исследования</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория, производственное помещение</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 8×15 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> установка плазмохимического синтеза, вытяжка, ПК.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> испытание газоанализатора при работе установки плазмохимического синтеза, калибровка показаний приборов при помощи газовых смесей эталонной концентрации</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b><u>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</u></b>	<p>ТК РФ СанПиН 1.2.3685-21 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ ТИ Р М-075-2003 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ ГОСТ 12.2.032-78 СП 52.13330.2016 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ НПБ 105-03 Конституция Российской Федерации</p>
<b><u>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</u></b>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаток искусственного освещения;</li> <li>2. Повышенный уровень электромагнитных полей;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>4. Неудовлетворительный микроклимат;</li> <li>5. Нервно-психические перегрузки;</li> <li>6. Статические физические перегрузки;</li> <li>7. Вредные вещества при пайке;</li> <li>8. Повышенный уровень вибраций;</li> </ol> <p><b>Опасные факторы:</b></p>



	1. Ожоги; 2. Поражение электрическим током; 3. Короткое замыкание; 4. Повышенный уровень электростатических полей; <b>Требуемые средства индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> Защитные очки Рабочее место должно быть оборудовано воздушной вытяжкой
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<b>Воздействие на селитебную зону:</b> производство приборов для электрической промышленности – 4 класс опасности производства. Размер санитарно-защитной зоны: 100 м <b>Воздействие на гидросферу:</b> загрязнение сточных вод оловом и свинцом при утилизации отходов пайки; продукты жизнедеятельности персонала. <b>Воздействие на литосферу:</b> загрязнение почв оловом и свинцом при утилизации отходов пайки, утилизация люминесцентных ламп, макулатуры, микросхем отработавшего оборудования; <b>Воздействие на атмосферу:</b> испарения вредных веществ при пайке (пары олова и свинца, канифоли).
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<b>Возможные ЧС:</b> Природные катастрофы (наводнения, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (пожар, взрыв); <b>Наиболее типичная ЧС:</b> Пожар вследствие короткого замыкания.
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А8А	Кокшаров Михаил Андреевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 95 страниц, 46 рисунков, 12 таблиц, 74 источника литературы, 9 приложений.

Ключевые слова: плазмохимический синтез, реактор, газоанализатор, концентрация, ppm.

Объектом исследования является газоанализатор, состоящий из электрохимических и оптических газовых сенсоров.

Целью работы является разработка и проектирование газоанализатора, написание программного кода работы устройства.

В процессе исследования произведено изучение существующих газовых сенсоров и подробное изучение принципа работы электрохимических газовых сенсоров. Выполнено синтезирование электрической схемы газоанализатора и трассировка печатных плат, а также проектирование корпуса устройства.

В результате исследования были получены: электрические принципиальные схемы газоанализатора, печатные платы газоанализатора.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: измерение концентрации семи газов в воздушной среде, а также температуры и влажности воздуха, отображение информации о концентрациях и параметрах окружающего воздуха на дисплее и на ПК.

Область применения устройства – экологическая энергетика и мусоропереработка, химическая технология: промышленный пиролиз

Экономическая эффективность: устройство обладает широким функционалом и малой стоимостью, в сравнении с представленными на рынке аналогами.

В будущем планируется изготовление прототипа устройства с применением выбранных газовых сенсоров, испытания устройства при реальных процессах

## Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор принципов проектирования газоанализатора .....	16
1.1 Исследование применяемого в установке газоанализатора .....	16
1.2 Теоретические основы проектирования газоанализаторов .....	17
1.3 Анализ технических требований, предъявляемых к приборам газоанализа	20
1.4 Способы повышения качества измерений.....	21
1.5 Характеристика газовых сенсоров .....	24
1.5.1 Электрохимический сенсор.....	25
1.5.2 Термохимический сенсор .....	26
1.5.3 ИК-оптический сенсор.....	27
1.5.4 Фотоионизационный сенсор .....	28
1.5.5 Преимущества и недостатки различных газовых сенсоров.....	29
2 Объект и методы исследования .....	31
3 Теоретический анализ при проектировании газоанализатора.....	33
3.1 Анализ и подбор компонентов устройства.....	33
3.1.1 Подбор газоаналитических сенсоров .....	33
3.1.2 Подбор разъемов для сенсоров .....	36
3.1.3 Подбор газовых насосов .....	37
3.1.4 Подбор микроконтроллера .....	38
3.1.5 Подбор датчика температуры и влажности.....	38
3.2 Разработка структурной схемы.....	39
3.3 Проектирование источника питания аппаратуры.....	41
3.3.1 Расчет мощности источника питания .....	43
3.3.2 Расчет индуктивности обмоток дросселя .....	44
3.3.3 Выбор входного фильтра.....	44
3.4 Разработка принципиальной схемы .....	45
3.4.1 Анализ работы схемы газового сенсора .....	46
3.4.2 Разработка принципиальной схемы плат интерфейса сенсоров .....	47

4 Практическая реализация газоанализатора .....	52
4.1 Разработка моделей печатных плат аппаратуры газоанализатора.....	52
4.1.1 Проектирование коннекторов для сенсоров.....	52
4.1.2 Проектирование моделей сенсоров.....	52
4.1.3 Проектирование платы интерфейса сенсоров.....	54
4.2 Проектирование изоляционной наклейки на сенсоры .....	56
4.3 Проектирование платы питания и микроконтроллера.....	58
4.4 Разработка программы микроконтроллера устройства.....	60
4.5 Разработка оконного приложения.....	61
4.6 Результаты экспериментов.....	61
5 Социальная ответственность .....	64
5.1 Введение.....	64
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	64
5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	64
5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	65
5.3 Производственная безопасность.....	65
5.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	67
5.4 Экологическая безопасность.....	72
5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	72
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС .....	73
5.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	75
6 Концепция стартап проекта .....	76
6.1 Введение.....	76
6.2 Проблема конечного потребителя.....	76
6.3 Защита интеллектуальной собственности .....	77
6.4 Объем и емкость рынка .....	77
6.5 Современное состояние и перспективы отрасли .....	78
6.6 Конкурентные преимущества разрабатываемого продукта .....	80

6.7 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта .....	80
6.8 Планируемая стоимость продукта.....	81
6.9 Бизнес-модель проекта .....	82
6.10 Производственный план и план продаж.....	83
6.11 Стратегия продвижения продукта на рынок .....	84
Заключение .....	85
Список использованных источников .....	86
Приложение А ФЮРА.400001.001ЭЗ Схема платы питания и микроконтроллера .....	96
Приложение Б ФЮРА.400001.002СБ Сборочный чертеж платы питания и микроконтроллера.....	98
Приложение В ФЮРА.400001.003 Печатная плата питания и микроконтроллера .....	100
Приложение Г ФЮРА.400001.004СП Перечень элементов платы питания и микроконтроллера.....	102
Приложение Д ФЮРА.400001.005ЭЗ Схема платы интерфейса сенсоров.....	108
Приложение Е ФЮРА.400001.006СБ Сборочный чертеж платы интерфейса сенсоров.....	110
Приложение Ж ФЮРА.400001.007 Печатная плата интерфейса сенсоров .....	112
Приложение И ФЮРА.400001.008СП Перечень элементов .....	114
Приложение К Бизнес-модель .....	118

## Введение

Одно из направлений современной науки и техники – это создание новых материалов. Наиболее передовая область развития материаловедения связана с разработкой наноматериалов – графена и нанотрубок. В Томском Политехническом университете активно занимаются исследованиями в области синтеза наноматериалов в воздушной среде с помощью плазмохимического реактора [1]. Ключевые направления такой деятельности – синтез нанопорошков и карбидов [2], утилизация сложно перерабатываемых отходов с помощью пиролиза [3].

Одним из направлений модернизации установки плазменного синтеза является разработка газоаналитической системы, способной оценивать состав газовой среды в процессе проведения опытов на установке. Данная информация крайне необходима для исследований, так как по определенным компонентам газовой среды судят о результате проведения синтеза [4,5]. В Российской Федерации существуют множество Отечественных и зарубежных газоанализаторов, принятых как утвержденные средства измерений [6], однако многие из них не обладают достаточными техническими характеристиками для использования в плазмохимическом реакторе.

Актуальность работы заключается в разработке прибора, значительно улучшающего качество проводимых на установке плазмохимического синтеза опытов. Информация о газовой среде позволит точнее регулировать ход эксперимента, прогнозировать результаты синтеза по проявлениям определенных заранее известных газов.

Целью данной работы является разработка газоанализатора для установки плазмохимического синтеза.

Основные задачи, которые необходимо решить в данной работе:

- Изучить основы проектирования газоаналитических систем
- Проанализировать существующие газовые сенсоры и подобрать необходимые газовые датчики

- Разработать микроконтроллерную систему управления прибором
- Спроектировать систему питания аппаратуры, входящей в газоанализатор
- Создать программу работы компьютерного приложения для отображения и сохранения результатов измерений
- Спроектировать корпус устройства.

Объект исследования: газоанализатор, состоящий из электрохимических и оптических газовых сенсоров.

Предмет исследования: проектирование газоанализатора, повышение качества измерений газоанализатора.

Практическая новизна данной работы заключается в разработке нового прибора, предназначенного для установки плазмохимического синтеза.

Практическая значимость результатов работы: разрабатываемый газоанализатор применяется в реальной научной установке

Реализация и апробация работы: XXVII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2022», доклад “Разработка платы управления газоанализатора для установки плазмохимического синтеза”

## 1 Обзор принципов проектирования газоанализатора

### 1.1 Исследование применяемого в установке газоанализатора

На данный момент контроль газовой среды в ходе экспериментов осуществляется газоанализатором компании “Бонэр” (г. Новосибирск) [7]. На рисунке 1 представлен внешний вид используемого в эксперименте прибора.



Рисунок 1 – Внешний вид газоанализатора Бонэр [7]

Газоанализатор содержит в себе различные сенсоры, по которым последовательно проходит газовая проба. Данные с сенсоров обрабатываются на микроконтроллере и далее выводятся на дисплей или передаются на компьютер по интерфейсу RS-232. Устройство оборудовано необходимыми пылевыми фильтрами, расходомером, источником питания.

Программное обеспечение газоанализатора позволяет производить калибровку сенсоров и рабочие измерения, а также проводить коррекцию данных о газах с учетом параметров среды: температуры и влажности окружающего воздуха, атмосферного давления. В таблице 1 приведены основные технические характеристики устройства используемой модели газоанализатора.



Таблица 1 – Технические характеристики газоанализатора Бонэр [7]

1	Диапазон измерения концентрации	O <sub>2</sub>	0 – 21 % об.
		H <sub>2</sub>	0 – 40 % об.
		CO	0 – 60 % об.
		CO <sub>2</sub>	0 – 30 % об.
		CH <sub>4</sub>	0 – 30 % об.
2	Предел допускаемой основной относительной погрешности	±5%	
3	Время установления показаний	5 с	
4	Время прогрева	45 мин	
5	Напряжение питания	220 В	
6	Токовое потребление	Среднее	400 мА
		Максимальное	2 А
7	Цифровой выход	RS232	
8	Габаритные размеры (мм)	460×340×170	
9	Масса, кг	не более 7 кг	

Разрабатываемый газоанализатор будет обладать схожими характеристиками по диапазонам измерения концентраций и предельной относительной погрешности, а также улучшенными характеристиками по количеству газов, времени прогрева и массо-габаритными параметрам.

## 1.2 Теоретические основы проектирования газоанализаторов

Газоанализатор – это прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Методы газоанализа основаны на измерении свойств среды по физическо-химическим параметрам (электропроводности, магнитовосприимчивости, оптической плотности, коэффициенту рассеяния, теплопроводности) величина которых пропорционально зависит от концентраций определяемых компонентов [8].

Ключевой элемент газоаналитической системы – это газовый сенсор, позволяющий проводить преобразование физических величин: концентрации газа в электрический сигнал. На сегодняшний день все газовые сенсоры принято разделять по нескольким категориям в зависимости от принципа их

функционирования [8,9]. На рисунке 2 приводится условное разделение методов анализа газов и соответствующие им типы газовых сенсоров.

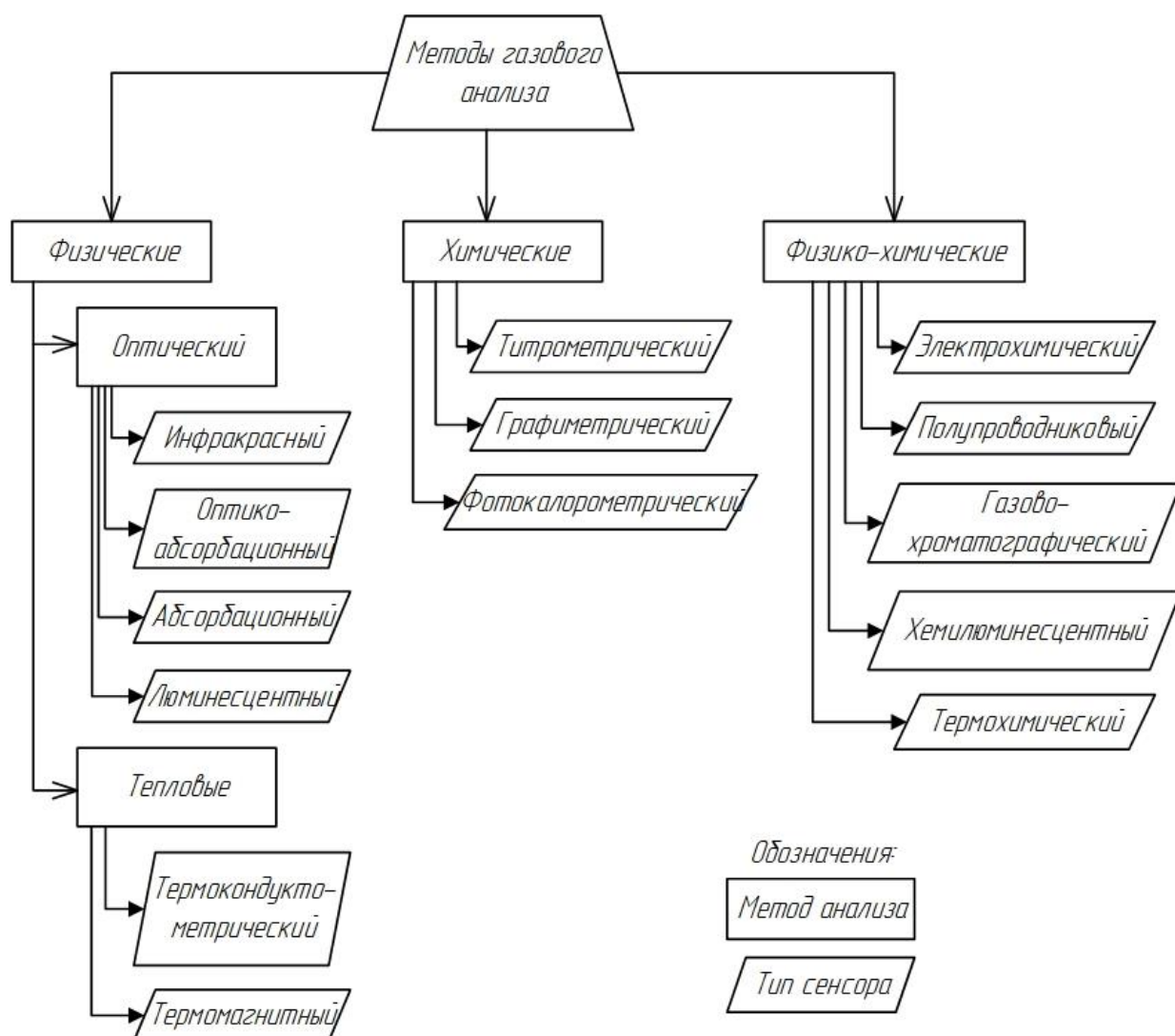


Рисунок 2 – Типы газовых сенсоров по методам анализа

Также газоанализаторы разделяют на переносные и стационарные. Переносные (портативные) газоанализаторы обычно применяют для экологического контроля и мониторинга загрязнения атмосферы, с возможностью ручной транспортировки внутри исследуемого пространства. Стационарные газоаналитические системы применяют на установках в рабочей зоне промышленных заводов и комбинатов, нефтегазодобывающих предприятиях с целью производить постоянные или достаточно частые периодические измерения концентрации веществ и кислорода в промышленной зоне для сохранения необходимого уровня чистоты воздуха. Стационарные

газоанализаторы используют в котельных, холодильных установках, промышленных зонах, печах обжига.

На основе технической документации на газоанализаторы “Промэкоприбор” [10] можно сформулировать некоторые технологические особенности, которыми обладают современные промышленные и научно-исследовательские газоанализаторы:

– В целях увеличения точности измерений, каналы измерений некоторых газов дублируют для мониторинга “низких” и “высоких” концентраций. Высокая точность при измерении “низких” и “высоких” концентраций достигается за счет применения парных измерительных каналов с разными диапазонами измерений [10].

– Следует располагать в приборе как минимум два пробоотборных насоса: один насос для принудительной подачи газовой пробы в кювету датчиков, и дополнительный насос для технологической продувки атмосферным воздухом датчиков [10].

Также при разработке газоанализатора в данной работе следует уделить внимание следующему:

– Прибор должен собирать данные, поступающие с сенсоров, и выводить их на дисплей, а также передавать данные на ПК по интерфейсу USB.

– Прибор должен быть пригодным к модификациям и ремонту: в случае выхода из строя одного или нескольких газовых сенсоров, или при калибровке прибора необходимо обеспечить несложный доступ к узлам устройства.

– Прибор должен быть переносным, а значит обладать как можно меньшими массогабаритными параметрами и достаточно прочным герметичным корпусом.

– Газ, поступающий в сенсоры, должен быть охлажденным, так как на выходе из реактора он обладает температурой, превышающей предельные значения температуры существующих сенсоров. Предполагается, что газ способен охлаждаться посредством естественного теплообмена из-за низкой теплоемкости.

– Газ должен принудительно отбираться из реакторной среды с помощью воздушного насоса, так как реакторная зона мала и закрыта для размещения газоанализатора в непосредственной близости.

– Прибор должен измерять и отображать параметры воздуха в помещении, где производится эксперимент: температуру и влажность. Это необходимо для правильной калибровки показаний сенсоров газоанализатора.

### **1.3 Анализ технических требований, предъявляемых к приборам газоанализа**

В государственном стандарте [11] с требованиями, предъявляемыми к газоанализаторам на территории Российской Федерации, существует классификация газоаналитических приборов по различным признакам, согласно которой утверждают требования к конструкции и функционалу газоанализаторов:

– Обязательна реализация команд на переключение диапазонов измерений, корректировки нуля, контроля работоспособности и измерения в автоматическом режиме управления.

– Объем переносных газоанализаторов должен быть не более 0,03 м<sup>3</sup>, масса не более 10 кг.

– Газоанализатор обладает следующими метрологическими характеристиками: диапазон измерений, основная и дополнительная (вызванная изменением влияющей величины в пределах рабочих условий) погрешности, вариация выходного сигнала (показаний), изменение выходного сигнала (показаний) за регламентированный интервал времени, время установления выходных сигналов (показаний), чувствительность.

## 1.4 Способы повышения качества измерений

Методы анализа газообразных химических соединений основаны на том, что конкретное вещество обладает ярко выраженными физико-химическими свойствами (массовое число, магнитные и электрические свойства, химические особенности строения и поведения молекул) [8]. Однако в действительности многие вещества обладают схожими свойствами, что является главным фактором снижения точности измерений состава среды.

Один из методов увеличения качества измерений – это повышение избирательности измерения с помощью установки специальных фильтров. Такие фильтры абсорбируют некоторые соединения, измерение концентрации которых не производится, таким образом, в тело сенсора проникают лишь необходимые газы [8].

Альтернативный способ повышения качества измерений является дифференциальный способ измерения. Принцип основан на том, что один из датчиков измеряет среду, содержащую и “полезный” и “мешающий” газ, а второй – среду, только содержащую “мешающий” газ. Таким образом можно избавляться, например, от влияния воздуха на показания сенсоров. Вычитая величины полученных выходных характеристик не только исключается влияние на показания “мешающей” среды, но и значительно снижается влияние температуры окружающей среды на результаты измерений. Очевидный минус такого способа организации измерений – необходимость в дополнительном датчике, пропорционально увеличивающем конечную стоимость прибора [9].

Дополнительным способом снижения погрешности измерений является определение разных свойств среды в совокупности. Например, совместное исследование теплопроводности, удельного заряда, способности поглощения излучения определенного спектра.

Сигналы, формируемые электрохимическими датчиками, изменяются очень медленно, и для снижения уровня шумов можно их фильтровать. В качестве фильтра можно использовать простой пассивный НЧ-фильтр (RC-

цепочку) или активный фильтр, реализованный на дополнительном операционном усилителе либо на незадействованном канале ОУ, если таковой имеется. Частота среза такого фильтра может быть очень маленькой, вплоть до 1 Гц, поскольку она должна быть сопоставима со временем реакции датчика. Это время реакции обычно составляет десятки секунд и в документации на датчик обозначается как  $T_{90}$  [12].

Среди прочих методов, в современности применяются устройства, работающие с применением искусственных нейронных сетей, однако такой способ значительно повышает сложность и дороговизну разработки и изготовления устройства. Например, нейросеть целесообразно применять в системе сенсоров, образующей матричную структуру, где каждый из сенсоров обладает различной восприимчивостью к конкретным газам [8].

При работе с электрохимическими датчиками большим влиянием на показания концентрации обладает температура детектируемой среды и влажность воздуха. Повышение качества измерений достигается с помощью синтеза аналитической зависимости концентрации газа (ppm) из графиков, приведенных в документации на конкретный сенсор [13]. На рисунке 3 приводится характеристика чувствительности сенсора MQ-4, а на рисунке 4 отображена преобразованная характеристика в линейном масштабе, построенная с помощью программного пакета Graph [13]. На рисунках 3 и 4 параметр  $R_s$  – измеряемое в ходе опыта сопротивление датчика,  $R_o$  – опорное сопротивление датчика, взятое при концентрации целевого газа 1000 ppm.

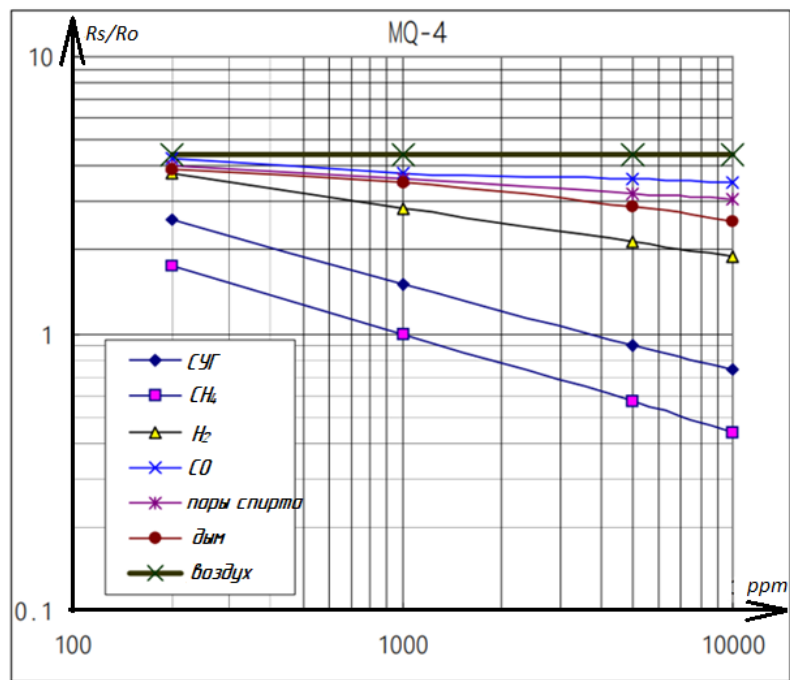


Рисунок 3 – Характеристика чувствительности датчика MQ-4 [13]. Графики зависимости величины ( $R_s/R_o$ ) от концентрации (ppm) приведены при параметрах среды: температура воздуха 20°C, влажность 65%, концентрация кислорода 21%

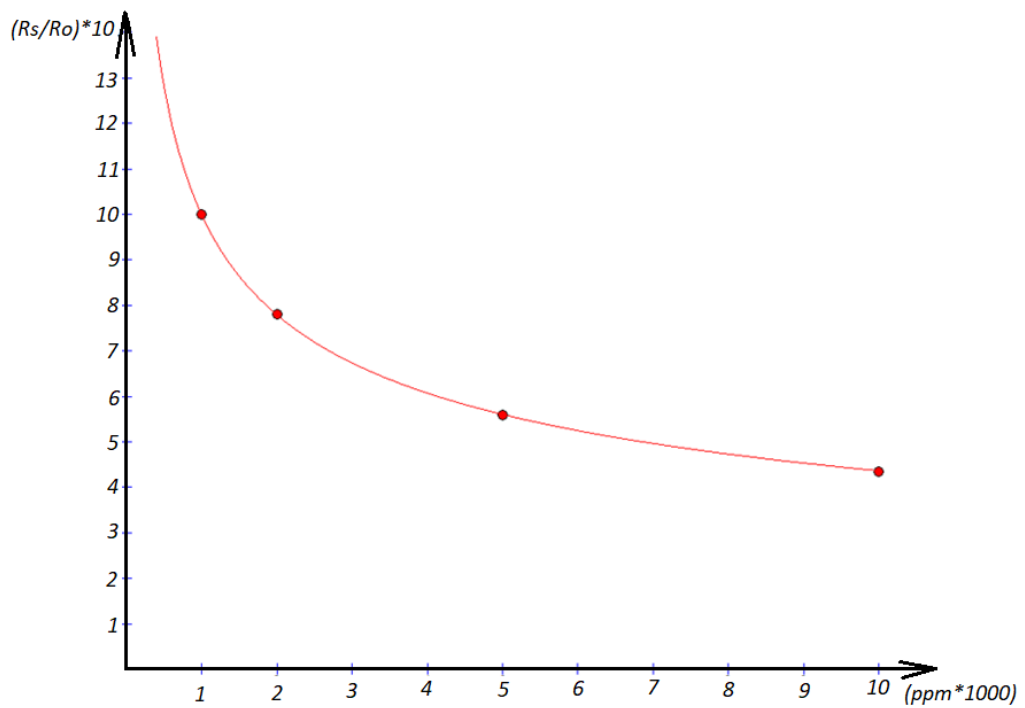


Рисунок 4 – Преобразование характеристики чувствительности датчика MQ-4 по метану к линейному масштабу [13]

На основании преобразованной характеристики синтезируется аналитическая форма характеристики концентрации от соотношения ( $R_s/R_o$ ) [13]. В формуле (1)  $ppm$  – концентрация анализируемого газа, ( $R_s/R_o$ ) – измеряемый показатель.

$$ppm = \left( \frac{10}{(R_s/R_o) \cdot 10} \right)^{\frac{1}{0,36}} \cdot 1000. \quad (1)$$

Далее аналогичным образом следует вывод формулы для термокомпенсации соотношения ( $R_s/R_o$ ). В итоге матмодель, описывающая зависимость значения ( $R_s/R_o$ ) от температуры и влажности среды имеет вид, как в формуле 2.

$$(R_s/R_o) = \frac{\left( 0,83 \cdot \left( \frac{T + (20 - T_{cal})}{10} \right)^2 \right) - 9,2 \cdot \left( \frac{T + (20 - T_{cal})}{10} \right) + 25 - (0,3 \cdot H) + (0,3(H_{cal} - 33))}{100}, \quad (2)$$

где:  $T$  – температура газовой среды в процессе эксперимента

$T_{cal}$  – температура среды при калибровке

$H$  – значение влажности в процессе эксперимента, в абсолютной доле

$H_{cal}$  – влажности при калибровке, в процентах

Итоговая формула справедлива для множества электрохимических датчиков серии MQ и TGS, что позволяет значительно повышать точность измерений, при применении этих сенсоров [13]. Однако, стоит учитывать, что характеристики конкретных датчиков разнятся друг от друга, и следует проводить вышеописанный алгоритм по отдельности для каждого применяемого сенсора.

## 1.5 Характеристика газовых сенсоров

В ходе исследования распространенности конкретных видов газовых датчиков выявлено, что наибольшее распространение в России имеют датчики, основанные на термохимическом, оптическом, электрохимическом принципе измерения [14]. Далее приводится принцип работы и основные характеристики



таких датчиков, а также анализ плюсов и минусов непосредственного применения их в реальных устройствах.

### **1.5.1 Электрохимический сенсор**

Механизм действия такого сенсора заключается в электрохимическом методе определений массовых концентраций различных газовых веществ посредством электролиза. В качестве чувствительного элемента выступает электрохимическая ячейка: “рабочий” электрод из благородного металла (платина/палладий/золото) диффундирует с контролируемым газом и в процессе высвобождается порция электронов, которые формируют сигнал постоянного тока. Также в устройстве присутствуют референсный и интегрирующий электроды, размещенные в пластиковом корпусе с электролитом. Опорный электрод служит для поддержания нужного для линейной работы сенсора потенциала рабочего электрода относительно счётного электрода. Компенсирующий электрод уравнивает химическую реакцию, происходящую на рабочем электроде. Его цель – скомпенсировать выделенные при реакции с газом в электролит ионы. При реакции между рабочим и противовесным электродом возникает электрический ток. Ток, возникающий в ходе химических реакций на рабочем и интегрирующем электродах, пропорционален концентрации измеряемого газа [9,14]. На рисунке 5 приводится иллюстрация структуры сенсора и его выходная характеристика.

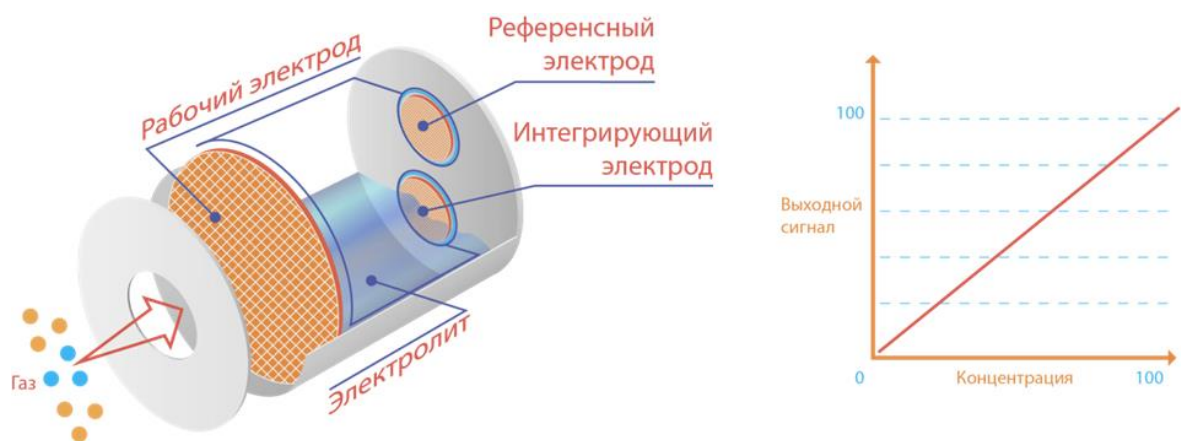


Рисунок 5 – Устройство и характеристика электрохимической сенсорной ячейки [15]

Современные датчики имеют на борту встроенную EEPROM или Flash-память. Также некоторые датчики оснащают встроенным термодатчиком, благодаря которому происходит автокалибровка выходных данных. Также обязательным элементом таких сенсоров является селективный фильтр, пропитанный особым веществом для соединения с газами, к которым имеется перекрестная чувствительность у электрохимического сенсора [15].

### 1.5.2 Термохимический сенсор

Это весьма распространенный тип датчика, принцип работы которого основан на вычислении количества тепла, выделяемого при сгорании горючего газа или паров углеводородов на активном элементе сенсора (катализаторе). Датчик состоит из двух чувствительных элементов – рабочего и компенсирующего. Рабочий элемент представляет собой спираль из драгоценного металла (как правило, платины) и катализатора, чувствительного к горючим газам. Нить, помещенная в измерительную камеру, прогревается вследствие протекания по ней тока и меняет свое сопротивление. От окисления веществ на поверхности нити, последняя испытывает дополнительный нагрев. Для сравнения величин применяется вторая нить, с таким же “холодным”

сопротивлением, находящаяся в воздухе. Эти две нити и еще два сопротивления образуют неуравновешенный мост. По разбалансировке моста судят о концентрации горючих компонентов в газовой среде [9,15]. На рисунке 6 приводится иллюстрация структуры сенсора и его выходная характеристика.

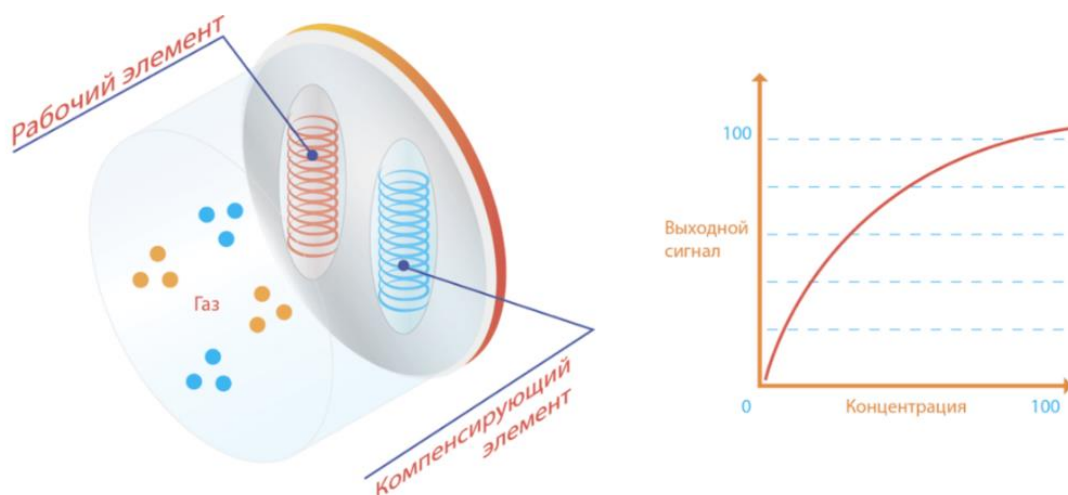


Рисунок 6 – Устройство и характеристика термохимической сенсорной ячейки [15]

### 1.5.3 ИК-оптический сенсор

Инфракрасный принцип измерения основан на том, что многие газы поглощают инфракрасные лучи. Каждый газ имеет свой определенный спектр поглощения, за исключением инертных газов, а также водорода, кислорода, азота и хлора. Сенсор состоит из источника ИК-света и датчика, между которыми установлены оптический фильтр и измерительная ячейка. Поступая в измерительную ячейку, газ поглощает некоторое количество инфракрасного света, а датчик при этом фиксирует снижение интенсивности поступающего ИК-света и на базе известной зависимости (калибровочной кривой) генерирует выходной сигнал. Несмотря на то, что зависимость не линейная, она хорошо

определена производителями датчиков. На рисунке 7 приводится иллюстрация структуры сенсора и его выходная характеристика.

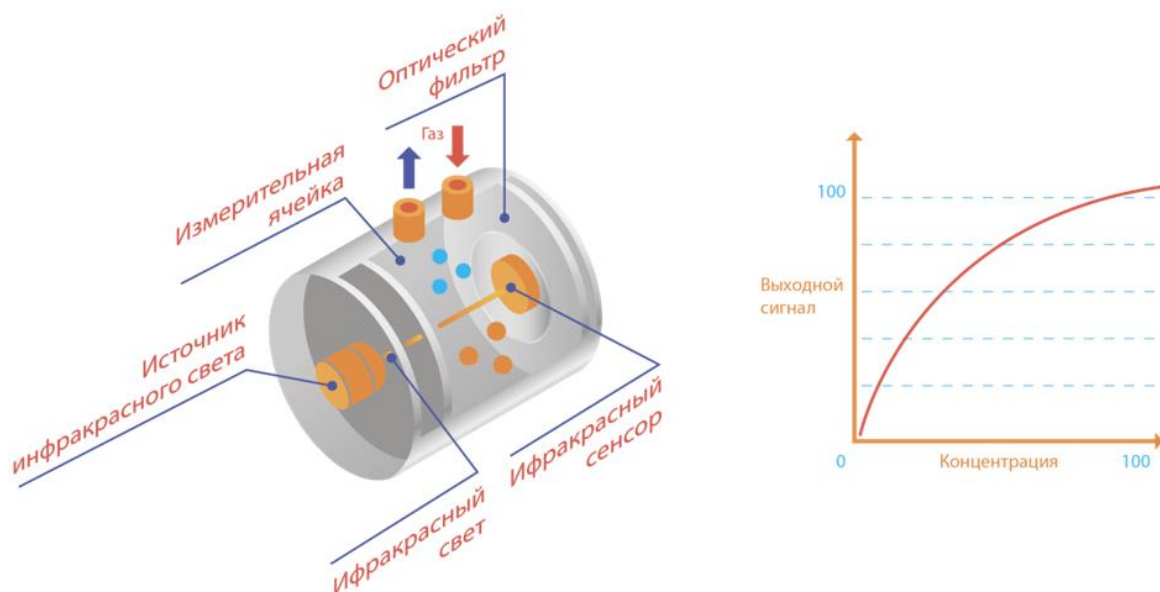


Рисунок 7 – Устройство и характеристика инфракрасной оптической сенсорной ячейки [15]

#### 1.5.4 Фотоионизационный сенсор

В фотоионизационных датчиках измеряемый газ ионизируется с помощью ультрафиолетового света, а это, в свою очередь, приводит к возникновению электрического тока. Когда газ попадает в ионизационную камеру, он подвергается воздействию УФ-света, под воздействием которого газ начинает терять электроны и генерировать катионы (положительные ионы). Электроны и катионы, в свою очередь, притягиваются катодом и анодом, возбуждая электрический ток, который пропорционален значению концентрации. Для ионизации требуются фотоны с энергией выше энергии данного конкретного газа, поэтому в ФИД, как правило, используют УФ-лампы с энергией 10,6 эВ (изготовлены из фторида магния и наполнены криптоном) или 11,7 эВ (изготовлены из фторида лития и наполнены аргоном) [9]. На рисунке 8 приводится иллюстрация структуры сенсора и его выходная характеристика.

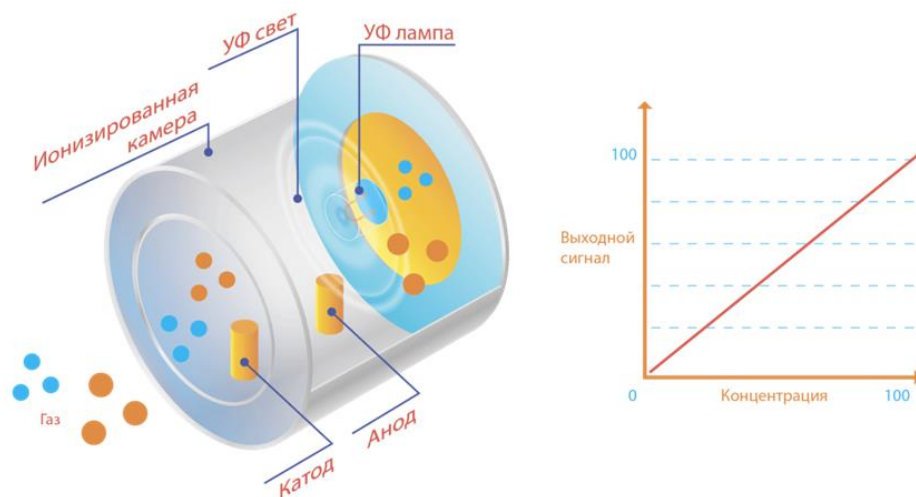


Рисунок 8 – Устройство и характеристика фотоионизационной сенсорной ячейки [15]

### 1.5.5 Преимущества и недостатки различных газовых сенсоров

На основе приведенных описаний устройства и принципа работы различных газовых сенсоров, можно сформулировать некоторые плюсы и минусы применения каждого из них. В таблице 2 приведены главные особенности приведенных газовых сенсоров.

Таблица 2 – Анализ преимуществ и недостатков каждого из типов газовых сенсоров

<i>Термохимический</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительная дешевизна</li> <li>– Быстрая скорость отклика на изменение концентрации</li> <li>– Линейная характеристика выходного сигнала от концентрации целевого газа</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обязательно наличие кислорода в контролируемой среде. Снижение концентрации кислорода приводит к занижению показаний сенсора</li> <li>– Нить постепенно стравливается из-за происходящего в ней химического окисления. Кремниевые, сернистые, свинцовые, галогеносодержащие, фосфорорганические соединения значительно уменьшают срок службы сенсора</li> <li>– Превышение диапазона измеряемой концентрации и частое воздействие целевого газа резко сокращает срок службы</li> <li>– Показания сильно зависят от температуры газа и окружающей среды</li> </ul>
<i>Электрохимический</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительная дешевизна</li> <li>– Низкое энергопотребление (потребляет мощность только для поддержания потенциала выравнивающего электрода)</li> <li>– Высокая селективность и вариативность измеряемых газов</li> <li>– Простота, удобство применения</li> <li>– Высокая стабильность показаний при низких измеряемых концентрациях</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Срок службы и хранения крайне мал (вне зависимости от того, используется сенсор или нет), наименьший срок службы у сенсора на кислород</li> <li>– Нельзя подвергать сенсор нагреву или пропусканию горячих потоков газа, т.к. это будет сильно сбивать его показания</li> <li>– Подвержен отравлению растворителями, летучими органическими соединениями, агрессивными газами</li> <li>– Сильная зависимость показаний от температуры среды и атмосферного давления</li> </ul>
<i>ИК-оптический</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительно долгий срок хранения</li> <li>– Нечувствительность к превышению диапазона измерения, к влажности</li> <li>– Быстродействие (снижается при использовании пылевых фильтров)</li> <li>– Широкий температурный диапазон работы</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительно высокая стоимость</li> <li>– Неселективность к тяжелым углеводородным газам</li> </ul>
<i>Фотоионизационный</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Высокая чувствительность к целевому газу</li> <li>– Крайне долгий срок хранения и службы</li> <li>– Нечувствительность к превышению измеряемого диапазона</li> <li>– Высокое быстродействие (снижается при применении пылевых фильтров)</li> </ul>
	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительно высокая стоимость</li> <li>– Низкая механическая прочность и низкая устойчивость к вибрациям</li> <li>– Низкая селективность из-за зависимости от энергии ионизации целевого газа</li> <li>– Крайне подвержен действию внешних электромагнитных полей</li> <li>– Сильная зависимость показаний от атмосферной влажности</li> </ul>

## 2 Объект и методы исследования

Установка плазмохимического синтеза состоит из генератора постоянного тока, микроконтроллерной системы управления на базе платы Arduino Mega и различных датчиков. На рисунке 9 изображена упрощенная структурная схема установки.

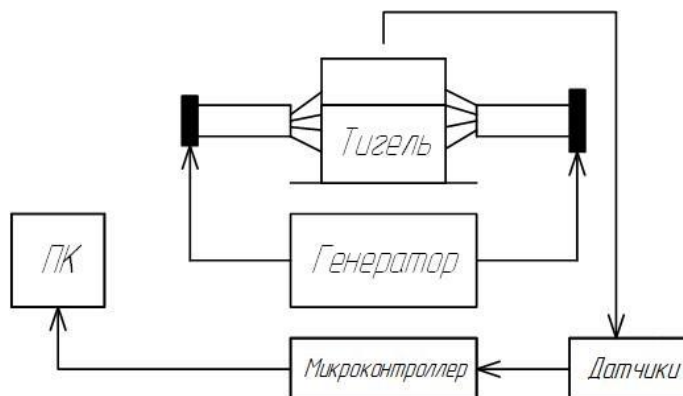


Рисунок 9 – Структурная схема установки плазмохимического синтеза

Генератор используется для создания плазменной дуги, которая проходит сквозь синтезируемые вещества, находящиеся в тигле. Необходимая информация о параметрах внешней среды поступает с метеодатчиков, а о процессах внутри реактора судят по показаниям датчика тока и осциллографа. Информация со всех датчиков поступает в микроконтроллер и передается на персональный компьютер для дальнейшей обработки и анализа.

Порядок проведения эксперимента на установке плазмохимического синтеза:

- 1) Поместить синтезируемые вещества в тигель
- 2) Включив установку, подать напряжение на разведенные электроды
- 3) Свести электроды на близкое расстояние для зажигания дуги.
- 4) По осциллографу отслеживать напряжение между электродами для контроля состояния плазменной дуги

В ходе проведения опыта из реакторной зоны выделяется множество газов, в числе которых обнаружены [16,17]:

- Водород – пиковой концентрации 14,7 %
- Кислород – пиковой концентрации 10 %
- Метан – пиковой концентрации 27,5 %
- Углекислый и угарный газ – пиковой концентрации 6,0 %
- Диоксид серы – пиковой концентрации 0,65 %
- Монооксид азота – незначительной концентрации (немного больше 0,1 %)

В данной работе исследованы различные типы газовых сенсоров, а также подобраны конкретные модели сенсоров, удовлетворяющие приведенным выше диапазонам концентраций определенных газов.

Проектирование печатного узла производится в программном пакете САПР Altium Designer 19. Это комплексная система автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных средств, отличительной особенностью которой является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. В состав программного комплекса Altium Designer входят: редактор схем, библиотеки компонентов, редактор печатных плат с функцией автоматической трассировки.

Проектирование корпуса устройства производится в САПР Solidworks 19. Это программный комплекс САПР для автоматизации работ по проектированию изделий. Программный комплекс SolidWorks включает в себя: различные виды моделирования твердотельных объектов, оформление чертежей по ЕСКД, библиотеки стандартных изделий.



### 3 Теоретический анализ при проектировании газоанализатора

В данном разделе производится подбор компонентов устройства, а также содержатся разработанные структурная и принципиальные схемы устройства.

#### 3.1 Анализ и подбор компонентов устройства

Устройство должно производить определение состава газовой среды по 7 химическим веществам в заданных диапазонах концентраций, согласно таблице 3. Данные требования обусловлены практическими результатами экспериментов на установке [16–19].

Таблица 3 – Требования к газоанализатору по составу и диапазонам концентраций газов

Кислород	(0 – 21) %
Водород	(0 – 4) %
Оксид азота NO	(0 – 2000) ppm
Диоксид серы SO <sub>2</sub>	(0 – 5000) ppm
Угарный газ CO	(0 – 20000) ppm
Углекислый газ CO <sub>2</sub>	(0 – 30) %
Метан CH <sub>4</sub>	(0 – 50) %

##### 3.1.1 Подбор газоаналитических сенсоров

На сегодняшний день на рынке существует большое многообразие газовых сенсоров, значительно различающихся как по стоимости, так и по техническим характеристикам. Далее приводятся датчики, удовлетворяющие техническому заданию, которые решено применить при разработке газоанализатора в рамках настоящей работы. В таблице 4 приведены названия сенсоров и тип, которому они соответствуют.

Таблица 4 – Наименования газовых сенсоров, применяемых в разработке газоанализатора

Целевой газ	Наименование сенсора	Тип сенсора
Кислород	Honeywell 5OxLL Longlife Oxygen CiTiceL	Электрохимический
Водород	Membrapor H <sub>2</sub> /C-40000	Электрохимический
Оксид азота NO	Membrapor NO/CF-2000	Электрохимический
Диоксид серы SO <sub>2</sub>	Membrapor SO <sub>2</sub> /CF-10000	Электрохимический
Угарный газ CO	Honeywell 4MF Carbon Monoxide Sensor	Электрохимический
Углекислый газ CO <sub>2</sub>	smartGAS F3-212307-05000	ИК-оптический
Метан CH <sub>4</sub>	MIPEX-02-1-II-3.1 A	ИК-оптический

Выбор конкретных наименований моделей датчиков связан, в первую очередь, с требуемыми диапазонами измеряемых концентраций, а также с фактором наличия у производителя подробной документации на сенсор. Документация на выбранные датчики приведена в источниках [20–27].

По итогу изучения документации на каждый из газовых сенсоров составлена сводная таблица их ключевых характеристик. В таблице 5 приведены основные характеристики используемых газовых сенсоров.

Таблица 5 – Основные характеристики применяемых газовых сенсоров

Целевой газ	Тип сенсора	Название сенсора	Диапазон концентраций	Напряжение питания	Потребляемая мощность сенсора	Выходной интерфейс	Требуемый расход газа	Чувствительность	Время восстановления нуля	Время установки показаний	Погрешность измерений	Нагрузочное сопротивление и напряжение смещения
CO <sub>2</sub>	ИК-опт.	smartGAS F3-212307-05000	0–30 %	3.3 – 6 В	800 мВт	UART	0,1÷1 л/мин	0.01%	120 с	0,7 с ÷ 16,5 с	±0,25%	Не требуется Не требуется
CH <sub>4</sub>	ИК-опт.	MIPEX-02-1-II-3.1 A	0–50 %	3 – 5 В	5 мВт	UART	100-150 мл/мин	0,0015%	120 с	15 ÷ 30 с	±5%	Не требуется Не требуется
CO	эл-хим.	4MF Citicel	0–40000 ppm	мин.3 В	5 мВт	Аналоговый	400 мл/мин	15 ± 5 нА/ppm	90 с	30 с	2%	5 Ом; Не требуется
H <sub>2</sub>	эл-хим.	H <sub>2</sub> /C Membrapor	0–40000 ppm	мин.3 В	5 мВт	Аналоговый	150 мл/мин	4 ± 3 нА/ppm	-	45 с	2%	10 Ом; Не требуется
NO	эл-хим.	NO/CF Membrapor	0–2000 ppm	мин.3 В	5 мВт	Аналоговый	150 мл/мин	100 ± 20 нА/ppm	-	15 с	2%	10 Ом; –300 мВ
SO <sub>2</sub>	эл-хим.	SO <sub>2</sub> /CF Membrapor	0–10000 ppm	мин.3 В	5 мВт	Аналоговый	400 мл/мин	20 ± 5 нА/ppm	-	30 с	2%	10÷33 Ω; Не требуется
O <sub>2</sub>	эл-хим.	5OxLL CiTiceL	0–25 %	мин.3 В	5 мВт	Аналоговый	400 мл/мин	3,8÷6,2 мА/%	-	15÷35 с	2%	Не требуется –600 мВ

Примечание: информация, не указанная в документации, заменена в ячейках таблицы на прочерк “ - ”.

### 3.1.2 Подбор разъемов для сенсоров

Для правильной работы электрохимических сенсоров, которые подключаются ножками, категорически запрещено припаивать их непосредственно на интерфейсную плату, так как это испортит чувствительных элемент [28]. Взамен этого, следует использовать специальные коннекторы, в зависимости от ширины и длины ножек сенсора. На рисунке 10 приводятся иллюстрации применяемых в работе коннекторов для сенсоров с ножками.

1) “Mill-Max 9801: receptacle with no tail” [29] – для сенсоров с диаметром ножек  $1,5 \div 1,55$  мм: 4MF CiTicel, 50xLL CiTicel.

2) “Mill-Max 0322: receptacle with no tail” [30] – для сенсоров с диаметром ножек  $1 \div 1,2$  мм: H2/C Membrapor, NO/CF Membrapor, SO2/CF Membrapor, MIREX.

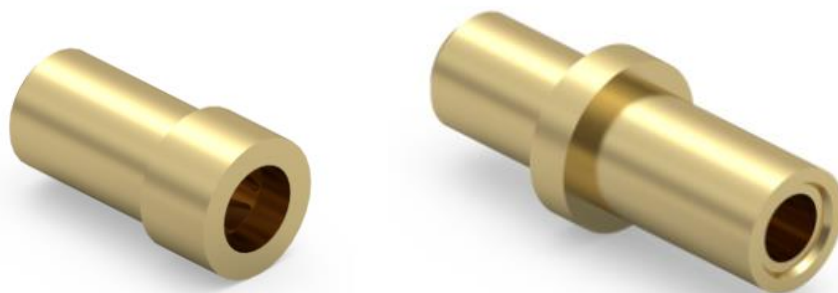


Рисунок 10 – Внешний вид используемых коннекторов (слева – модель 9801 [29], справа — модель 0322 [30])

Для сенсора smartGAS F3-212307-05000 (целевой газ – метан) такие коннекторы не нужны, так как сам сенсор не имеет ножек и, более того, обладает собственной платой интерфейса.

### 3.1.3 Подбор газовых насосов

В устройстве используются два газовых насоса: один из них производит принудительный отбор пробы газа (нагнетает воздух), а второй производит периодическую продувку газовой магистрали обычным атмосферным воздухом – при завершении работы устройства.

Чтобы обеспечить требуемый расход газа для каждого из сенсоров необходимо подобрать достаточно мощный и одновременно малогабаритный воздушно-водяной насос.

В разрабатываемом устройстве решено применить насос R385. В таблице 6 приводятся основные характеристики насоса R385. На рисунке 11 приводится иллюстрация внешнего вида насоса R385 [31].

Таблица 6 – Основные характеристики насоса R385 [31]

Напряжение питания, В	Рабочий ток, А	Мощность, Вт	Расход при 12 В, л/мин	Габариты, мм	Внешний диаметр выходной трубки
6 ÷ 12	0,5 ÷ 1	3 ÷ 12	1,5 ÷ 2	46×40×91	7 мм



Рисунок 11 – Внешний вид насоса R385 [31]

Для управления насосами требуется подключение электромагнитного реле. В разрабатываемом устройстве решено применить двухканальный модуль реле HW383 [32], так как модуль обладает всей необходимой обвязкой электронными компонентами.

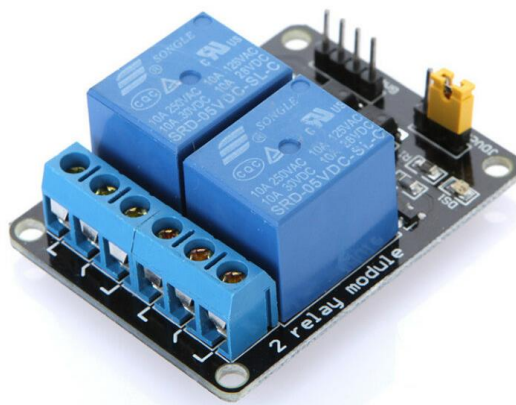


Рисунок 12 – Внешний вид модуля реле HW383 [32]

### 3.1.4 Подбор микроконтроллера

Для обработки сигналов сенсоров решено использовать микроконтроллер компании Atmel ATmega328PB в корпусе TQFP-32. Микроконтроллеры линейки ATmega обладают более низкой стоимостью, в сравнении с аналогичными продуктами других компаний, а также обширными программными библиотеками для работы с периферийными устройствами и внешними модулями. Важным фактором выбора является то, что разрабатываемый газоанализатор не имеет высоких требований к быстродействию и сложности выполняемых операций, так как обработка сигналов с датчиков происходит за длительное время, а обработка и хранение показаний осуществляется через компьютер.

### 3.1.5 Подбор датчика температуры и влажности

При разработке газоанализатора применяется датчик DHT-22 [34]. Это является компромиссным вариантом между ценой и качеством. Датчик проводит одновременные измерения температуры и влажности с помощью интерфейса “One-Wire”. Схема отправки данных с датчика представлена на рисунке 13.

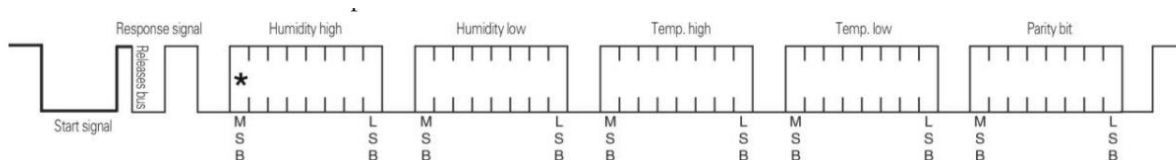


Рисунок 13 – Схема обмена данными с датчиком [34]

### 3.2 Разработка структурной схемы

Структурная схема разрабатываемого газоанализатора приведена на рисунке 14. Газоанализатор состоит из канала, по которому перемещается исследуемая газовая смесь (газовая магистраль), а также из электронной аппаратуры, благодаря которой производится измерение концентрации газов, входящих в смесь.

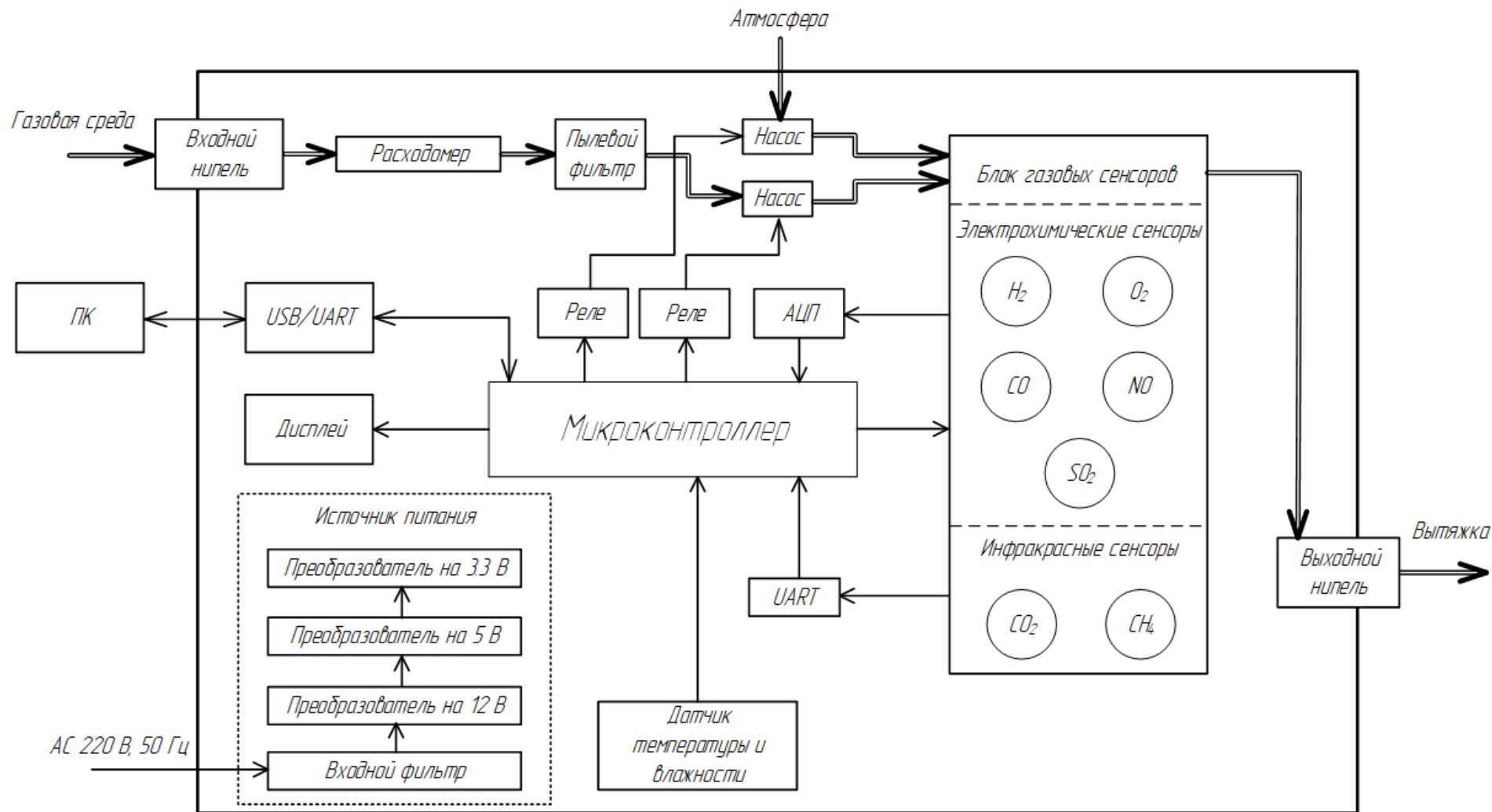


Рисунок 14 – Структурная схема разрабатываемого газоанализатора



Блок газовых сенсоров является пограничным элементом устройства, в котором и происходит преобразование концентрации определенного газа в соответствующий ей электрический сигнал. Данный узел устройства должен быть надежно изолирован от электрической аппаратуры, во избежание просачивания опасных газов за пределы газовой магистрали. Также важно обеспечить защиту блока сенсоров от мелких частиц (пыли), для чего применяется пылевой фильтр.

Источник питания устройства обладает тремя уровнями напряжения: 12 В для питания операционных усилителей блока газовых сенсоров и насосов, 5 В для питания микроконтроллера и некоторых датчиков, а также 3.3 В для питания некоторых датчиков.

Микроконтроллер устройства производит прием и обработку показаний датчиков, отображает их на дисплее, а также передает данные на компьютер.

### **3.3 Проектирование источника питания аппаратуры**

Питание газоанализатора осуществляется от бытовой розетки с напряжением 220 В переменного тока. Источник питания прибора должен обеспечивать преобразование входного переменного напряжения в стабильное низкое выходное с коэффициентом пульсаций в 1%. При разработке газоанализатора принято решение использовать схему обратноходового преобразователя постоянного напряжения в источнике питания. Принципиальная схема обратноходового преобразователя представлена на рисунке 15.

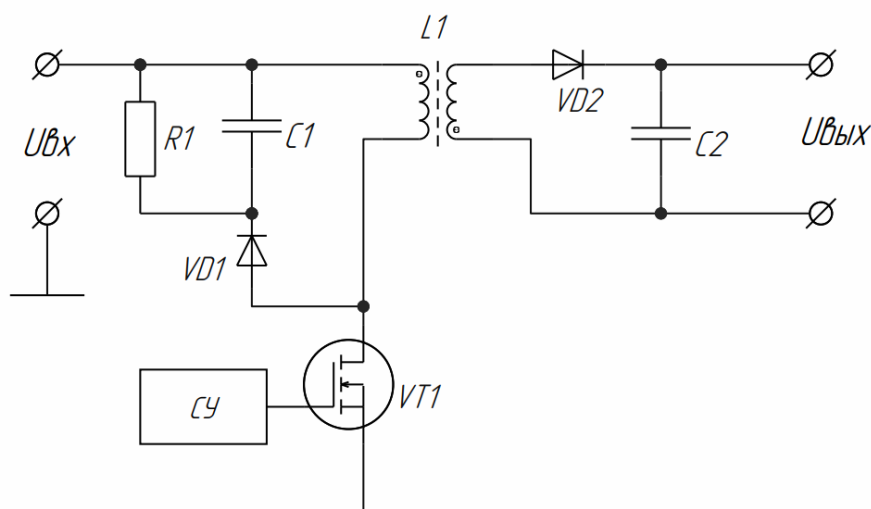


Рисунок 15 – Схема обратноходового преобразователя вместе с цепью демпфера

Такая схема обладает рядом плюсов в сравнении с остальными схемами преобразователей постоянного напряжения [35,36]:

- Использование всего одного транзистора упрощает проектирование ШИМ-генератора в качестве системы управления транзистором. Также благодаря этому устройство становится относительно дешевым.

- В схеме используется всего одно моточное изделие (в отличие от схемы прямоходового преобразователя, где используется трансформатор);

- В схеме используются два диода (один для выпрямления пониженного напряжения, второй – в цепи демпфера).

- В случае наступления короткого замыкания выходного напряжения, схема сохранит работоспособность (в отличие от схемы прямоходового преобразователя);

Основной минус использования данной схемы – малая мощность преобразования, что делает её подходящей для маломощных блоков питания [35,36].

На вход обратноходового преобразователя подается выпрямленное постоянное напряжение сети, которое обеспечивается выпрямителем и

фильтром. При разработке газоанализатора принято решение использовать двухполупериодный выпрямитель с емкостным фильтром.

Выход преобразователя разделен на два канала: для преобразования напряжения в 12 В и 5 В. Уровень напряжения 3.3 В обеспечивается линейным стабилизатором.

### 3.3.1 Расчет мощности источника питания

Источник питания аппаратуры должен обеспечивать мощность, необходимую для теоретического предельно нагруженного режима работы прибора. Мощность, потребляемая в номинальном режиме работы различными компонентами устройства, соответствует значениям в таблице 7.

Таблица 7 – Номинальная потребляемая мощность компонентов устройства

Компоненты	Мощность	Условия работы
Все газовые сенсоры, кроме сенсора на углекислый газ	$6 \cdot 5 \text{ мВт} = 30 \text{ мВт}$	Температура воздуха: 20 °С Влажность: 50 % Атмосферное давление: 1 атм.
Сенсор на углекислый газ	800 мВт	Температура воздуха: 22 °С Атмосферное давление: 1 атм. Расход газа: 0,7 л/мин.
Микроконтроллер	45 мВт	Частота 8 МГц Напряжение питания 5 В Температура: менее 85°С
Газовые насосы	$2 \times 12 \text{ Вт} = 24 \text{ Вт}$	Напряжение питания: 12 В Ток потребления: 1 А
Метеодатчик	1,5 мВт	Напряжение питания: 5 В Ток потребления: 300 мкА

Исходя из приведенных значений, источник питания должен обеспечивать нагрузочную мощность, равную приблизительно 25 Вт. Также предполагается, что на вход преобразователя поступают выпрямленные 230 В действующего сетевого напряжения и преобразователь функционирует в режиме прерывистого тока. Это обеспечивает меньшие габариты дросселя, лучшее время

отклика схемы на изменение величины питания или нагрузки, а также достижение меньших динамических потерь в электронном ключе [35].

### 3.3.2 Расчет индуктивности обмоток дросселя

Условия для расчета компонентов преобразователя: мощность нагрузки  $P_H = 25$  Вт, входное напряжение преобразователя  $U_{ВХ} = 325$  В, выходные напряжения  $U_{ВЫХ1} = 12$  В,  $U_{ВЫХ2} = -12$  В и  $U_{ВЫХ3} = 5$  В, частота  $f = 50$  кГц, коэффициент заполнения сигнала ключа  $\gamma = 0,5$ . Индуктивность первичной обмотки дросселя  $L_1$  рассчитывается по формуле [35]:

$$L_1 = \frac{U_{ВХ}^2 \cdot \gamma^2}{2P_H \cdot f} = \frac{325^2 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 10^3} = 10,5625 \text{ (мГн)} \quad (3)$$

Дроссель обладает тремя обмотками, обеспечивающими выходное напряжение в  $\pm 12$  В и  $+5$  В. Индуктивности обмоток  $L_2, L_3, L_4$  соответствующих каналов:

$$L_2 = L_3 = \frac{U_{ВЫХ1}^2 \cdot \gamma^2}{2P_H \cdot f} = \frac{12^2 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 10^3} = 14,4 \text{ (мкГн)}, \quad (4)$$

$$L_4 = \frac{U_{ВЫХ3}^2 \cdot \gamma^2}{2P_H \cdot f} = \frac{5^2 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ (мкГн)} \quad (5)$$

### 3.3.3 Выбор входного фильтра

Для работы источника питания, необходимо выпрямить и сгладить входное напряжение. Для правильной фильтрации напряжения было решено использовать схему, согласно рисунку 16.

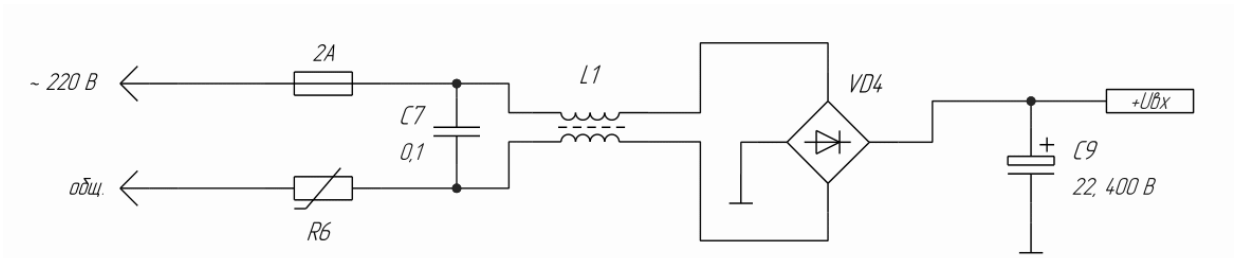


Рисунок 16 – Входной фильтр источника питания

Входной ток источника питания проходит через предохранитель, термистор для ограничения пускового тока и LC-фильтр для фильтрации сетевых помех. После фильтра форма напряжения выпрямляется с помощью диодного моста и сглаживается емкостным фильтром.

### 3.4 Разработка принципиальной схемы

Схемы, по которым подключаются электрохимические сенсоры к плате интерфейса, встречаются в документациях от различных производителей [27,28]. На рисунке 17 приводится схема для трехножечных электрохимических сенсоров, без реализации напряжения смещения от производителя Membrapor, а на рисунке 18 – схема для трех-ножечных сенсоров с реализацией напряжения смещения от того же производителя.

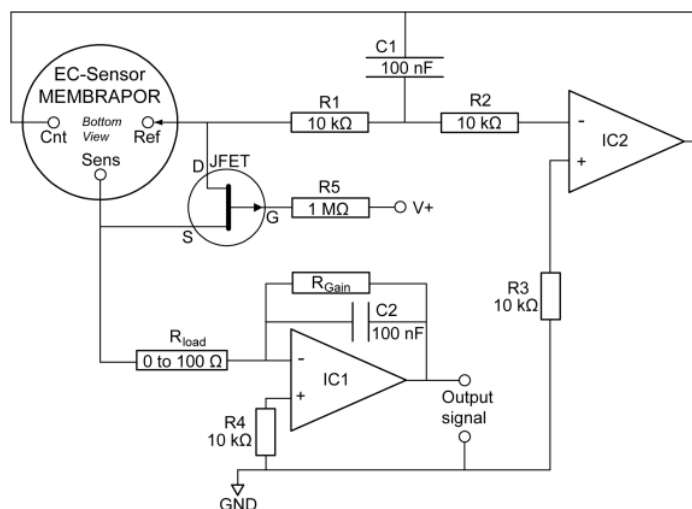


Рисунок 17 – Схема подключения сенсора без напряжения смещения [28]

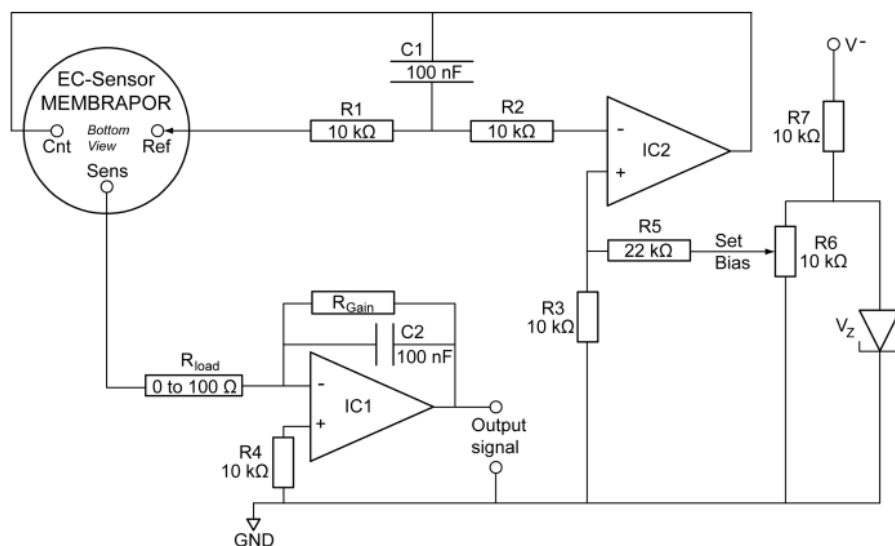


Рисунок 18 – Схема подключения сенсора с напряжением смещения [28]

### 3.4.1 Анализ работы схемы газового сенсора

В представленной на рисунке 17 схеме измерения производятся с помощью однокаскадного операционного усилителя  $IC1$  в трансимпедансной конфигурации (потенциостатическая схема). Такая схема применяется, когда входной ток необходимо преобразовать в пропорциональное выходное напряжение. Выходное напряжение в такой схеме равно напряжению на резисторе  $R_{GAIN}$ , через который проходит ток датчика от электрода “Sens”. Конденсатор  $C_2$  нужен для фильтрации высокочастотных шумов. “Нагрузочный” резистор  $R_{load}$  необходим в схеме для обеспечения быстрого времени отклика и хорошего соотношения сигнал/шум. Рекомендуемое значение сопротивления данного резистора указывается в техническом паспорте датчика [28].

Управляющий операционный усилитель  $IC2$  подает ток на “противовесный” электрод “Cnt”, чтобы сбалансировать ток, требуемый датчиком. Инвертирующий вход  $IC2$  подключен к “референсному” электроду “Ref” и не потребляет ток, что гарантирует стабильный потенциал этого электрода. Полевой транзистор замыкает “референсный” электрод “Ref” на чувствительный электрод “Sens”, когда питание схемы отключено [12].

Датчики, которым требуется напряжение смещения (рисунок 17), не должны иметь закороченных электродов. Напротив, рекомендуется постоянно удерживать напряжение (в основном 300 или 600 мВ) на электроде “Ref” [12].

### 3.4.2 Разработка принципиальной схемы плат интерфейса сенсоров

На основе приведенных рисунков 17 и 18 проектируются схемы для применяемых в устройстве электрохимических сенсоров (рис. 19-24). Также на рисунке 24 приводится схема подключения оптического сенсора MIPEX, а также распиновка разъема, через который происходит подключение платы с сенсорами к плате с микроконтроллером. На той же схеме располагаются четыре клеммы для подключения земли и питания (рисунок 24).

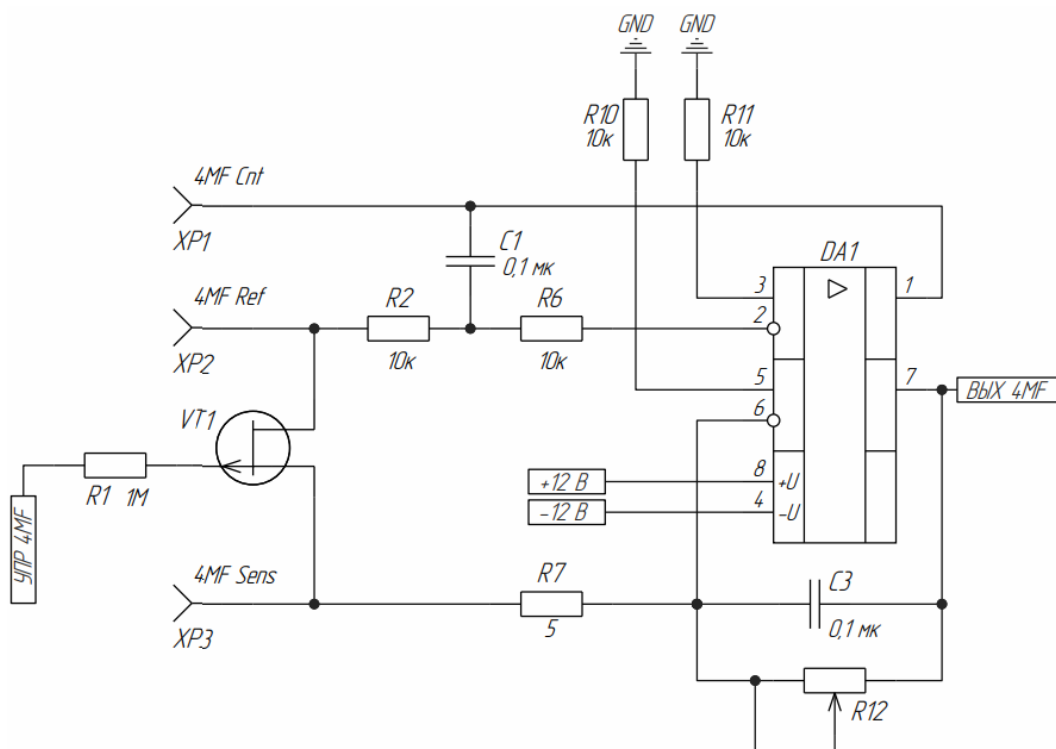


Рисунок 19 – Схема подключения сенсора 4MF CiTiceL

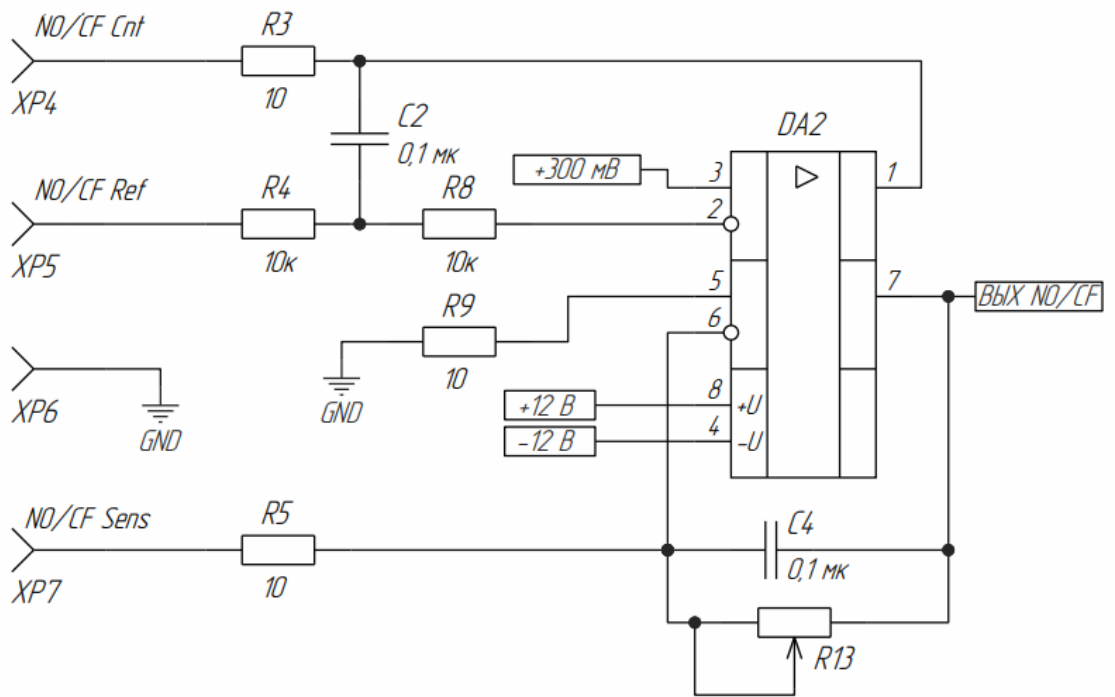


Рисунок 20 – Схема подключения сенсора NO/CF Membrapor

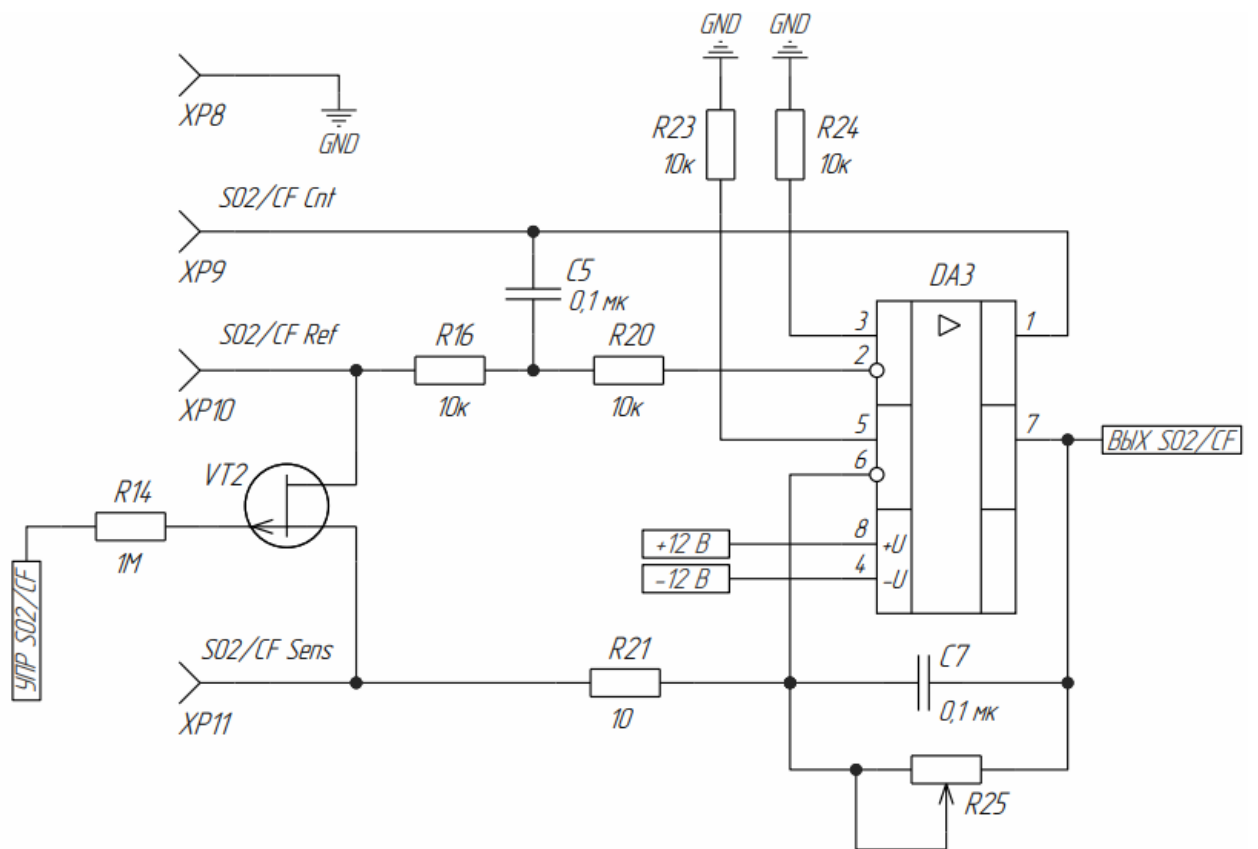


Рисунок 21 – Схема подключения сенсора SO2/CF Membrapor



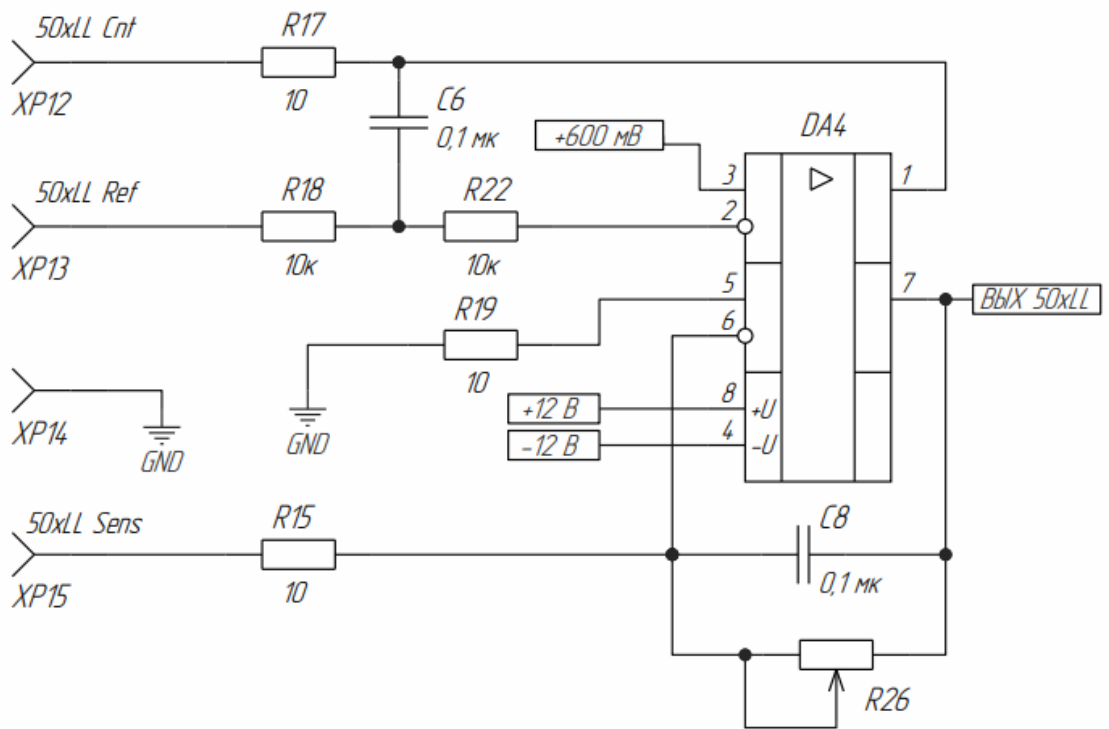


Рисунок 22 – Схема подключения сенсора 50xLL CiTiceL

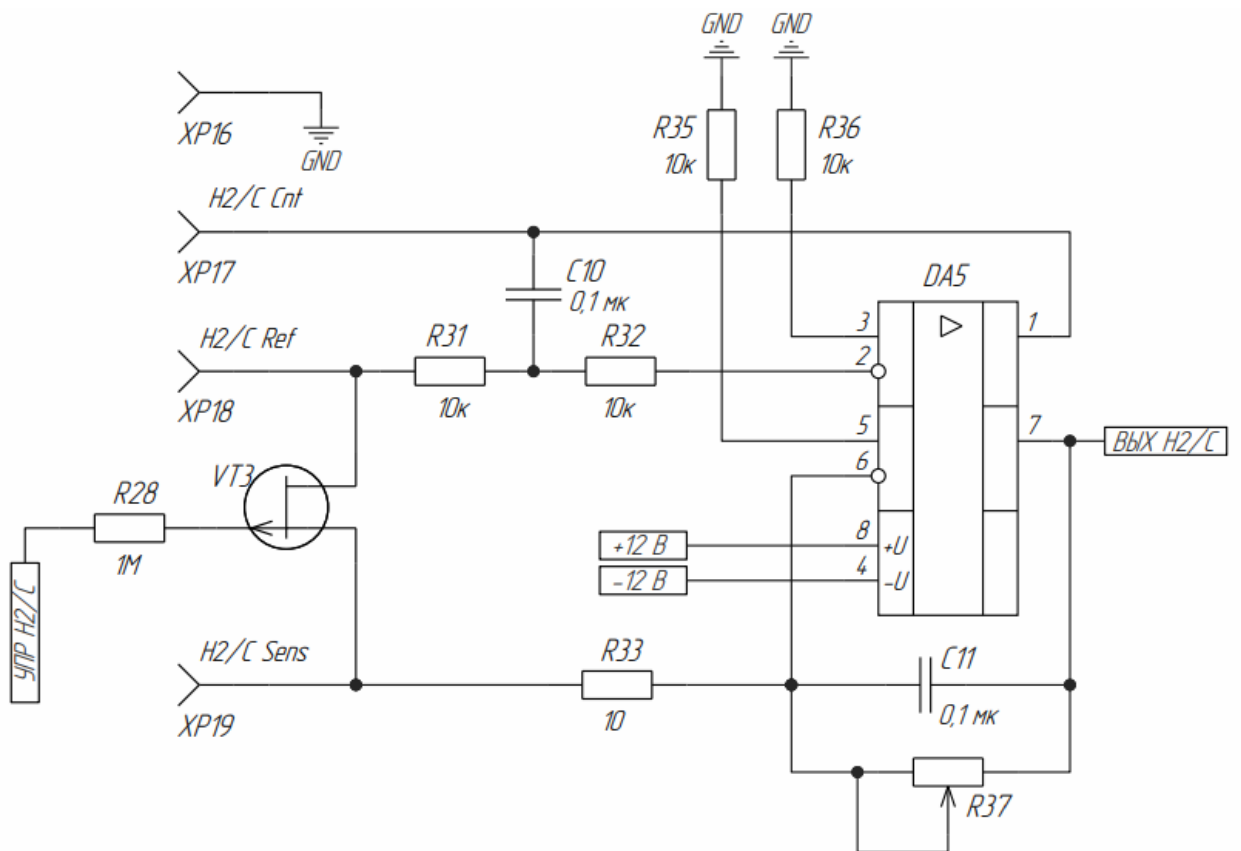


Рисунок 23 – Схема подключения сенсора H2/C Membrapor

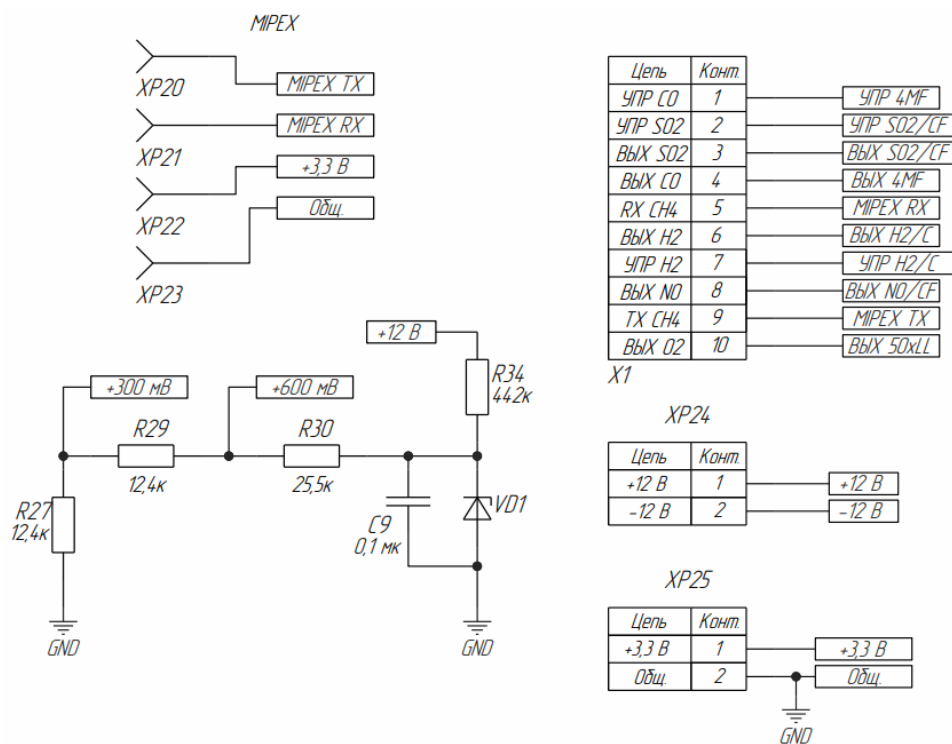


Рисунок 24 – Схема подключения сенсора MIPEX, схема разъема и клемм питания, схема цепи напряжения смещения

В таблице 8 приводятся наименования компонентов на схеме вместе с типоразмером корпуса.

Таблица 8 – Перечень компонентов, применяемых в схеме платы интерфейса

Обозначение компонента	Модель компонента
R1 – R11; R14 – R24; R27 – R36	0805 SMD
R12, R13, R25, R26, R37	POT-3296P-1-504LF
XP1 – XP3; XP12 – XP15	Mill-Max 9801 [29]
XP4 – XP11; XP16 – XP23	Mill-Max 0322 [30]
C1 – C11	0805 SMD
DA1 – DA5	SOIC-8 LT1078 [38]
VT1 – VT3	TO-92 J174 [39]
XP24, XP25	26-16AWG
X1	BH-10 (DS1013-10S) (IDC-10MS)
VD1	ZXRE125 - SOT23 [40]

В Приложении А представлена схема платы питания и микроконтроллера. В Приложении Б приводится сборочный чертеж платы

питания и микроконтроллера. В Приложении В приводится чертеж проводящих слоёв и слоёв шелкографии платы питания и микроконтроллера. Перечень используемых в изготовлении платы питания и микроконтроллера элементов представлен в Приложении Г. Полная электрическая принципиальная схема платы интерфейса сенсоров представлена в Приложении Д. В Приложении Е представлен сборочный чертеж платы интерфейса сенсоров. В приложении Ж приведен чертеж проводящих слоёв и слоёв шелкографии платы интерфейса сенсоров. Перечень используемых элементов представлен для изготовления платы интерфейса сенсоров представлен в Приложении З.

## **4 Практическая реализация газоанализатора**

### **4.1 Разработка моделей печатных плат аппаратуры газоанализатора**

#### **4.1.1 Проектирование коннекторов для сенсоров**

На основе документации на коннекторы компании Mill-Max [29,30] проектируются их 3D модели для внедрения на печатную плату интерфейса. На рисунке 25 приводятся результаты проектирования коннекторов сенсоров.

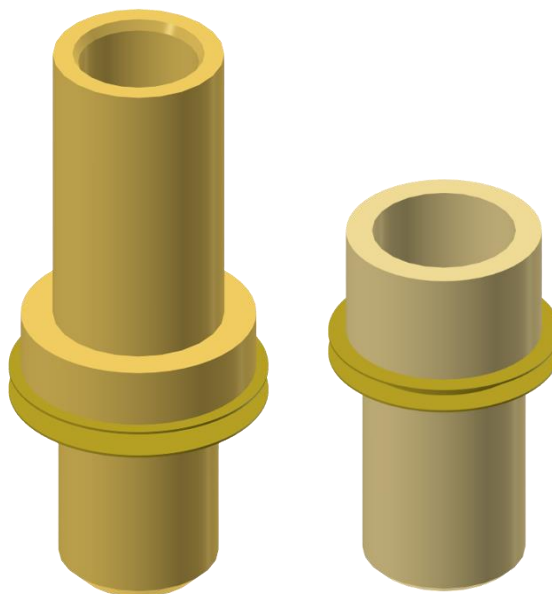


Рисунок 25 – Результат проектирования моделей коннекторов в программе Altium Designer 19

#### **4.1.2 Проектирование моделей сенсоров**

На основании документаций на сенсоры [20-26] проектируются их 3D модели для последующего расположения на посадочных местах и в корпусе. На рисунках 26-30 приводятся результаты проектирования 3D моделей сенсоров в программе SolidWorks.

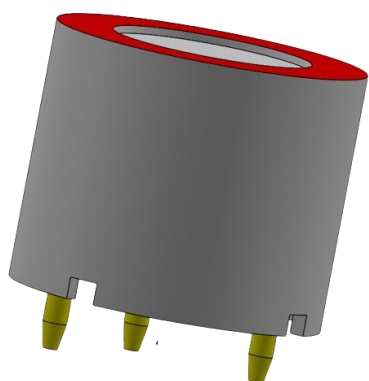


Рисунок 26 – 3D модель сенсора 4MF  
CiTiceL



Рисунок 27 – 3D модель сенсора  
50xLL CiTiceL

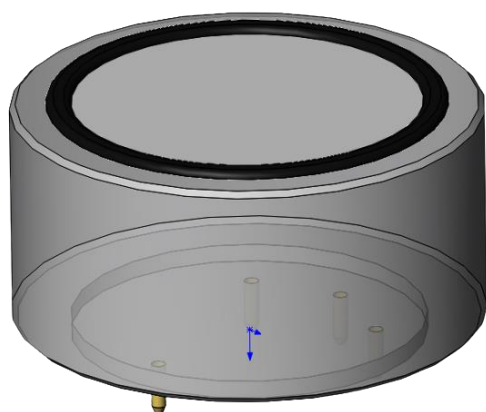


Рисунок 28 – 3D модель сенсоров  
H2/C Membrapor, NO/CF Membrapor,  
SO2/CF Membrapor

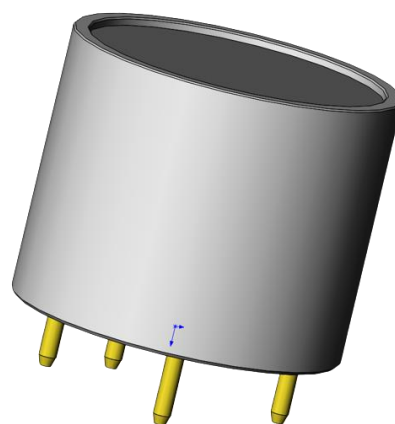


Рисунок 29 – 3D модель сенсора  
MIPEX

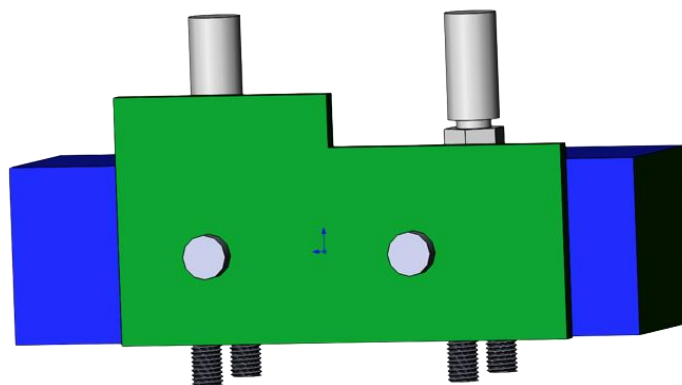


Рисунок 30 – 3D модель сенсора smartGAS F3-212307-05000

### 4.1.3 Проектирование платы интерфейса сенсоров

На рисунках 31-34 приводятся результаты разработки платы интерфейса газоаналитических сенсоров. Плата обеспечена монтажными отверстиями для крепления её внутри корпуса. Расположение посадочных мест для сенсоров обосновано тем, что сверху на сенсоры надевается специальная изоляционная газовая камера, которая обеспечивает герметичность газовой магистрали.

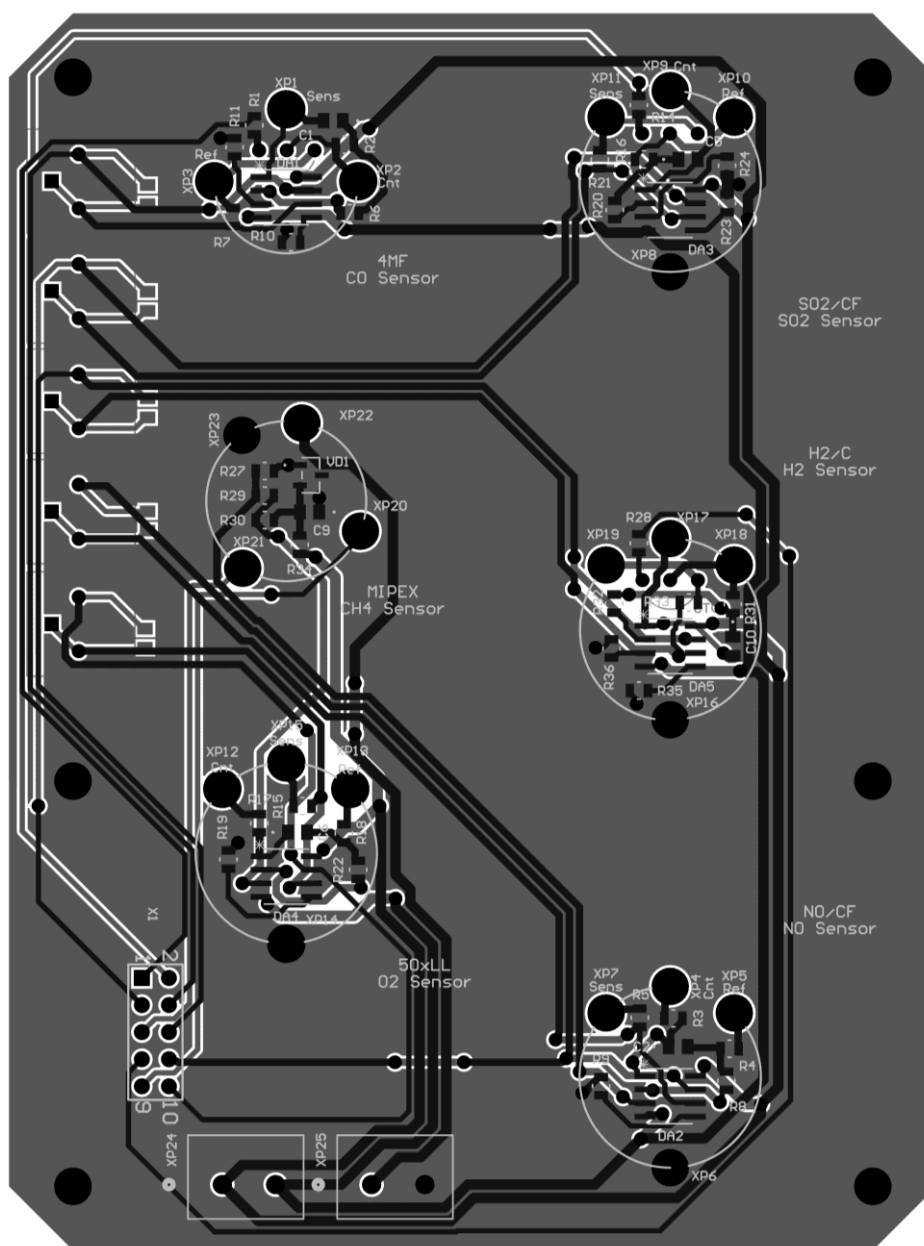


Рисунок 31 – Вид на печатную плату интерфейса сенсоров в режиме трассировки

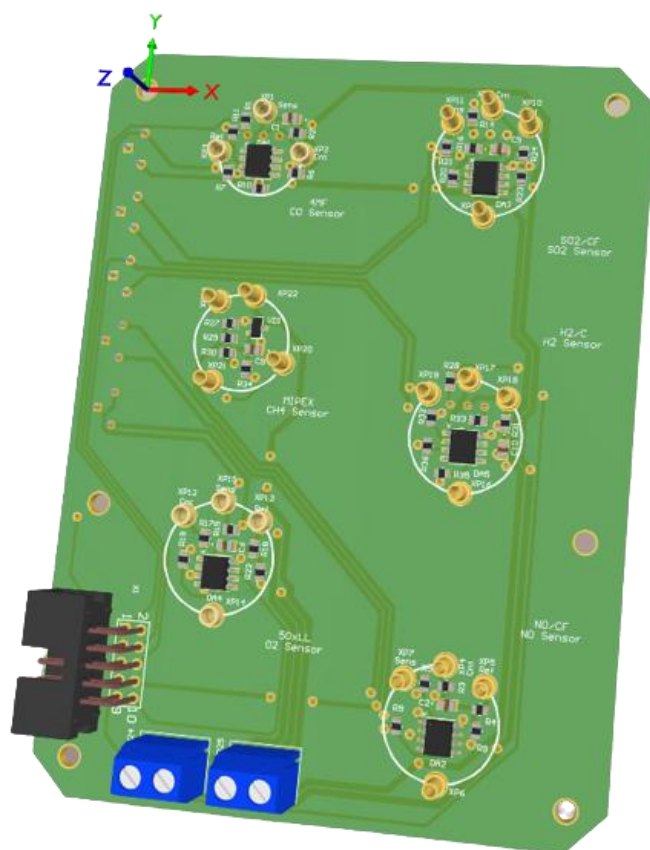


Рисунок 32 – Вид на верхнюю сторону платы интерфейса сенсоров

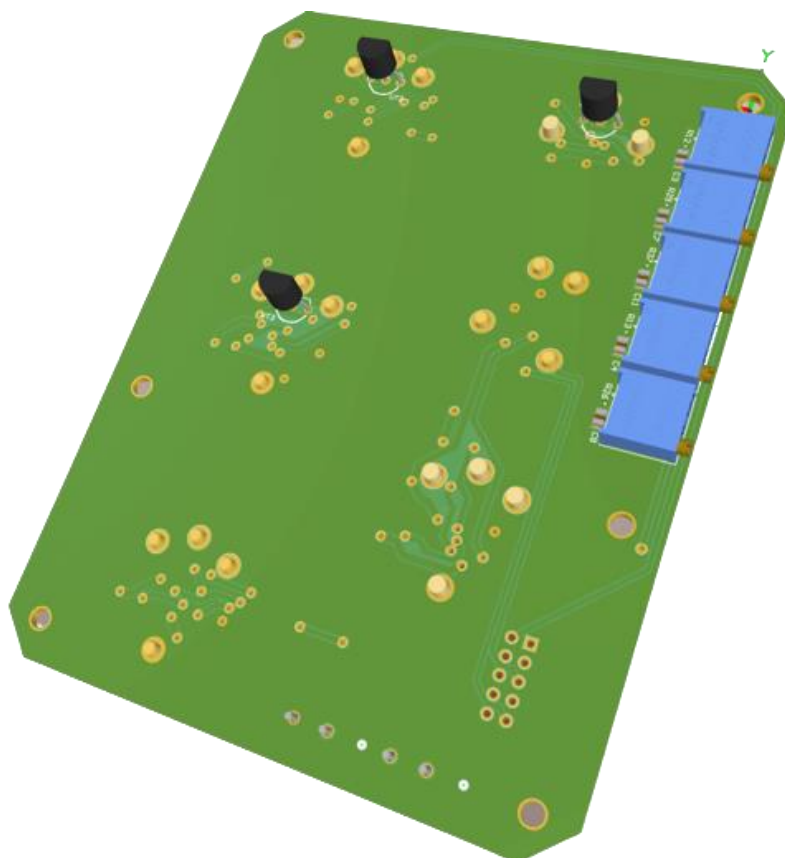


Рисунок 33 – Вид на нижнюю сторону платы интерфейса сенсоров

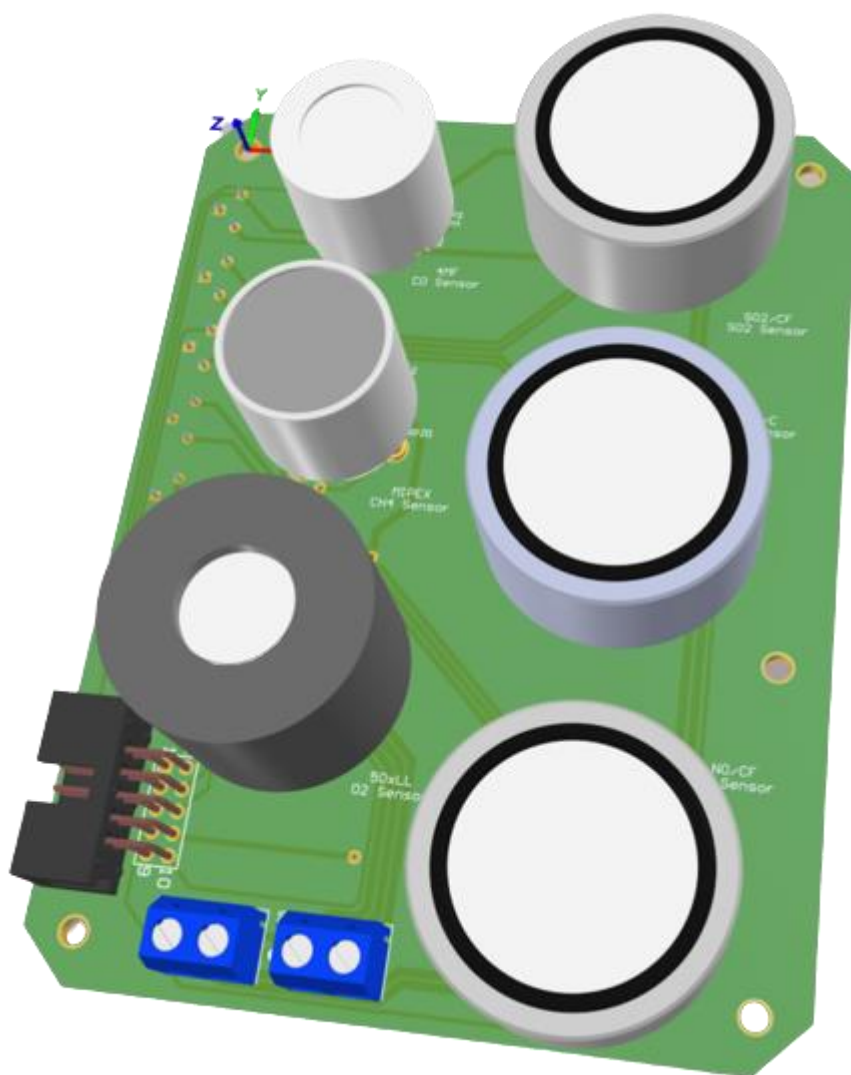


Рисунок 34 – Вид на верхнюю сторону платы интерфейса сенсоров вместе с расположенными моделями сенсоров

#### 4.2 Проектирование изоляционной накладки на сенсоры

Газовая камера для сенсоров обеспечивает изоляцию агрегатов устройства от опасной газовой среды. На рисунке 35 приводится внешний вид на нижнюю сторону этой камеры. Отверстия для сенсоров заужены в торце для более надежного прилегания сенсора к оболочке камеры. Дополнительная изоляция обеспечивается специальными прокладками между торцом отверстия и торцом сенсора, а также боковой гранью отверстия и сенсора.





Рисунок 35 – Вид на нижнюю сторону газовой камеры для сенсоров

Фиксация камеры относительно платы сенсоров осуществляется шпильками М3 через 4 отверстия для крепежа. Также газовая камера снабжена отверстиями спереди и сзади для подключения к камере нипеля и патрубка, по которым газ поступает и выходит из камеры, а также для продувки камеры атмосферным воздухом. На рисунке 36 представлен внешний вид платы интерфейса сенсоров с надетой камерой.



Рисунок 36 – Вид на верхнюю сторону платы интерфейса сенсоров вместе с газовой камерой

### 4.3 Проектирование платы питания и микроконтроллера

На рисунках 37-39 приводятся результаты разработки платы питания и микроконтроллера. Плата обеспечена монтажными отверстиями, совпадающими по взаимному расположению с отверстиями на плате интерфейса газоанализаторов. Также на плате размещено множество розеток для шлейфов – они идут от микроконтроллера к дисплею, модулю реле и плате интерфейса сенсоров. Также плата обладает разъемом USB-B для подключения газоанализатора к компьютеру.

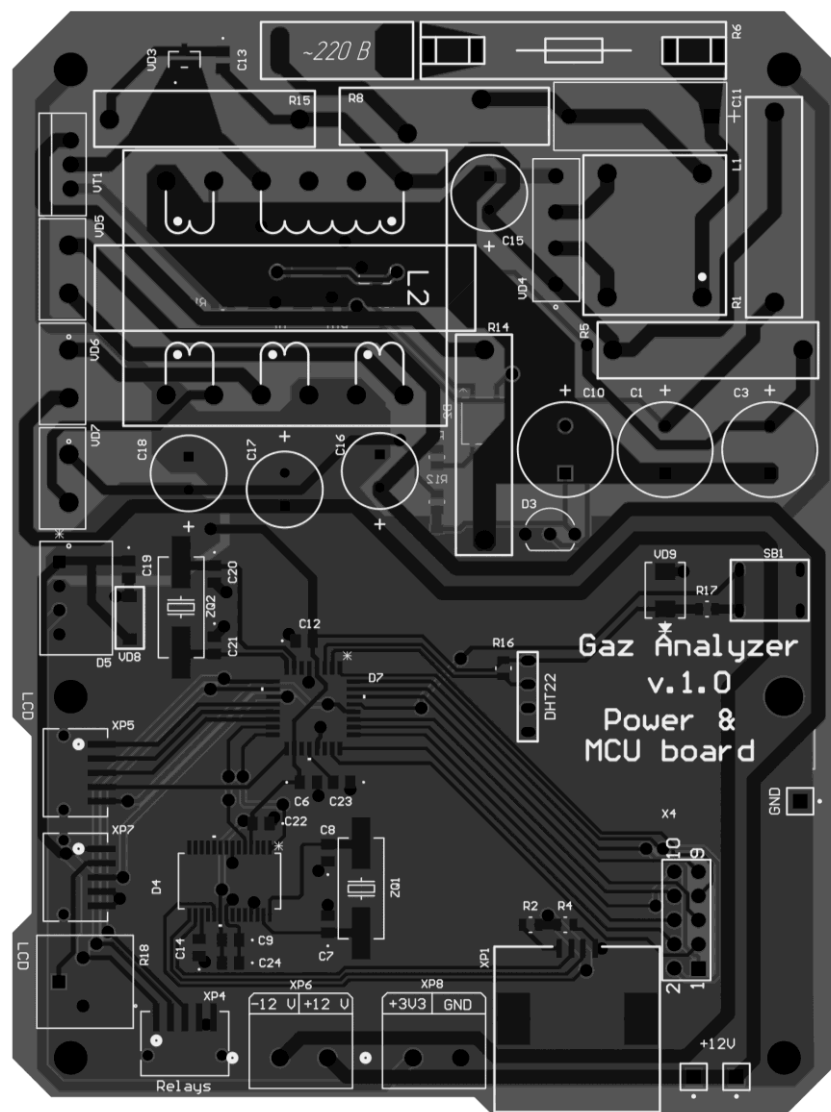


Рисунок 37 – Вид на печатную плату питания и микроконтроллера в режиме трассировки

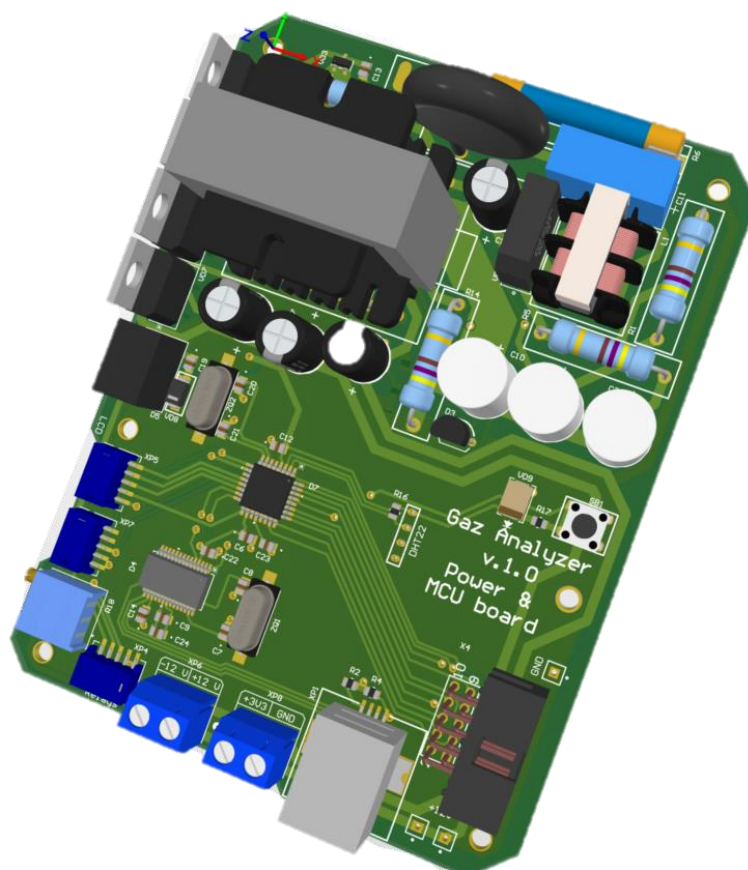


Рисунок 38 – Вид на верхнюю сторону платы питания и микроконтроллера

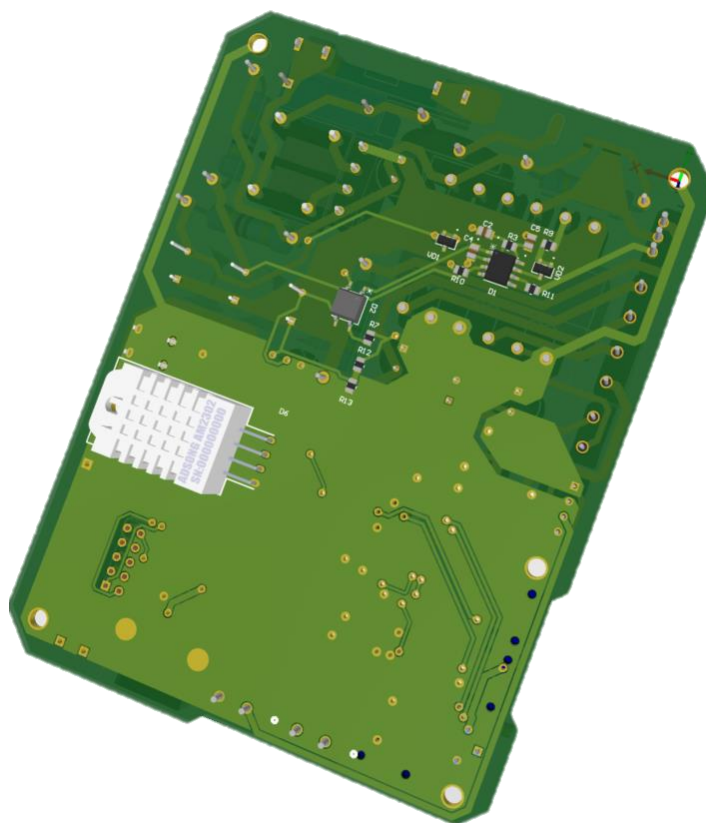


Рисунок 39 – Вид на нижнюю сторону платы питания и микроконтроллера

## 4.4 Разработка программы микроконтроллера устройства

Ввиду невозможности сборки прототипа реального устройства, в данной работе производится эмуляция получения данных с датчиков газа и метеодатчиков. Для этого применяется отладочная плата на базе контроллера Atmega. На рисунке 40 приводится листинг программы для эмуляции приема данных с сенсоров и передаче их на персональный компьютер.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) {}

    long int data[9] = {12345, 30000, 228228,
                       98765, 431123, 75921,
                       680402, 72149, 123123};

    void loop() {

        if(Serial.available()){flag = Serial.read();}

        for(int k=0; k<10; k++){
            for(int i=0; i<9; i++){
                data[i] = data[i] + 10;
                Serial.print(data[i]);
                Serial.print(' ');
                delay(10);}
            Serial.print('\n');
        }
        for(int k=0; k<10; k++){
            for(int i=0; i<9; i++){
                data[i] = data[i] - 10;
                Serial.print(data[i]);
                Serial.print(' ');
                delay(10);}
            Serial.print('\n');
        }
    }
}
```

Рисунок 40 – Листинг программы микроконтроллера

## 4.5 Разработка оконного приложения

Оконное приложение газоанализатора обеспечивает отображение показаний датчиков не только на самом приборе, но и на компьютере пользователя. Благодаря этому, данные можно сохранять в память компьютера для дальнейшей обработки. На рисунке 41 представлен внешний вид приложения в режиме ожидания.



Рисунок 41 - Интерфейс главного окна приложения в режиме ожидания

## 4.6 Результаты экспериментов

Для работы с газоанализатором через приложение пользователь должен подключить к компьютеру газоанализатор и выбрать в меню “Выбранный порт” номер порта, который соответствует подключенному устройству. Для появления нужного номера необходимо нажать на меню “Обновить порты”. На рисунке 42 и 43 представлена реализация этой функции.

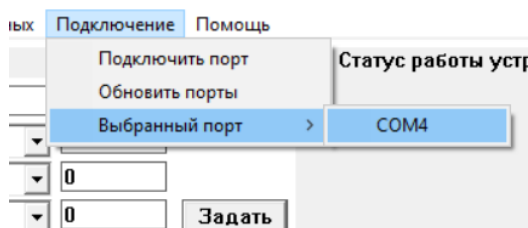


Рисунок 42 – Меню выбора портов с отключенным газоанализатором

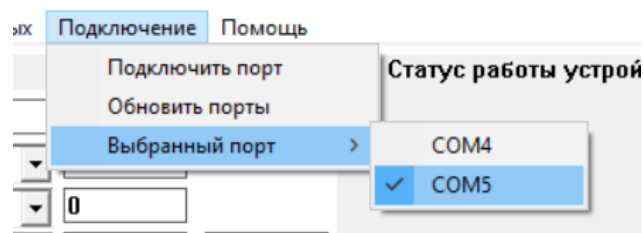


Рисунок 43 – Меню выбора портов с подключенным газоанализатором, после нажатия меню “Обновить порты”

Далее пользователь должен нажать на меню “Подключить порт”. В поле “Статус работы устройства” в главном окне появится обновленный статус и начнут приниматься данные с устройства. В случае, если устройство не обнаружено, либо выбран не правильный порт, в соответствующем поле появится отрицательный статус. На рисунках 44 и 45 приводится реализация данных функций.

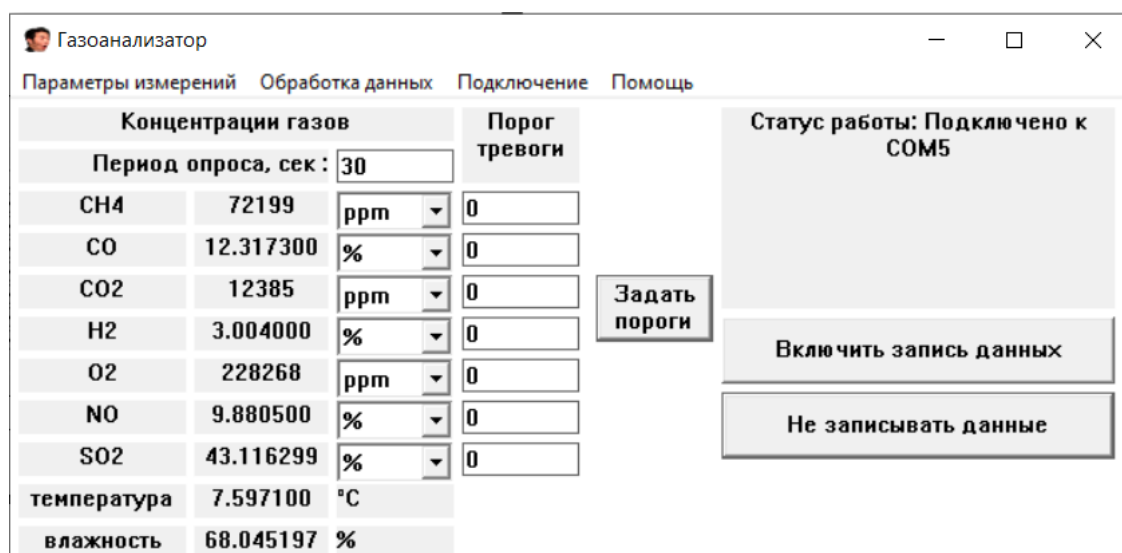


Рисунок 44 – Интерфейс окна приложения после успешного подключения к газоанализатору

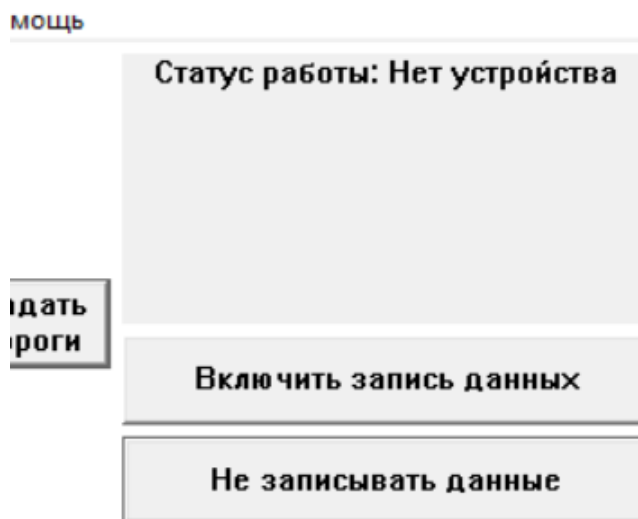


Рисунок 45 – Отрицательный статус при неуспешном подключении к газоанализатору

Данные о концентрации газа, получаемые от устройства, можно приводить в разных единицах измерения: процентах, либо миллионных долях (ppm). На рисунке 46 приводится реализация данной функции.

CH4	680452	ppm	CH4	68.046204	%
CO	72199	ppm	CO	7.221900	%
CO2	123173	ppm	CO2	12.319300	%

Рисунок 46 – Реализация выбора единиц измерения концентрации газов

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

Выпускная квалификационная работа направлена на разработку и создание газоанализатора для установки плазмохимического синтеза. Плазмохимический синтез (пиролиз) широко применяется в развивающихся отраслях промышленности: экологической энергетике и мусоропереработке. Суть данного процесса заключается в пропускании сквозь материалы мощного разряда тока, что приводит к распаду молекул веществ.

Разрабатываемый газоанализатор способен измерять концентрацию 7 различных газов в воздушной смеси во время осуществления плазмохимического синтеза, а также параметры микроклимата помещения: температуру и влажность окружающего воздуха.

Разработка прибора включает в себя проектирование электрической платы управления и корпуса устройства, компьютерную симуляцию работы устройства, а также написание программного кода работы устройства.

### **5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Разработка газоанализатора согласно классификации условий труда [41] относится ко второй категории тяжести труда. На работника воздействуют вредные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают установленные трудовыми нормативами, а измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается во время отдыха или к началу следующего рабочего дня [41]. Продолжительность рабочего дня работников не должна превышать 40 часов в неделю. Возможно сокращение рабочего времени: для работников, возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часа в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы [42].



Согласно ТК РФ, от 29.12.2020 N477 - ФЗ работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

### **5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочая зона должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Площадь помещения должна быть менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота – не менее 4 м, объем – не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 800 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 мм<sup>2</sup>. Под столом должно иметься пространство для ног глубиной 650 мм [43].

### **5.3 Производственная безопасность**

Разработка газоанализатора осуществляется с использованием ЭВМ и с применением паяльного оборудования для монтажа компонентов на поверхность печатной платы. ЭВМ применяется для проектирования модели устройства,

разработки программы работы и проведения симуляции работы прибора. Необходимо рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при использовании ЭВМ и при работе с оборудованием. Перечень вредных и опасных факторов в указанных рабочих условиях приводится в таблице 9.

Таблица 9 – Возможные опасные и вредные производственные факторы при разработке газоанализатора

№	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы, регулирующие действие факторов
1	Производственные факторы, связанные со световой средой (отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения)	СП 52.13330.2016 “Естественное и искусственное освещение”. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
2	Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем электромагнитных полей	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. “Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности”
3	Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями (повышенный уровень шума)	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. “Шум. Общие требования безопасности” СП 51.13330.2011 “Защита от шума” Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
4	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
5	Производственные факторы, связанные с тяжестью трудового процесса (умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, вызванные информационной нагрузкой, статическая перегрузка)	Р 2.2.2006-05 “Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда”; МР 2.2.9.2311-07 “Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности”
6	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды (риск ожога тканей организма человека)	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. “Оборудование производственное. Общие требования безопасности”; ТИ Р М-075-2003 “Межотраслевые типовые инструкции по охране труда для работников, занятых проведением работ по пайке и лужению изделий”

7	Производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. “Электробезопасность. Защитное заземление, зануление”; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. “Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты”
8	Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека (раздражающего и токсичного характера)	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. “Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности”; СанПиН 1.2.3685-21. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны”; ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”
9	Производственные факторы постоянного характера, связанные с повышенным образованием электростатических зарядов и наличием электростатического поля, чрезмерно отличающегося от поля Земли	ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ “Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования”
10	Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”
10	Короткое замыкание	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ “Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”

### 5.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Воздействие производственных факторов, связанных со световой средой, возникает при длительной работе в условиях недостаточной освещенности или нарушении параметров световой среды. Это вызывает негативное воздействие на организм человека: развитие близорукости, головную боль, ухудшение зрения. Для предотвращения действия данных производственных факторов, следует организовать освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 200 лк [44]. Следует применять системы комбинированного освещения (к

общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). В качестве источников света для местного освещения применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы.

Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями, а именно, повышенный уровень шума, возникает из-за работы электрооборудования и вентиляционных систем. Это оказывает раздражающее воздействие на работника: происходит повышение утомляемости, снижение концентрации и сосредоточенности при выполнении сложных задач. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы. Для защиты от воздействия шума на организм человека возможно применение архитектурно-планировочных методов, которые включают в себя: рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рациональное размещение рабочих мест, создание шумозащитных зон в различных местах нахождения человека [45]. Норма уровня звука, скорректированного по А, от источников постоянного шума, составляет для жилых комнат общежития 45 дБ, для аудиторий образовательных организаций – 40 дБ [46].

Показателями, характеризующими микроклимат на рабочих местах в производственных помещениях, являются температура воздуха, температура поверхностей ограждающих конструкций и устройств, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения [44]. Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах оцениваются исходя из категории работ по уровню энерготрат организма. Работа, связанная с разработкой газоанализатора, относится к категории Ib [44]. Для поддержания параметров микроклимата в помещении проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание помещения. В холодный период года для поддержания температуры воздуха применяется

центральное отопление. В таблице 10 приводятся основные параметры микроклимата в помещении.

Таблица 10 – Допустимые величины параметров микроклимата на рабочем месте категории Ib [44]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ib (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
Теплый		20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0			0,3

Основное время при проектировании газоанализатора связано с использованием персонального компьютера для составления электрических схем устройства и разводения печатных плат, а также для написания программного кода работы устройства, что вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека.

При умственной нагрузке основными источниками стрессового состояния являются: длительный и ненормированный рабочий день, длительность сосредоточенного внимания, высокая степень сложности задания, выраженная ответственность. Воздействие данных факторов вызывает угнетающее влияние на психическую деятельность: ухудшаются функции внимания, памяти, восприятия [47].

Зрительная нагрузка в основном связана с использованием персональной электронно-вычислительной машины. Воздействие данных факторов вызывает головную боль, ухудшение зрения [47]. Допустимая длительность сосредоточенного наблюдения составляет (26 – 50) % от времени смены [44].

Таким образом, при рабочем дне длительностью 8 часов, работа за персональным компьютером ограничивается 2-4 часами. Также регламентируется длительность пребывания в неудобной или фиксированной рабочей позе: до 25% от времени смены [44].

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений для глаз, использовать методику психической саморегуляции.

Применение паяльного оборудования включает производственный фактор, связанный с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, что может привести к ожогам тканей организма человека.

Конструкция производственного оборудования и (или) его размещение должны исключать контакт его горючих частей с пожаровзрывоопасными веществами, а также исключать возможность соприкосновения работающего с горячими частями или нахождение в непосредственной близости от таких частей [48]. Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность, вызываемую разбрызгиванием горячих обрабатываемых и (или) используемых при эксплуатации материалов и веществ. Если конструкция не может полностью обеспечить исключение такой опасности, то эксплуатационная документация должна содержать требования об использовании средств защиты, не входящих в конструкцию [48].

В целях соблюдения техники безопасности во избежание ожогов расплавленным припоем следует: при распайке не выдергивать резко с большим усилием паяемые провода, излишки припоя и флюса снимать с жала паяльника с применением материалов, указанных в технологической документации (хлопчатобумажные салфетки, асбест) [49].

К выполнению работ по пайке паяльником допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ,

методы и приемы правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами [49]. Работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности [49].

Также при работе с электрооборудованием возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Напряжение прикосновения и токи при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки не должны превышать 8 В и 1 мА при постоянном токе и 2 В, 0,3 мА при переменном токе частотой 50 Гц [50]. Для обеспечения защиты от прямого прикосновения необходимо применение технических способов и средств основной защиты: основная изоляция, защитное отключение, безопасное расположение токоведущих частей, средства индивидуальной защиты [51]. Требования безопасности при пользовании электроустановками непромышленного назначения должны содержаться в прилагаемых к ним инструкциях по эксплуатации предприятий-изготовителей [51].

Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека раздражающего и токсичного характера проявляются в интенсивном испарении свинцово-оловянного припоя в процессе пайки, а также флюса и канифоли. Предельно допустимая концентрация паров припоя в воздухе составляет 0,05 мг/м<sup>3</sup> (1 класс опасности) [44]. ПДК канифоли и флюса соответственно 4 мг/м<sup>3</sup> и 0,8 мг/м<sup>3</sup> (3 класс опасности) [44]. Работы следует выполнять под включенной воздушной вытяжной вентиляцией.

При работе в зоне воздействия электростатического поля могут развиваться симптомы: раздражительность, головная боль, нарушение сна. При

длительном пребывании человека в таком поле наблюдаются функциональные изменения в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Также имеют место факторы, связанные с повышенным образованием электростатических зарядов. Для уменьшения влияния данных факторов используют: заземляющие устройства, нейтрализаторы, увлажняющие и экранирующие устройства [52]. Также следует применять антиэлектростатическую специальную одежду [52].

При работе человек подвергается факторам, связанным с повышенным уровнем локальных или общих вибраций. Допустимый уровень постоянных вибрации в жилых и общественных зданиях составляет соответственно 72 и 80 дБ (эквивалентное скорректированное значение) [44]. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней вводится поправка в –10 дБ [44].

Для защиты от короткого замыкания при работе с электрооборудованием применяются нулевые защитные проводники, а также защитное отключение (автоматические выключатели) [53].

## **5.4 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

### **5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

При разработке проектного решения влияние на атмосферу происходит через выделение паров вредных веществ (паров олова, свинца и канифоли) в открытый воздух. В целях уменьшения влияния на атмосферу можно использовать устройства для очистки технологических выбросов, например, циклон.



При разработке проектного решения влияние на гидросферу происходит через утилизацию мелких отходов пайки в сточные воды при влажной уборке рабочего места после окончания монтажных работ. Также в сточные воды попадают продукты жизнедеятельности персонала. Для снижения влияния на гидросферу городскими службами устанавливаются водоочистные сооружения.

При разработке проектного решения влияние на литосферу происходит через утилизацию крупных отходов пайки в пункт приема твердых бытовых отходов, а также через специальную утилизацию макулатуры и отработавших люминесцентных ламп.

Отходы пайки и макулатура относятся к V классу опасности и утилизируются в обычном порядке. Для утилизации электронного оборудования следует сперва произвести демонтаж деталей устройства – раздельному сбору подлежат химические источники тока, печатные платы с площадью поверхности больше 10 см<sup>2</sup>, жидкокристаллические экраны, внешние электрические кабели, конденсаторы, содержащие электролит [54]. Газоразрядные люминесцентные лампы, которые также применяются при разработке проектного решения, содержат ртуть и утилизируются специализированными и имеющими лицензию на данный вид деятельности организациями [55].

Разработка газоанализатора относится к производству приборов для электрической промышленности при отсутствии литейных цехов и без применения ртути. Данная категория относится к IV классу опасности производства и должна обеспечиваться санитарно-защитной зоной 100 м.

## **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

ЧС – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или

иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [56].

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

- Пожары, взрывы;
- Внезапное обрушение зданий, сооружений;
- Метеорологические и агрометеорологические опасные явления

Наиболее вероятной ЧС является пожар вследствие несоблюдения норм пожарной безопасности при использовании паяльного оборудования и персонального компьютера. Горючими материалами выступают изоляция электрооборудования и мебель. Источниками возгорания могут являться электрооборудование и электропроводка. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в рабочем помещении.

В качестве средств пожарной безопасности в помещении применяется система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) второго типа, содержащая звуковой способ оповещения и световые оповещатели “Выход” [57]. Для предупреждения возникновения пожара в помещениях применяются автоматические дымовые пожарные извещатели [18]. Радиус зоны контроля – 6,4 м [58].

Согласно классификации пожароопасных зон помещение относится к категории П-Па – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр [59];

В качестве первичных средств пожаротушения в помещении применяются переносные огнетушители углекислотные и порошковые (ОУ-3 и ОП-3). Данные огнетушители предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, возможно применение для тушения электрооборудования, класс пожаров А, Е. Использование порошкового огнетушителя при пожаре на

электроустановках ограничено напряжением 1 кВ, углекислотного огнетушителя – 10 кВ.

## **5.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам.

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности». Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [56].

Категория тяжести труда при разработке газоанализатора – Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением) [44].

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности – В4 [61]. Возможный класс пожара – А, Е [59].

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории [62].

## **6 Концепция стартап проекта**

### **6.1 Введение**

Сегодня в обществе происходит активный переход на “экологическое” мышление – всё популярнее становится концепция “ответственного потребления” [63]. Глобально сообщество стремится к реализации концепции “устойчивого развития”, и в энергетической отрасли наблюдается аналогичный тренд – всё популярнее становится “экологическая” энергетика [64].

Помимо использования альтернативных источников электроэнергии: ветряных и солнечных электростанций, появляются технологии по синтезированию “биогаза” посредством специальной переработки различных материалов [65]. Основная технология такой переработки – плазмохимический синтез, во время которого происходит выделение различных газов из твердых веществ. Основные компоненты газовой смеси во время процесса – метан, водород, углекислый и угарный газ. Отслеживать и управлять концентрацией выделяемых газов – одна из задач обеспечения эффективности плазмохимического синтеза и чистоты синтезируемого “биогаза” [65].

На сегодняшний день мониторинг состояния газовой среды внутри плазмохимического реактора производится с помощью разных приборов: хроматографов, спектрометров, газоанализаторов. Одно из важных направлений развития плазмохимических реакторов – это оптимизация оценки состояния газообразной среды во время процессов.

### **6.2 Проблема конечного потребителя**

На рынке представлены различные модели газоанализаторов для различных задач: бытовые – для оценки качества воздуха в жилых помещениях, автомобильные – для контроля чистоты выхлопных газов, а также промышленные – для соблюдения норм промышленной безопасности и для экологического контроля предприятий. Практически все из представленных

газоанализаторов проводят измерения концентраций газов в пределах норм ПДК [66]. Однако, практически не существует специальных газоанализаторов для измерения больших концентраций опасных газов, которые как раз выделяются в ходе плазмохимического синтеза [66].

Измерение концентрации газов в процессе плазмохимического синтеза очень важно, потому что это позволяет контролировать качество и экологичность синтез-газа, получаемого при переработке [67]. Разрабатываемый газоанализатор разрешает указанные проблемы потребителя.

### **6.3 Защита интеллектуальной собственности**

Защита интеллектуальной собственности на устройство газоанализатора обеспечивается патентным правом. Патентование по региональной системе в Евразийской и Европейской патентных организациях обеспечит прибор патентом на изобретение в России, СНГ и Европейских странах, где потенциально и будет происходить реализация приборов.

Программа работы газоанализатора и компьютерное приложение являются секретом производства и не могут быть скопированы или украдены (исходный код программ недоступен потребителю).

### **6.4 Объем и емкость рынка**

Рынок газоанализаторов представлен продуктами отечественных и зарубежных технологических компаний. В России примерно 80% из всех газоанализаторов применяются на промышленных предприятиях для защиты от угроз техногенного характера, спрос обусловлен постоянным обновлением директив надзорных органов [68]. Остальные сферы специализации газоанализаторов: санитарно-экологический контроль воздуха, бытовое применение, медицина, автомобильная промышленность, сельское хозяйство, лабораторное и научное применение [68].

По информации с сайта компании Промприбор-Р, объем выпускаемой продукции отечественными производителями составляет 6 миллиардов рублей в год [68]. По данным исследования агентства маркетинговых исследований Tebiz Group, по состоянию на 2021 год на российском рынке примерно 91% всех газоанализаторов – импортные [69]. Основные российские производители – Аналитприбор, Промэкоприбор, Оптэк, Спецприбор. Таким образом, можно сформулировать гипотезу, что совокупный объем рынка газоанализаторов в России составляет:

$$Q = \frac{6 \text{ млрд. руб.}}{(100 - 91) \%} = \frac{6 \text{ млрд}}{0,09} \approx 66,7 \text{ (млрд. руб.)} \quad (6)$$

Согласно результатам исследований агентства Mordor Intelligence, в 2020 году объем рынка газоанализаторов в Северной Америке оценивался в 521.2 млн. долларов, а прогнозируемая оценка в 2026 году – 660.7 млн. долларов [70].

## **6.5 Современное состояние и перспективы отрасли**

В современных отраслях промышленности повсеместно используются различные приборы для контроля содержания разнообразных веществ в средах или материалах. На сегодняшний день, в основном, применяют 3 типа приборов: хроматографы, спектрометры и газоанализаторы.

Хроматограф – это лабораторный прибор, позволяющий разделять смесь веществ на отдельные соединения [71]. Устройство способно давать информацию о содержании определенных веществ с помощью встроенных детекторов, измеряющих теплопроводность, электропроводность, радиоактивность веществ. Основное преимущество хроматографов: практически идеальная точность определения соединений и их концентраций в пробе. Главный недостаток прибора – его стоимость (в среднем, 1-2 млн рублей), а также высокая сложность проведения исследований (требуется специально обученный персонал, дорогостоящее лабораторное оборудование) [71].

Спектрометр – это лабораторный прибор, который измеряет спектр излучения исследуемых веществ и, таким образом, определяет их содержание в пробе. Основное преимущество прибора: высокая точность определения крайне малых концентраций веществ (контроль чистоты вещества от примесей). Недостатки: невозможность измерять высокие концентрации, стоимость прибора (от 1 млн рублей), крайне дорогое обслуживание (стоимость всех расходных комплектующих составляет половину стоимости прибора), а самое главное – невозможность исследования газообразных соединений без их растворения в жидкости. Последний недостаток сильно ограничивает применение спектрометров в плазмохимическом синтезе.

Газоанализатор – это прибор, который применяется как в лабораторных условиях, так и в промышленности. Он позволяет в реальном времени измерять концентрацию заранее известных газов, а также параметры атмосферы: температуру и влажность окружающего воздуха. Основное преимущество таких приборов: быстрота и легкость проведения измерений. Главный недостаток газоанализаторов – малый срок службы газовых сенсоров внутри прибора.

Согласно результатам исследований агентства Mordor Intelligence, текущими трендами развития рынка газоанализаторов являются [70]:

- Применение газоанализаторов в металлургии при добыче руды на месторождениях
- Применение газоанализаторов для оптимизации расхода топлива, обнаружения вредных токсичных газов и определения правильного состава смеси газов, необходимых для нефтепереработки.
- Внедрение газоанализаторов для измерения парниковых газов.
- Декарбонизация энергетической отрасли

## **6.6 Конкурентные преимущества разрабатываемого продукта**

Анализ продукции конкурирующих производителей газоанализаторов показал, что основные серийные модели оснащаются сенсорами, значительно ограниченными по диапазону концентраций и количеству измеряемых газов.

Конкурентные преимущества разрабатываемого газоанализатора перед рыночными аналогами:

- Измерение больших концентраций опасных газов, выделяющихся при плазмохимическом синтезе (в 5-10 раз больше, чем у аналогов);

- Одновременное измерение концентрации 7 газов (на 2-5 больше, чем у аналогов);

- Автоматическая подстройка сенсоров для сохранения точности измерений в ходе их изнашивания (уникальное свойство, отсутствует у аналогов);

В разрабатываемом проектном решении применяются относительно недорогие сенсоры (200÷1500 долларов США), которые значительно снижают конечную стоимость прибора. Основной риск использования таких сенсоров – их малый срок службы. Однако, данный риск снижается благодаря особым электротехническим и инженерным решениям при разработке устройства.

Также в состав продукта входит компьютерное приложение, позволяющее проводить отображение и сохранение результатов измерений на ПК, что генерирует добавочную стоимость прибора.

## **6.7 Целевые сегменты потребителей создаваемого продукта**

Основные потребители разрабатываемого газоанализатора по отраслям промышленности (модель B2B):

- Переработка отходов: экологическая утилизацией вредных отходов (пиролитическое масло, резина, биологические отходы, стекло);



- “Эко-энергетика”: производители биогаза из угля и биомассы
  - Машиностроение: производители установок плазмохимического синтеза и пиролиза;
  - Научные предприятия и лаборатории установок плазменного синтеза
- Второстепенные потребители газоанализаторов:
- Агропромышленный комплекс и пищевая промышленность
  - Нефте-газо-добыча
  - Отчистка сточных вод
  - Metallургия и добыча руд

## 6.8 Планируемая стоимость продукта

Основной составляющей себестоимости газоанализатора являются газовые сенсоры. В первую очередь, газовые сенсоры должны обладать диапазоном измеряемой концентрации выше, чем теоретическая концентрация газа. Таким образом, используемые в газоанализаторе сенсоры соответствуют таблице №11.

Таблица 11 – Наименования сенсоров, которые применяются в разрабатываемом устройстве и их стоимость (по состоянию на март 2022 года) [72].

Целевой газ	Наименование сенсора	Стоимость сенсора
Кислород	Honeywell 5OxLL Longlife Oxygen CiTiceL	672 дол.
Водород	Membrapor H2/C-40000	224 евро
Оксид азота NO	Membrapor NO/CF-2000	205 евро
Диоксид серы SO2	Membrapor SO2/CF-10000	266 евро
Угарный газ CO	Honeywell 4MF Carbon Monoxide Sensor	657 дол.
Углекислый газ CO2	smartGAS F3-212307-05000	1500 дол.
Метан CH4	MIPEX-02-1-II-3.1 A	11200 руб.

Стоимость применяемых газовых сенсоров в переводе на рубли и доллары соответствует данным согласно таблице 12.

Таблица 12 – Совокупная стоимость газовых сенсоров

По курсу мая 2022 (1 дол. = 60 руб., 1 евро = 65 руб.)	226115 руб.	3601,8 дол.
По курсу марта 2022 (1 дол. = 100 руб., 1 евро = 120 руб.)	377500 руб.	3470,2 дол.

Разница в стоимости обусловлена нестабильным курсом валют во время изучения цен на определенные сенсоры.

Остальные комплектующие в совокупности обладают намного меньшей стоимостью, по сравнению с газовыми сенсорами. Исходя из этого, можно принять, что стоимость остальных комплектующих составляет примерно 6% от стоимости всех сенсоров, или же примерно 13,5 тысяч рублей (данные комплектующие закупаются из России, поэтому стоимость имеет смысл привести только в рублях).

Итоговая стоимость продукта по состоянию на май 2022 года составляет примерно 240 тысяч рублей или 4 тысячи долларов.

## 6.9 Бизнес-модель проекта

Бизнес-модель — это концептуальная модель бизнеса, которая иллюстрирует логику создания добавленной стоимости. Данная модель отвечает на ключевые вопросы, связанные с реализацией продукта, описывая свойства потребителя, ресурсов и самого продукта с коммерческой точки зрения [73].

В данной работе приводится разработка бизнес-модели газоанализатора по шаблону А. Остервальдера и И. Пинье. Данная модель включает в себя девять блоков с характеристиками: сегментов потребителя, ценностного предложения, каналов сбыта продукта, взаимоотношений с клиентами, потока доходов организации, ключевых ресурсов, видов деятельности организации, ключевых партнеров и поставщиков, а также структуры расходов предприятия [74].

Схема бизнес-модели газоанализатора по модели Остервальдера приведена в Приложении И.

## 6.10 Производственный план и план продаж

При планировании производства важным является определение точки безубыточности. Точка безубыточности – это объём производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие получает прибыль. Точку безубыточности измеряют в натуральном или денежном выражении.

Точка безубыточности в натуральном выражении рассчитывается по формуле:

$$BEP = \frac{TFC}{(p - AVC)}, \quad (7)$$

где:  $BEP$  – точка безубыточности;

$TFC$  – постоянные издержки;

$AVC$  – переменные издержки на единицу продукции;

$p$  – цена реализации товара покупателю.

К постоянным расходам относится зарплата работника-монтажника, осуществляющего сборку устройства, и зарплата мастера-настройщика устройства (по 25000 рублей в месяц), а также аренда производственного помещения (10000 рублей в месяц) и оплата коммунальных услуг (в основном, электричества – 1000 рублей в месяц).

К переменным издержкам относятся стоимость расходных материалов для производства одного прибора (1000 рублей), а также стоимость комплектующих для производства одного устройства (240000 рублей).

Цена товара складывается из его себестоимости, маржи и ставки НДС = 20%. Итоговая цена одного продукта равняется 300000 рублей. Расчет точки безубыточности:

$$BEP = \frac{TFC}{(p - AVC)} = \frac{2 * 25000 + 10000 + 1000}{300000 - (240000 + 1000)} \approx 1 \quad (8)$$

Таким образом, при реализации хотя бы одного прибора в месяц, доходы превысят совокупные расходы и будет достигнута прибыльность производства.

### **6.11 Стратегия продвижения продукта на рынок**

Жизненный цикл продукта соответствует методу водопада, или каскадному методу. Данная модель разработки заключается в последовательности жестко заданных стадий жизненного цикла разработки — с последовательным прохождением стадий анализа требований, проектирования, реализации, тестирования, интеграции и поддержки. Данная модель используется из-за технологической сложности разработки и производства продукта.

Исследуя каналы маркетинга продукта, можно выделить следующие эффективные пути продвижения на рынке:

1) Научно-технологические форумы и выставки. На таких мероприятиях одновременно присутствуют множество компаний — потенциальных потребителей продукта. Посредством установления личных коммуникаций и наглядной демонстрации работы устройства, реализуется наиболее эффективная реклама продукта. Примеры подобных мероприятий: Российский форум “Микроэлектроника”, международная научно-практическая конференция “Электронные средства и системы управления”.

2) Публикация статей в Интернет-журналах и на образовательно-технологических онлайн ресурсах. Данный канал маркетинга является наиболее оптимальным для продвижения газоанализатора, так как такой способ собирает большое количество потенциальных потребителей. Публикация статьи образовательно-технического характера в контексте предлагаемого продукта позволяет проводить практически бесплатную рекламную кампанию. Примеры подобных Интернет-ресурсов: [Хабр](#), [Компэл](#), [Industry Hunter](#), [Element14](#), электронный журнал “[Компоненты и технологии](#)”.

## **Заключение**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы было спроектировано высокотехническое устройство, позволяющее повысить качество сложных технологических процессов. Разработанный газоанализатор удовлетворяет предъявляемым к нему техническим требованиям. Для достижения поставленной цели было: проведено исследование и анализ принципов проектирования газоанализаторов, составлена структурная схема и на её основе произведен подбор компонентов устройства, разработаны электрические принципиальные схемы и спроектирован печатный узел. Также был написан программный код работы микроконтроллера устройства и программа компьютерного приложения.

В ходе работы над стартап-проектом была доказана актуальность разработки и её востребованность на рынке, произведен анализ современного состояния отрасли и анализ потенциального потребителя. Была также рассчитана стоимость производства устройства, исследованы способы защиты интеллектуальной собственности и представлены пути для продвижения продукта на рынке.

В процессе выполнения раздела “Социальная ответственность” были выявлены ключевые опасные и вредные факторы при проведении разработки газоанализатора. На основе выявленных факторов найдены способы уменьшения их влияния на окружающую среду и способы устранения опасных факторов.

## Список использованных источников

1. Пат. 2700596 Российская Федерация, МПК C01B 32/991, B22F 9/14. Устройство для получения порошка на основе карбида бора [Текст] / Мартынов Р. С., Пак А.Я., Мамонтов Г.Я.; заявитель и патентообладатель фед. гос. авт. обр. учреждение высш. обр. «Нац. иссл. Томский политехнич. ун-т». – 2019111857/19; заявл. 19.04.2019; опубл. 18.09.2019, Бюл. № 26, URL: [https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2700596&TypeFile=html](https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2700596&TypeFile=html) (Дата обращения: 27.05.2022)

2. Кононенко П. Н. Синтез карбида молибдена для возобновляемой энергетики / П. Н. Кононенко, Ю. З. Васильева, А. Я. Пак ; науч. рук. А. Я. Пак // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Стромберга, 21–24 сентября 2020 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2020. — [С. 651-652]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/63571> (Дата обращения: 27.05.2022)

3. Болатова Ж. Плазменная утилизация угольного шлака / Ж. Болатова, А. В. Филимоненко ; науч. рук. А. Я. Пак // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 17-20 мая 2021 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — Т. 1. — [С. 34-35]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/66199> (Дата обращения: 27.05.2022)

4. Кокорина А. И. Безвакуумный электродуговой синтез карбидов вольфрама / А. И. Кокорина, А. А. Гумовская ; науч. рук. А. Я. Пак // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня

основания Томского политехнического университета, Томск, 17-20 мая 2021 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — Т. 2. — [С. 341-342]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/67652> (Дата обращения: 27.05.2022)

5. Neha Arora, N.N. Sharma Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review. Diamond and Related Materials 2014, 50. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925963514001952> (Дата обращения: 27.05.2022)

6. Государственный реестр средств измерений: Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. [Электронный ресурс], режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4>, свободный. (Дата обращения: 27.05.2022)

7. Портативный газоанализатор Тест-203 [Электронный ресурс]: / ООО "Бонэр". – веб-сайт компании. – Новосибирск. – Режим доступа: [http://www.boner.ru/index.php?action=topics&menu\\_id=348&page\\_id=347](http://www.boner.ru/index.php?action=topics&menu_id=348&page_id=347), свободный (Дата обращения: 27.05.2022)

8. Анищенко Ю.В. Многокомпонентный газоанализатор с полупроводниковым датчиком: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.11.13 / Ю. В. Анищенко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. В. Ф. Панин. — Защищена 21.12.2010 г. — Томск: 2010. — 155 л.: ил.

9. Дивин А. Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: в 5 ч. / А. Г. Дивин, С. В. Пономарев (ч. 1, 2011); А. Г. Дивин, С. В. Пономарев, Г. В. Мозгова (ч. 2, 2012) ; А. Г. Дивин, С. В. Пономарев (ч. 3, 2013). – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Режим доступа: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2014/divin.pdf> , свободный (Дата обращения: 27.05.2022)

10. Газоанализаторы многокомпонентные «Полар» и «Полар Универсал». Руководство по эксплуатации: // ООО «Промэкоприбор», Санкт-Петербург. URL: <https://gazoanalizators.ru/upload/iblock/5af/0cmhqwm3gd4zjr0366c5xdh5h5pmf3v7/polar-polar-uni-re.pdf> (Дата обращения: 27.05.2022)

11. ГОСТ 17.2.6.02-85 Охрана природы. Атмосфера. Газоанализаторы автоматические для контроля загрязнения атмосферы. Общие технические требования: [Электронный ресурс], режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847485.htm>, свободный. (Дата обращения: 27.05.2022)

12. Pierre Sennequier, Signal conditioning for electrochemical sensors. AN4348 Application note // ST Microelectronics. 2017. URL: [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an4348-signal-conditioning-for-electrochemical-sensors-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an4348-signal-conditioning-for-electrochemical-sensors-stmicroelectronics.pdf) (Дата обращения: 27.05.2022).

13. Олейников О. Расстановка точек над датчиками газа серии MQ – глубокое понимание даташита и настройка: // Хабр. 2020. URL: <https://habr.com/ru/post/490654/>. (Дата обращения: 27.05.2022)

14. Колосов А.С., Разработка измерительной информационной системы газового анализа. – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2018, 71 с., 9 ил., 9 табл., библиогр. список – 20 наим., 3 прил. [Электронный ресурс], режим доступа: [https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/25901/2018\\_431\\_kolosovas.pdf?sequence=1](https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/25901/2018_431_kolosovas.pdf?sequence=1), свободный (Дата обращения: 27.05.2022)

15. Основные типы газовых сенсоров, применяющихся в современном газоаналитическом оборудовании: // IGM, Завод-производитель газоаналитического оборудования. URL: <https://igm-pribor.ru/for-specialists/sensory/> (Дата обращения: 27.05.2022)

16. A.Ya. Pak, K.B. Larionov, E.N. Kolobova, K.V. Slyusarskiy, J. Bolatova, S.A. Yankovsky, V.O. Stoyanovskii, Yu.Z Vassilyeva, V.E. Gubin A novel approach of waste tires rubber utilization via ambient air direct current arc discharge plasma, Fuel Processing Technology, Volume 227, 2022, 107111 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107111>, свободный (Дата обращения: 27.05.2022)

17. A.Ya. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov, A.I. Kokorina Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc



discharge, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 93, 2020, 105343 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105343>, свободный (Дата обращения: 27.05.2022)

18. Кононенко П. Н. Дифференциальный термический анализ ультрадисперсного продукта синтеза системы "молибден-углерод" / П. Н. Кононенко, А. Я. Пак; науч. рук. А. Я. Пак // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 21-24 апреля 2020 г. : в 7 т. — Томск : Изд-во ТУСУР, 2020. — Т. 2 : Химия. — [С. 92-94]., URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/63025> (Дата обращения: 27.05.2022)

19. Васильева Ю. З. Плазмохимический электроразрядный синтез карбида молибдена / Ю. З. Васильева, П. Н. Кононенко, А. Я. Пак ; науч. рук. А. Я. Пак // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А. Г. Стромберга, 21–24 сентября 2020 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2020. — [С. 50-52]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/63640> (Дата обращения: 27.05.2022)

20. Infrared gas Sensor, Carbon dioxide CO<sub>2</sub>, 30 Vol.-%, item number: F3-212307-05000 // smartGAS. URL: [https://www.smartgas.eu/fileadmin/11\\_aktuelle\\_datenbl%C3%A4tter\\_flow/DS\\_F3-212307-05000\\_CO2\\_30\\_Vol.-.pdf](https://www.smartgas.eu/fileadmin/11_aktuelle_datenbl%C3%A4tter_flow/DS_F3-212307-05000_CO2_30_Vol.-.pdf). (Дата обращения: 27.05.2022)

21. Specification sheet for NO sensor type NO/CF-2000 // Membrapor. URL: [https://analit-m.ru/uploads/all/27/25/2b/27252bd86f9fc87d35dba70cad24120f/sx-o-file\\_NO-CF-2000.pdf](https://analit-m.ru/uploads/all/27/25/2b/27252bd86f9fc87d35dba70cad24120f/sx-o-file_NO-CF-2000.pdf) (Дата обращения: 27.05.2022)

22. SO<sub>2</sub>-BE Sulfur Dioxide Sensor: // Performance Data., Alphasense Ltd. URL: <https://www.alphasense.com/wp-content/uploads/2015/11/SO2BE.pdf>. (Дата обращения: 27.05.2022)

23. Product Datasheet 4MF Carbon Monoxide Sensor // Honeywell CiTicell.  
URL: <https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/siot/engb/products/sensors/gas-sensors/4-series/documents/sps-siot-citytech-4mf-sensor-datasheet.pdf?download=false> (Дата обращения: 27.05.2022)

24. Product Datasheet 5OxLL Longlife Oxygen CiTiceL® (for emissions applications) // Honeywell CiTicell. URL: <https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/sps/siot/engb/products/sensors/gas-sensors/4-series/documents/sps-siot-citytech-5oxll-emissions-sensor-datasheet.pdf?download=false>. (Дата обращения: 27.05.2022)

25. Малогабаритный измерительный датчик взрывоопасных газов MIPEX-02: MIPEX-02-1-II-3.1 А // Руководство по эксплуатации, ООО «Оптосенс». URL: <https://mipex-tech.com/upload/iblock/077/ESAT.100300.00.01%20%D0%A0%D0%AD.pdf>. (Дата обращения: 27.05.2022)

26. SPECIFICATION SHEET FOR H<sub>2</sub> SENSOR TYPE H2/C-40000 // Membrapor. URL: [https://analit-m.ru/uploads/all/cc/3f/0f/cc3f0fd9cfa49a5a1d8d7ca6fc2d38d6/sx-o-file\\_h2-c-40000.pdf](https://analit-m.ru/uploads/all/cc/3f/0f/cc3f0fd9cfa49a5a1d8d7ca6fc2d38d6/sx-o-file_h2-c-40000.pdf). (Дата обращения: 27.05.2022)

27. Operating Principles19 - 4OxLL / 5OxLL CiTiceL // Honeywell CiTicel.  
URL: <https://manualzz.com/doc/42153327/4oxll---5oxll-citice1%C2%AE> (Дата обращения: 27.05.2022)

28. Application Note MEM1 Electrochemical Gas Sensor // Membrapor. URL: [https://www.membrapor.ch/sheet/Application\\_Note\\_MEM1.pdf](https://www.membrapor.ch/sheet/Application_Note_MEM1.pdf) (Дата обращения: 27.05.2022)

29. Сайт компании “Mill-MAX” – Параметры коннектора 9801 URL: [https://www.mill-max.com/products/receptacle/9801?s\\_term=9801&s\\_type=Quick%2FProduct%2FPart+Number+Search](https://www.mill-max.com/products/receptacle/9801?s_term=9801&s_type=Quick%2FProduct%2FPart+Number+Search) (Дата обращения: 27.05.2022)

30. Сайт компании “Mill-MAX” – Параметры коннектора 0322 URL: [https://www.mill-max.com/products/receptacle/0322?s\\_term=0322&s\\_type=Quick%2FProduct%2FPart+Number+Search](https://www.mill-max.com/products/receptacle/0322?s_term=0322&s_type=Quick%2FProduct%2FPart+Number+Search) (Дата обращения: 27.05.2022)

31. Насос воздушно-водяной R385 – Compact Tool. (Веб-сайт) URL: <https://compacttool.ru/nasos-vozdushno-vodyanoj-r385-6-12v-15-2-lm> (Дата обращения: 27.05.2022)
32. Модуль реле HW-383 12В 2-канала электромеханическое – ArduinoPro (Веб-сайт) URL: <https://arduinopro.ru/product/srd-12vdc-sl-c-2-channel-rele/> (Дата обращения: 27.05.2022)
33. Техническая документация на микроконтроллеры ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V // Atmel. URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf) (Дата обращения: 27.05.2022)
34. AM2302 Product Manual Temperature and humidity module // Aosong. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/426/DOC001426886.pdf> (Дата обращения: 27.05.2022)
35. Огородников Д.Н. – Силовая электроника: Конспект лекций. – Томск.: ТПУ, ИШНКБ, 1А8А, 2022.
36. Забродин Ю.С. – Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: ООО ИЦ “Альянс”, 2014, - 496 с, ил.
37. MEM2 Application Note Oxygen Sensors // Membrapor, URL: [https://www.membrapor.ch/sheet/Application\\_Note\\_MEM2\\_Oxygen\\_Sensor.pdf](https://www.membrapor.ch/sheet/Application_Note_MEM2_Oxygen_Sensor.pdf) (Дата обращения: 27.05.2022)
38. Техническая документация: “Micropower, Dual and Quad, Single Supply, Precision Op Amps: LT1078/LT1079”. Linear Technology Corporation URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/10789fe.pdf> (Дата обращения: 27.05.2022)
39. Техническая документация: “P-Channel Switch J174 / J175 / J176 / J177 / MMBFJ175 / MMBFJ176 / MMBFJ177”. Fairchild Semiconductor URL: <https://static.chipdip.ru/lib/310/DOC000310097.pdf> (Дата обращения: 27.05.2022)
40. ZXRE125 Document number: DS32170 Rev. 8 – 2 SOT23 micropower 1.22 V voltage reference. URL:

<https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ZXRE125.pdf> (Дата обращения:  
27.05.2022)

41. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020) "О специальной оценке условий труда" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021)

42. Трудовой кодекс Российской Федерации

43. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ "Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования"

44. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"

45. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. "Средства и методы защиты от шума. Классификация"

46. СП 51.13330.2011 "Защита от шума" Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003

47. МР 2.2.9.2311-07 "Методические рекомендации. 2.2.9. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности"

48. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ "Оборудование производственное. Общие требования безопасности"

49. ТИ Р М-075-2003 – "Межотраслевые типовые инструкции по охране труда для работников, занятых проведением работ по пайке и лужению изделий"

50. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. "Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов" ПЕРЕИЗДАНИЕ (июнь 2001 г.) с Изменением N 1, утвержденным в декабре 1987 г.

51. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ "Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты"

52. ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ "Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования"

53. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ “Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”

54. ГОСТ Р 55102-2012 “Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутисодержащих устройств и приборов”

55. ГОСТ Р 52105-2003 “Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутисодержащих отходов”

56. ГОСТ Р 22.0.02-2016 “Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения”

57. НПБ 104-03 Об утверждении норм пожарной безопасности “Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях”

58. СП 484.1311500.2020 “Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования”

59. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”

60. Приказ от 15 декабря 2020 года N 903н “Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок”

61. СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности”

62. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года N 2398 “Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий”

63. What are the Sustainable Development Goals? – United Nations Development Programme. Веб-сайт. URL: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals#affordable-and-clean-energy> (дата обращения: 01.06.22)

64. BP Statistical Review of World Energy June 2016 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bp.com/statisticalreview>.

65. Биогаз и биосингаз: перспективы, особенности и характеристики – Синтек. Веб-сайт. URL: [https://zavod-gs.ru/blog\\_direktora/biogaz.html](https://zavod-gs.ru/blog_direktora/biogaz.html) (дата обращения: 01.06.22)

66. Газоанализатор. Веб-сайт. URL: <https://www.gazanalizator.ru/klassifikator/tip-pribora/gazoanalizator> (дата обращения: 01.06.22)

67. Лавренов В.А. Экспериментальное исследование процесса двухстадийной термической конверсии древесной биомассы в синтез-газ [Электронный ресурс]: автореферат диссертации, Москва, 2016. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/eksperimentalnoe-issledovanie-protsessa-dvukhstadiinoi-termicheskoi-konversii-drevesnoi-biom/read>, свободный. (дата обращения: 01.06.22)

68. Обзор российского рынка газоанализаторов – Промприбор–Р (вебсайт компании). URL: [https://pribor-r.ru/dokumenty/publikatsii/kratkiy\\_obzor\\_rossiyskogo\\_rynka\\_gazoanalizatorov/](https://pribor-r.ru/dokumenty/publikatsii/kratkiy_obzor_rossiyskogo_rynka_gazoanalizatorov/) (дата обращения: 01.06.22)

69. Рынок газоанализаторов в России - 2021. Показатели и прогнозы. – РБК. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/43083/> (дата обращения: 01.06.22)

70. Gas analyzer market - growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2022 - 2027) – Mordor Intelligence. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/gas-analyzer-market> (дата обращения: 01.06.22)

71. Хроматограф – устройство, принцип действия, виды. “Спектралит”: 2020, Веб-сайт. URL – <https://spectranalit.ru/articles/chto-takoe-khromatografy/> (дата обращения: 01.06.22)

72. “Газсенсор” – Газовые датчики и сенсоры. Веб-сайт. URL: <https://gassensor.ru/> (дата обращения: 01.06.22)

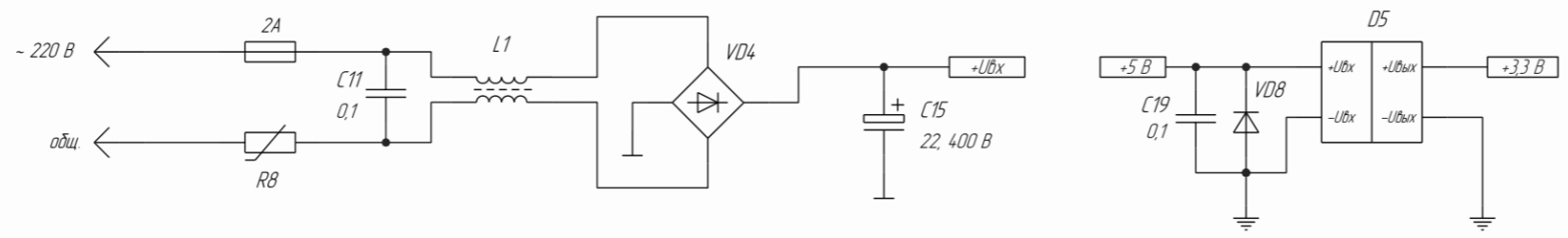
73. Бизнес-модель Остервальдера: что это такое? – ProductStar: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/s/productstar/135102-biznes-model-ostervaldera-chto-eto-takoe>, свободный (дата обращения: 01.06.22)

74. Остервальдер А., Пинье И. Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора. — М.: Альпина Паблицер, 2016. — 288 с. (с. 20–43, 51–80)

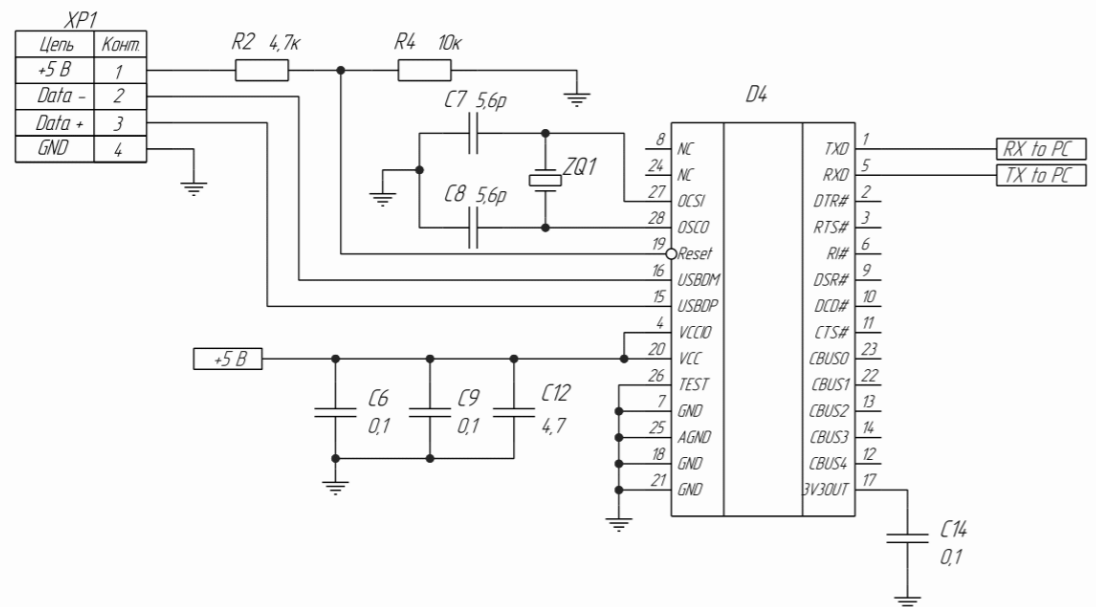
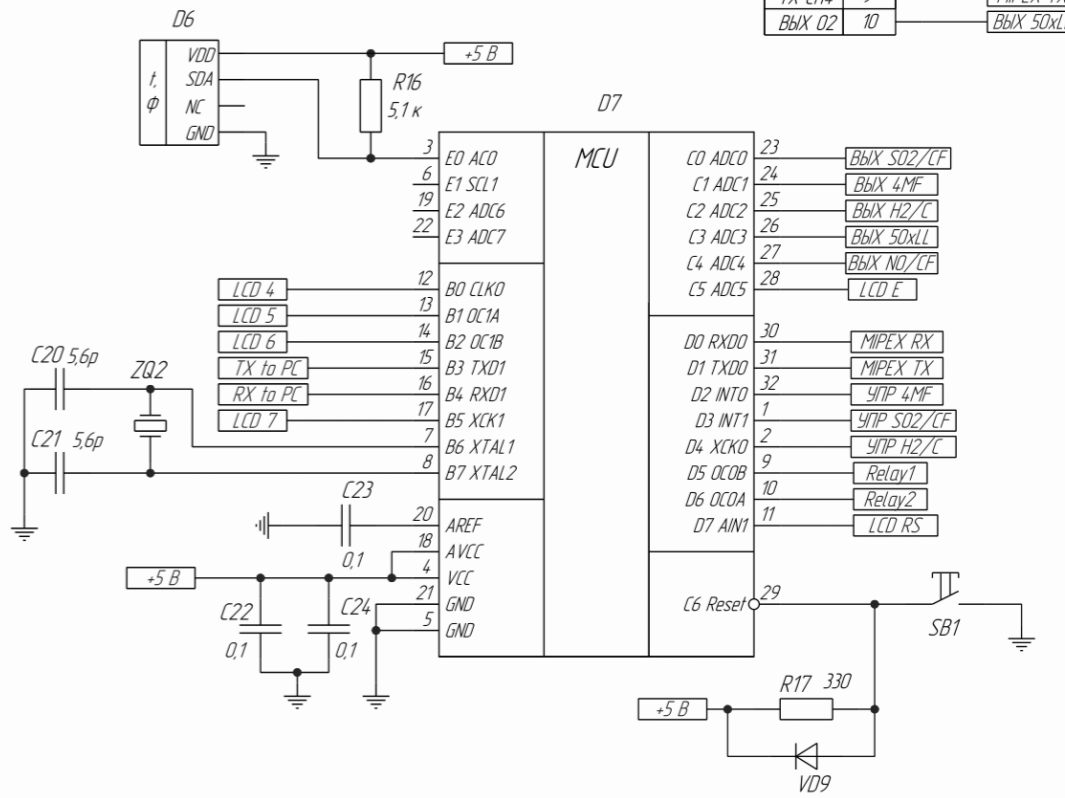
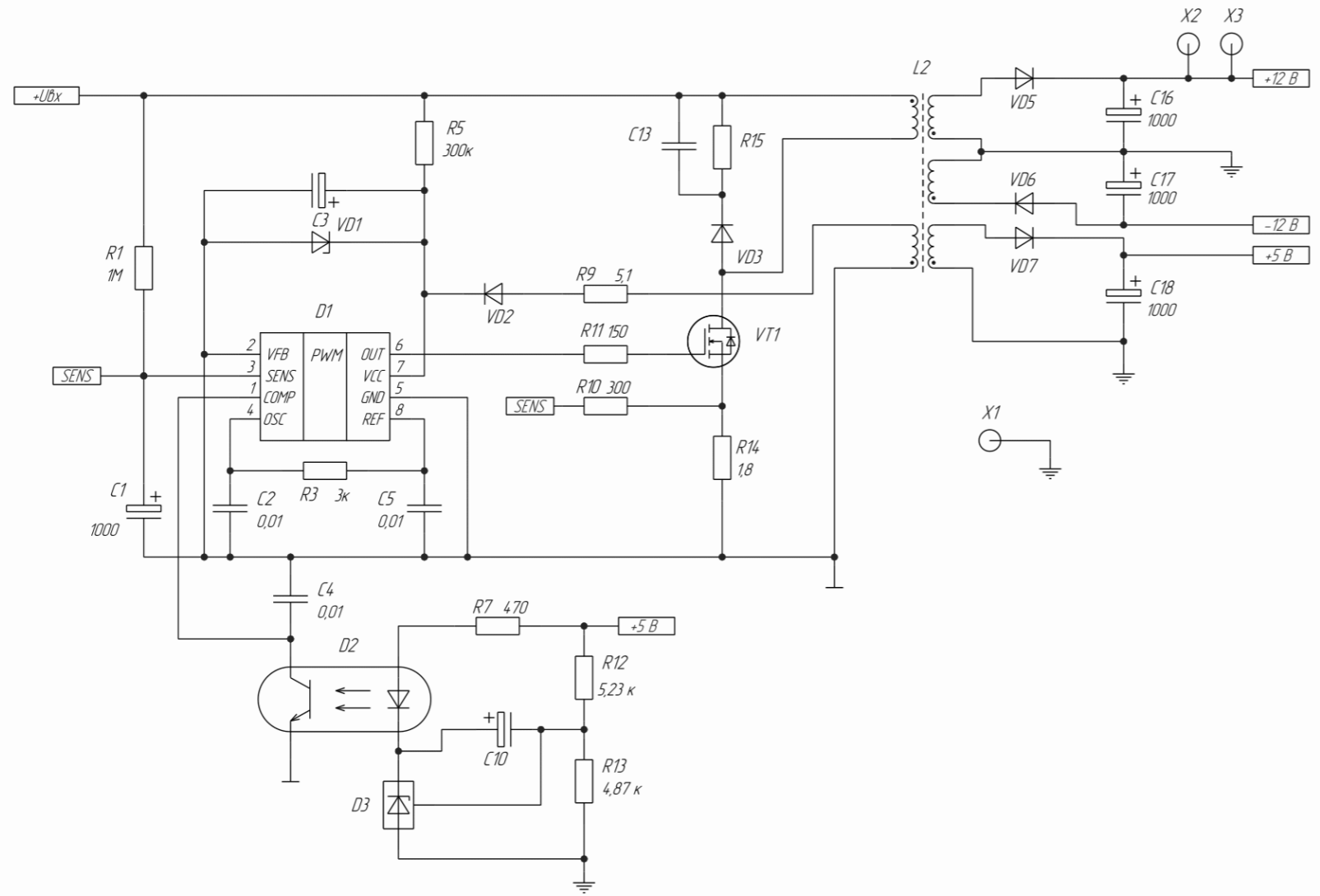
## Приложение А

ФЮРА.400001.001Э3 Схема платы питания и микроконтроллера

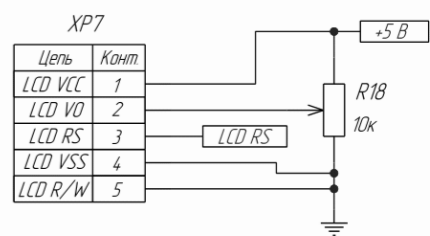




Цель	Конт.	Комп.
УПР СО	1	УПР 4MF
УПР СО2	2	УПР СО2/CF
ВЫХ СО	3	ВЫХ СО2/CF
ВЫХ СО	4	ВЫХ 4MF
RX CH4	5	МИРЕХ RX
ВЫХ H2	6	ВЫХ H2/C
УПР H2	7	УПР H2/C
ВЫХ NO	8	ВЫХ NO/CF
TX CH4	9	МИРЕХ TX
ВЫХ O2	10	ВЫХ 50xLL



Цель	Конт.	Комп.
LCD DB4	1	LCD 4
LCD DB5	2	LCD 5
LCD DB6	3	LCD 6
LCD DB7	4	LCD 7
LCD E	5	LCD E



Цель	Конт.	Комп.
VCC	1	+5 В
Relay 1	2	Relay1
Relay 2	3	Relay2
GND	4	
GND	5	

Цель	Конт.	Комп.
+12 В	1	-12 В
-12 В	2	+12 В

Цель	Конт.	Комп.
+3.3 В	1	+3.3 В
GND	2	

Перв. примен.  
Справ. №  
Лист дата  
Инд. № дораб.  
Взам. инв. №  
Лист и дата  
Инд. № подл.

**ФЮРА.400001.00133**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Схема платы питания и микроконтроллера</b>	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.	Контр.	Контр.				Лист	Листов	
Проб.								
Н.контр.								
Утв.								

1А8А ИШНКС ТПУ

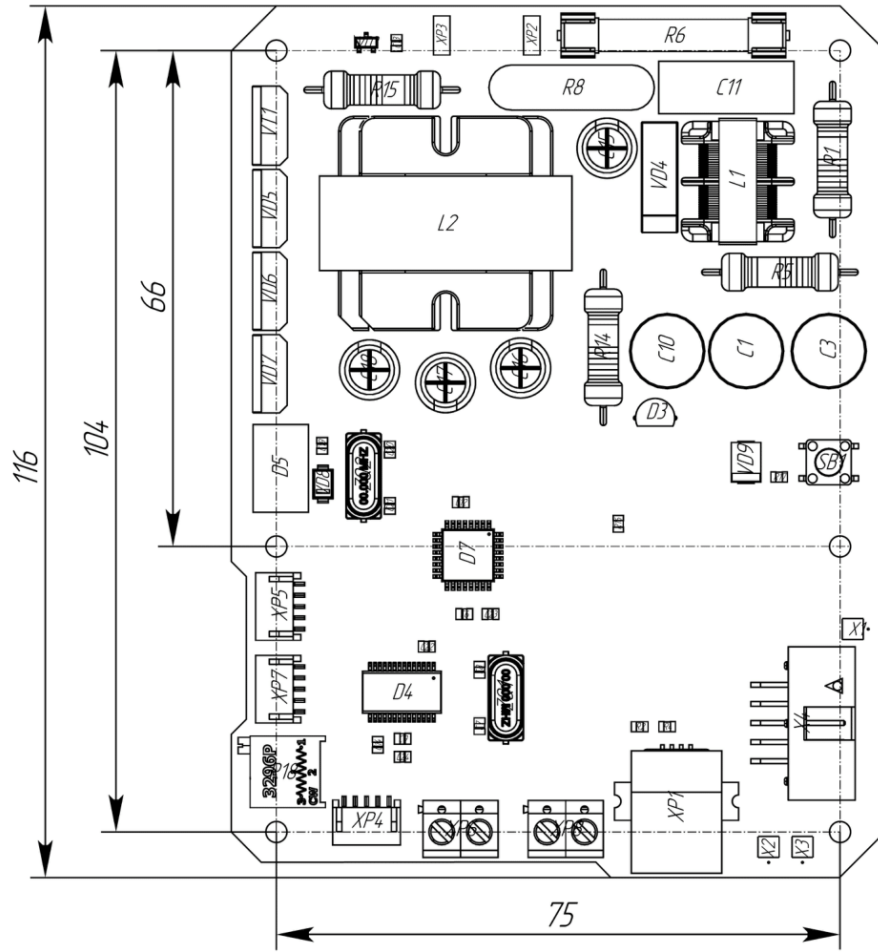
Копировал Формат А2

## Приложение Б

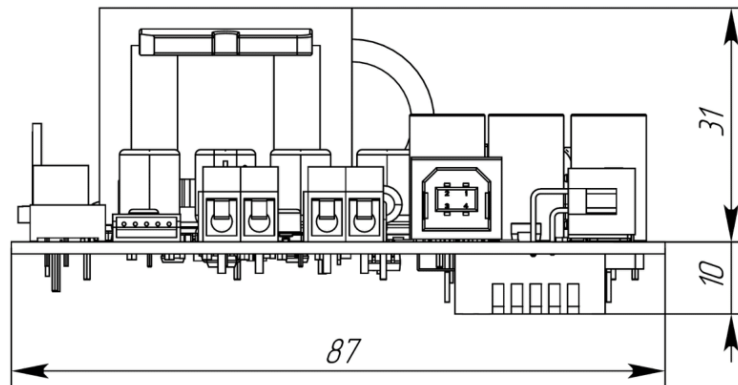
ФЮРА.400001.002СБ Сборочный чертеж платы питания и микроконтроллера

ФЮРА.400001.002СБ

Вид сверху



Вид спереди



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.400001.002СБ

Сборочный чертеж платы  
питания и  
микроконтроллера

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 7	

1А8А, ИШНКБ ТПУ

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кокшаров		
Пров.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

## Приложение В

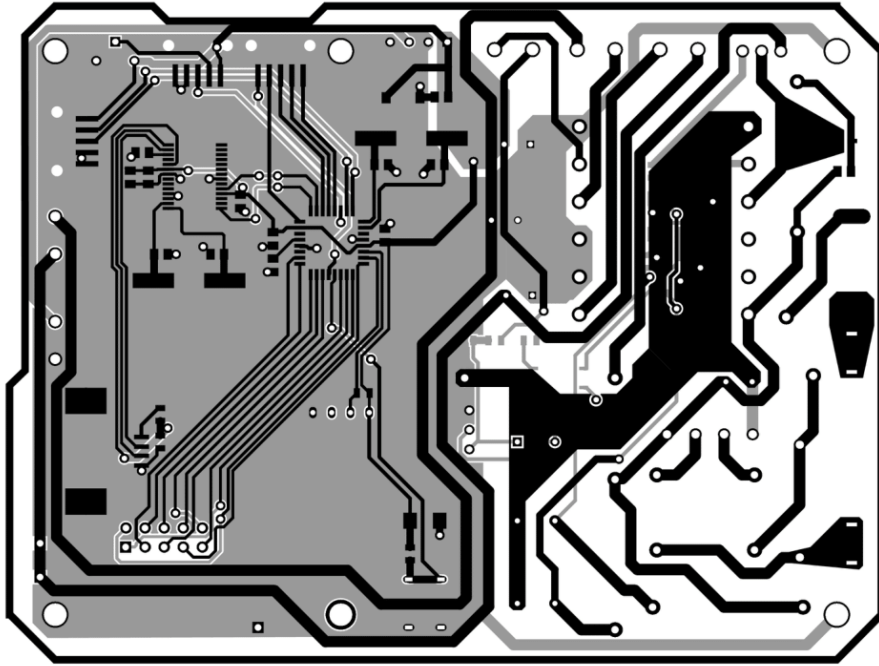
ФЮРА.400001.003 Печатная плата питания и микроконтроллера

ФЮРА.400001.003

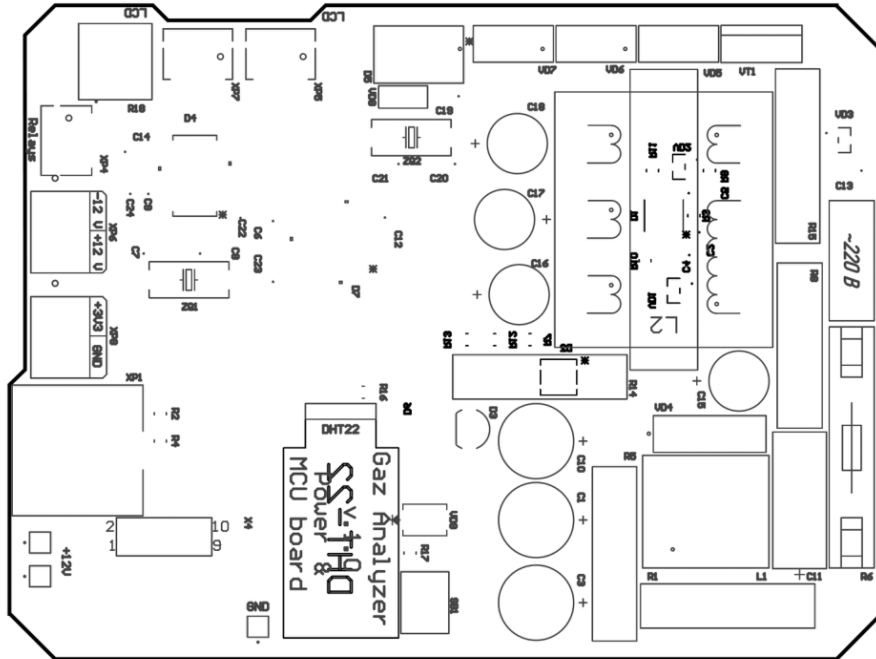
Перв. примен.

Справ. №

Верхний и нижний проводящие слои



Слой верхней и нижней шелкографии



Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.400001.003

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кокшаров		
Пров.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Печатная плата питания и микроконтроллера

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 2	Листов 7	

1А8А, ИШНКБ ТПУ

## Приложение Г

ФЮРА.400001.004СП Перечень элементов платы питания и микроконтроллера

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч	
					<u>Документация</u>			
				ФЮРА.400001.001	Схема платы питания и микроконтроллера			
				ФЮРА.400001.002СБ	Сборочный чертеж			
				ФЮРА.400001.003	Печатная плата			
				ФЮРА.400001.004СП	Перечень элементов			
					<u>Прочие изделия</u>			
					Конденсаторы			
			1		ЕСАР (К50-35) 1000	1	С1	
			2		0805 0,01	3	С2,С4,С5	
Справ. №			3		ЕСАР (К50-35) 47x25В	1	С3	
			4		ЕСАР (К50-35) 1x50В	1	С10	
			5		0805 0,1	7	С6,С9,С14, С19,С22, С23,С24	
			6		0805 5,6р	4	С7,С8, С20,С21	
					ФЮРА.400001.004СП			
					Перечень элементов	Лит.	Масса	Масштаб
						Лист 3	Листов 7	
						1А8А, ИШНКБ ТПУ		
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.		Кокшаров					
	Пров.							
	Т.контр.							
	Н.контр.							
Подп. и дата	Утв.							
Взам. инв. №								
Инв. № дубл.								
Подп. дата								

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч	Инв. № подл.	Дата	Инв. № докл.	Инв. №	Взам. инв. №	Дата	Подп.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		7		B32922C3104K289 0,1 ± 10%	1	С11												
		8		ECAP(K50-35)22x400B	1	С15												
		9		ECAP(K50-35) 1000	3	С16, С17, С18												
		10		Микросхемы UC3843B SOIC-8	1	D1												
		11		LTV-817S-TA1-C DIP-4	1	D2												
		12		TL431 TO-92	1	D3												
		13		FT232R SSOP28-LD	1	D4												
		14		IL0524S XPP	1	D5												
		15		AM2302	1	D6												
		16		Atmega328PB 32TQFP	1	D7												
		17		Дроссели PLA10AS2221R5R2B 2,2 мГн 250В	1	L1												
		18		EI 33	1	L2												
		19		Резисторы KNP-200 2 Вт 1 МОм 5%	1	R1												
			Перечень элементов													Лист		
																4		
			Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата											

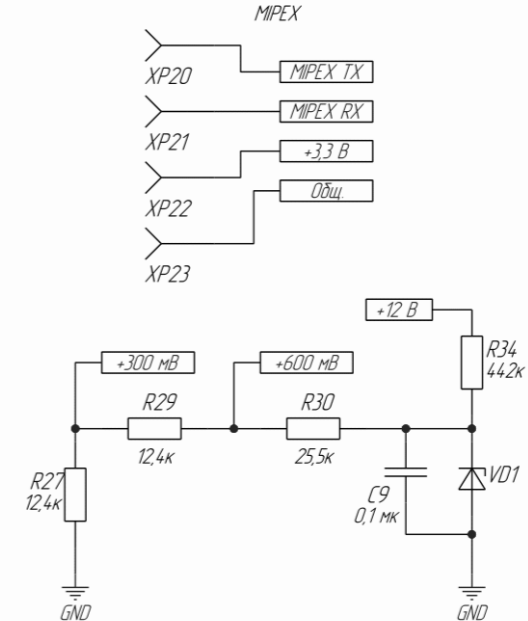
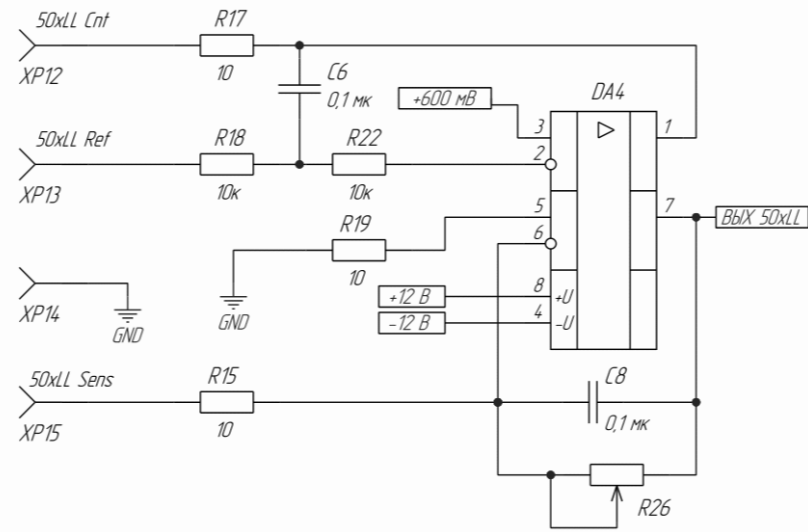
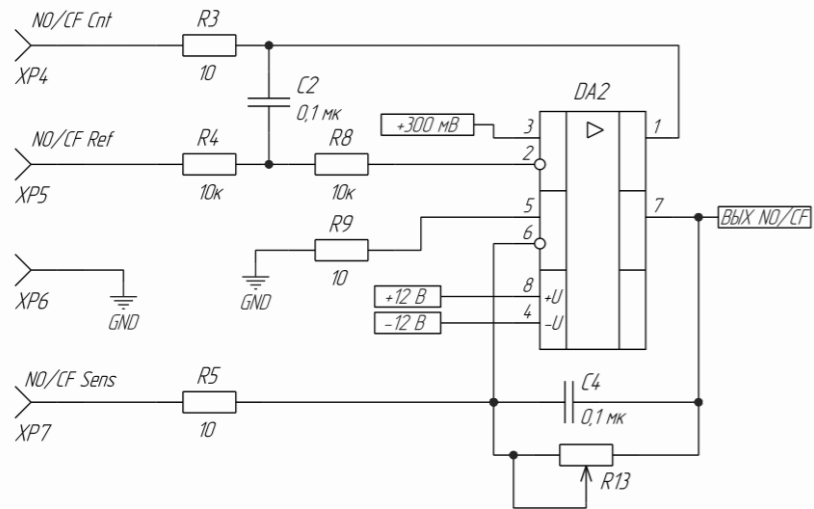
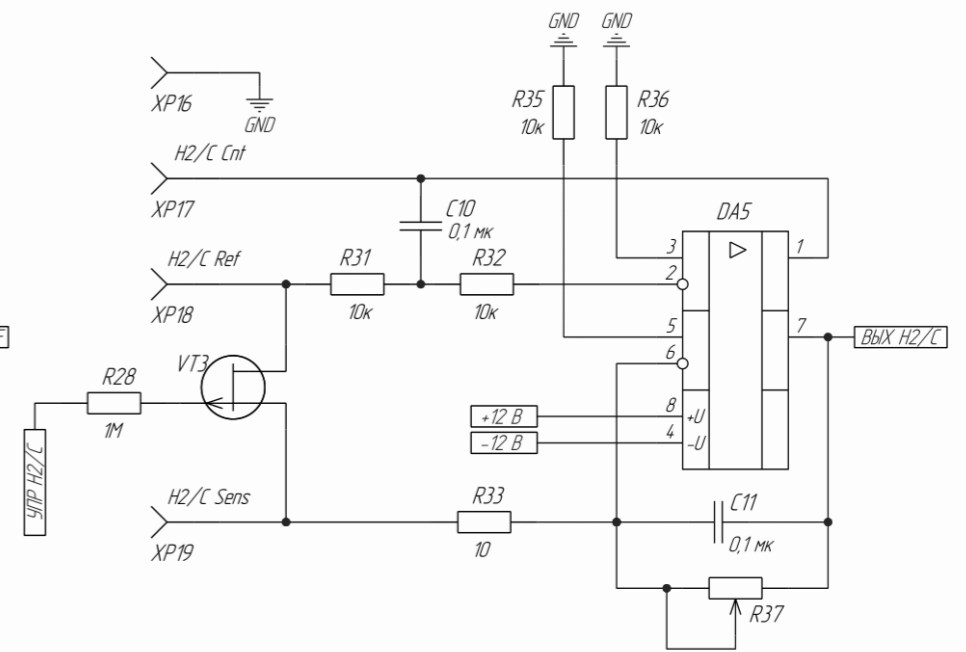
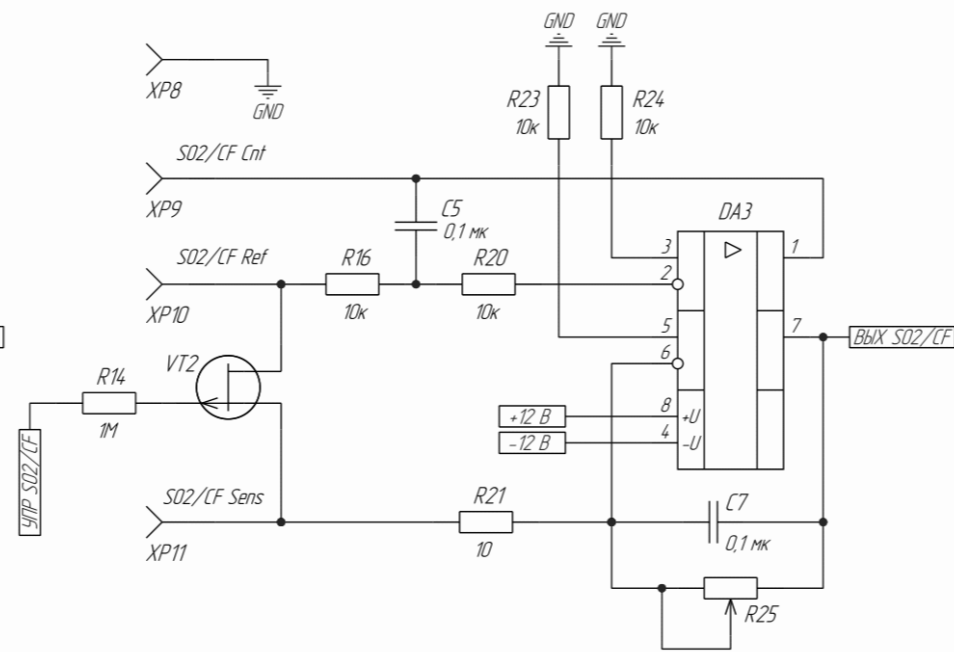
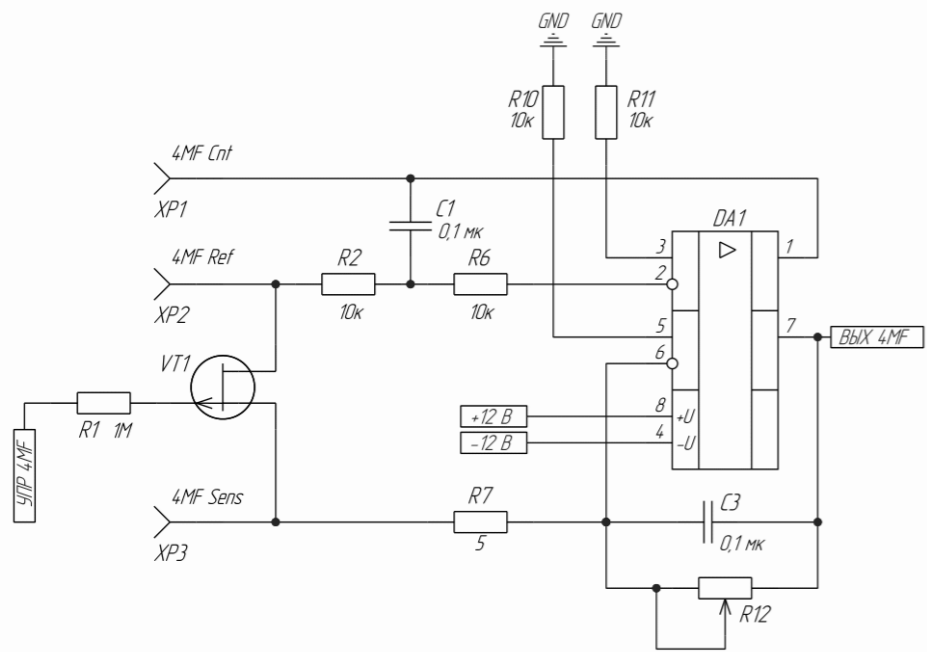


Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Инв. №	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Дата	Подп. и дата	Подп. дата	Справ. №	Перв. примен.
		20		0805 4,7 кОм	1	R2													
		21		0805 3 кОм	1	R3													
		22		0805 10 кОм	1	R4													
		23		КНР-200 2 Вт 300 кОм 5%	1	R5													
		24		S1014 2 А	1	R6													
		25		0805 470 Ом	1	R7													
		26		SL22 12103-B	1	R8													
		27		0805 5,1 Ом	1	R9													
		28		0805 300 Ом	1	R10													
		29		0805 150 Ом	1	R11													
		30		0805 5,23 кОм	1	R12													
		31		0805 4,87 кОм	1	R13													
		32		КНР-200 2 Вт 1,8 Ом 5%	1	R14													
		33		КНР-200 2 Вт 39 кОм 5%	1	R15													
		34		0805 5,1 кОм	1	R16													
																Перечень элементов		Лист	
																		5	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч	Перв. примен.	Справ. №	Подп. дата	Инв. № дубл.	Инв. №	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № п/дл.	Изм.		
															Лист	№ докум.	Подп.
		35		0805 330 Ом	1	R17											
		36		3362P-1-500LF POT3296P 10 КОМ 0,5В	1	R18											
				Кнопки													
		37		KLS7-TS6601-11-180	1	SB1											
				Диоды													
		38		BZX84C20 20В, 5%, 0,25Вт, SOT-23	1	VD1											
		39		BAS16 75В SOT-23	1	VD2											
		40		ES1J DO-214AC	1	VD3											
		41		GSIB1504	1	VD4											
		42		HFA06TB120	3	VD5, VD6, VD7											
		43		SMAJ10CA-TR DO-214AC	1	VD8											
		44		TVS SMAJ5.0A-13-F	1	VD9											
				Транзистор													
		45		IRF830PBF 500В 4.5А TO-220AB	1	VT1											
				Гнездо													
		45		DS1013-10R	1	X4											
														Перечень элементов			Лист
																	6
Изм.														Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Приложение Д  
ФЮРА.400001.005Э3 Схема платы интерфейса сенсоров



Цель	Конт.	Компонент
УПР СО	1	УПР 4MF
УПР SO2	2	УПР SO2/CF
Вых SO2	3	Вых SO2/CF
Вых СО	4	Вых 4MF
RX СН4	5	MIPEX RX
Вых H2	6	Вых H2/C
УПР H2	7	УПР H2/C
Вых NO	8	Вых NO/CF
TX СН4	9	MIPEX TX
Вых O2	10	Вых 50xLL

Цель	Конт.	Компонент
+12 В	1	+12 В
-12 В	2	-12 В

Цель	Конт.	Компонент
+3.3 В	1	+3.3 В
Общ	2	Общ

Лераб. примен.

Справ. №

Подп. дата

Инд. № эл.д.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

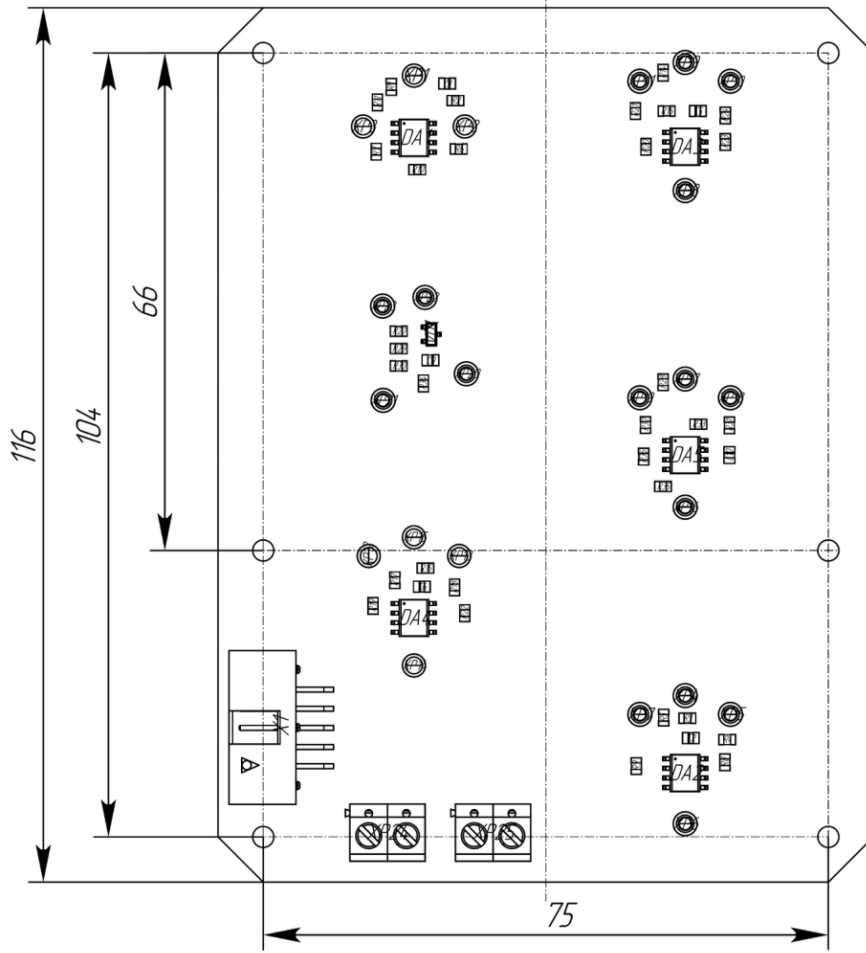
					ФЮРА.400001.00533		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Плата интерфейса сенсоров		
Разраб.	Кажаров						
Проб.							
Т.контр.							
Н.контр.					Лист	Масса	Масштаб
Утв.					Лист	Листов	
					1А8А ИШНКБ ТПУ		

Приложение Е

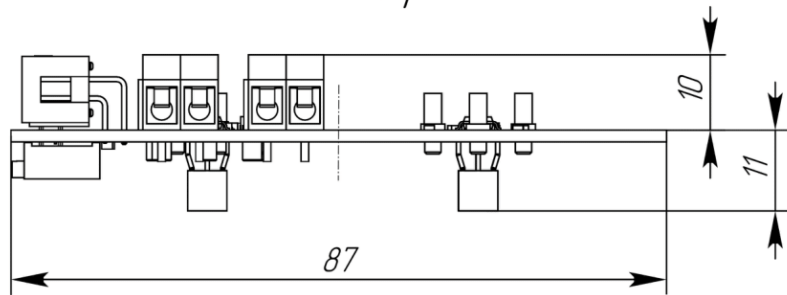
ФЮРА.400001.006СБ Сборочный чертеж платы интерфейса сенсоров

ФЮРА.400001.006СБ

Вид сверху



Вид спереди



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.400001.006СБ

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кокшаров		
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Сборочный чертеж  
платы интерфейса сенсоров

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 5	

1А8А, ИШНКБ ТПУ

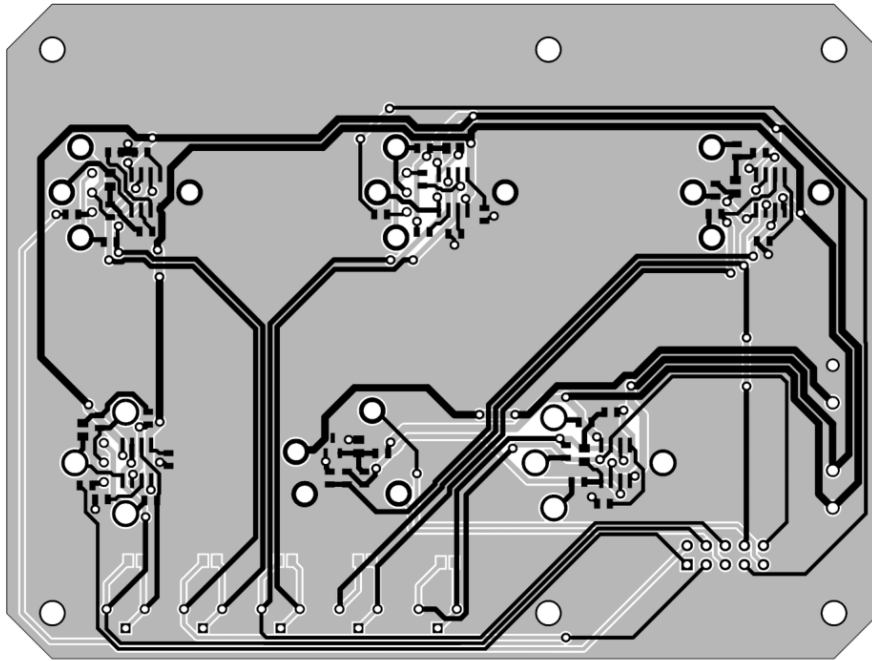
Приложение Ж

ФЮРА.400001.007 Печатная плата интерфейса сенсоров

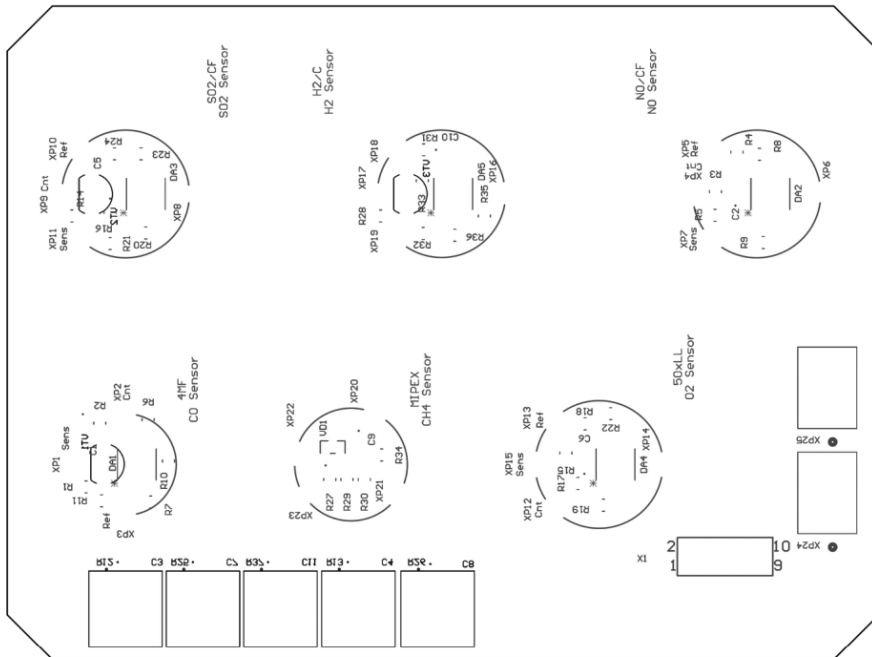


ФЮРА.400001.007

Верхний и нижний проводящие слои



Слой верхней и нижней шелкографии



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.400001.007

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Кокшаров		
Пров.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Печатная плата  
интерфейса сенсоров

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 2	Листов 5	

1А8А, ИШНКБ ТПУ

Приложение И  
ФЮРА.400001.008СП Перечень элементов

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч					
				<u>Документация</u>								
					ФЮРА.400001.00533	Схема платы интерфейса сенсоров						
					ФЮРА.400001.006СБ	Сборочный чертеж						
					ФЮРА.400001.007	Печатная плата						
					ФЮРА.400001.008СП	Перечень элементов						
				Справ. №	<u>Прочие изделия</u>							
					<u>Конденсаторы</u>							
						1	0805 0,1		11	(C1-C11)		
					<u>Операционные усилители</u>							
	2	LT1078 SOIC-8			5	(DA1-DA5)						
<u>Резисторы</u>												
	3	0805 1 МОм			3	R1, R14, R28						
	4	0805 10 КОм			8	R2, R4, R6, R8, R10, R11, R16, R18,						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам инв. №	Инв. № дубл.		Подп. дата	ФЮРА.400001.008СП						
						Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса
				Разраб.			Кокшаров					
				Пров.								
				Т.контр.						Лист 3	Листов 5	
				Н.контр.						1А8А ИШНКБ ТПУ		
				Утв.								
				<b>Перечень элементов</b>								

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч
Перв. примен.		5		0805 10 кОм	8	R20,R22 R23,R24 R31,R32 R35,R36
	Справ. №	6		0805 10 Ом	8	R3,R5 R9,R15 R17,R19 R21,R33
		7		0805 5 Ом	1	R7
		8		3362P-1-500LF POT3296P 3000м 0,5В	5	R12,R13 R25,R26 R27
		9		0805 12,4 кОм	2	R27 R29
Подп. дата	10		0805 25,5 кОм	1	R30	
	Инв. № дубл.	11		0805 442 кОм	1	R34
Взам. инв. №		12		Диоды ZXRE125 SOT-23	1	VD1
	Подп. и дата		13		Транзисторы J174 TO-92	3
Инв. № подл.		14			Гнездо DS1013-10R	1
	Перечень элементов					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



## Приложение К

Таблица К – Бизнес-модель

<u>Ключевые партнеры</u>	<u>Ключевые виды деятельности</u>	<u>Ценностное предложение</u>	<u>Взаимодействие с клиентом</u>	<u>Потребительские сегменты</u>
<p>Стратегическое сотрудничество с неконкурирующими компаниями: Btg Bioliquids, Biovoima, Schmack, Nivtech, Биокомплекс, Air Liquide, ИПХФ РАН, ПАО «Интер РАО», Россети</p> <p>Поставщики комплектующих: ООО "Оптосенс", Honeywell, Membrapor, SmartGas</p>	<p>Производство: создание устройств для научной и промышленной отраслей</p> <p><u>Ключевые ресурсы</u></p> <p>Материальные ресурсы: комплектующие и сырье</p> <p>Интеллектуальные ресурсы: программное обеспечение продукта, технология производства</p> <p>Персонал: сборка и обслуживание устройств</p>	<p>Новизна: уникальные технические характеристики продукта;</p> <p>Производительность: эффективность технологических процессов при использовании продукта;</p> <p>Цена: продукт кратно дешевле рыночных аналогов;</p> <p>Доступность: производство по несложным технологиям из общедоступных комплектующих; Удобство при использовании: специальное программное обеспечение упрощает пользование продуктом</p>	<p>Персональная поддержка: обслуживание и техподдержка;</p> <p>Самообслуживание: потребитель может самостоятельно производить калибровку работы и диагностику продукта; Совместное создание: вариация комплектации продукта</p> <p><u>Каналы сбыта</u></p> <p>Прямые: Продажи через Интернет-платформы и социальные сети</p>	<p>Нишевой рынок B2B: энергетика, машиностроение, переработка отходов, химическая технология</p> <p>Предприятия данных отраслей, которые занимаются плазмохимическим синтезом, обладают большим спросом на продукт</p>
<u>Структура издержек</u>		<u>Поток поступления доходов</u>		
<p>Фиксированные издержки: зарплата.</p> <p>Переменные издержки: закупка комплектующих и запчастей при производстве и обслуживании</p>		<p>Доход от разовых сделок, регулярный доход от постпродажного обслуживания. Генерация дохода осуществляется через продажу активов</p>		