

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой ФАТТ

Перм Б.А. Перминов
(подпись) (инициалы, фамилия)

«28» 09 2019 г.

Тема: Исследование и разработка опытного образца преобразователя сорбционно-емкостного температуры точки росы по влаге в природном газе

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Специальность - 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (нефтяной и газовой промышленности)»

Руководитель Б.А. Перминов
(Инициалы, фамилия)

Перм
(подпись)

К.Т.Н., доцент
(ученая степень, звание)

Автор аспирант специальность 05.13.01

Михин
(подпись)

С.О. Михин
(Инициалы, фамилия)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

Кафедра Электрификации и автоматизации технологических процессов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой ЭАТЭ

Б.А. Перминов
(подпись) (инициалы, фамилия)

«28» 09 2019 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к научно-квалификационной работе на тему:

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОРБЦИОННО-ЕМКОСТНОГО ТЕМПЕРАТУРЫ
ТОЧКИ РОСЫ ПО ВЛАГЕ В ПРИРОДНОМ ГАЗЕ**

Автор НКР

С.О. Михин
(подпись)

С.О. Михин
(Инициалы, фамилия)

Обозначение НКР _____

Шифр специальности 05.13.01

Полное название специальности «Системный анализ, управление и обработка информации (нефтяной и газовой промышленности)»

Руководитель НКР

Б.А. Перминов
(подпись)

«28» 09 2019 г.

Б.А. Перминов
(Инициалы, фамилия)

Ухта 2019

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

Кафедра Электрификации и автоматизации технологических процессов

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой ЖАТЖ

Жен Б.А. Терминов
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 28 » 09 2019 г.

ЗАДАНИЕ НА НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Аспирант: С.О. Михин
(Инициалы, фамилия)

1. Тема: Исследование и разработка опытного образца преобразователя сорбционно-емкостного температуры точки росы по влаге в природном газе утверждена приказом по УГТУ № 1820-Сот « 27 » 09 2019 г.
2. Срок представления НКР к защите «10» октября 2019 г.
3. Исходные данные для выполнения НКР: Данные полученные в рамках выполнения опытно-конструкторской работы по договора №585 на тему: «Разработка сорбционно-емкостного преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе и устройства подготовки пробы с целью импортозамещения зарубежных аналогов»
4. Содержание пояснительной записки:
 - 4.1 Содержание
 - 4.2 Введение
 - 4.3 Глава 1. Анализ технологического процесса транспорта газа, и оценка предполагаемых условий эксплуатации сорбционно – емкостного отечественного преобразователя ТТР на установках подготовки газа и узлах подключения на объектах Сосногорского и Вуктыльского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Ухта»
 - 4.4. Глава 2. Исследование физико-химических свойств сенсоров (чувствительных элементов) зарубежных преобразователей Michell (Великобритания). Разработка концепции опытного отечественного преобразователя, его составным частям, способу измерения температуры точки росы. Разработку топологии чувствительного элемента, определение структуры, произведение расчёта слоев.

4.5 Глава 3. Разработка принципиальной электрической схемы электронной платы, математических и графических моделей отечественного преобразователя ТТР.


4.6 Глава 4. Исследование, разработка и изготовление чувствительного элемента отечественного преобразователя ТТР.

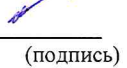
4.7 Глава 5. Проведение ЗПСИ, сертификации

4.4 Заключение

4.5 Список используемой литературы

4.6 Приложения

Руководитель НКР  (подпись) «28» 09 (дата) 2019 г. Б.А. Перминов (Инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению  (подпись) « » (дата) 2019 г. С.О. Михин (Инициалы, фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
	Актуальность темы исследования	7
	Цели работы	8
	Задачи исследования	8
	Научная новизна	9
	Апробация работы	10
	Публикации	10
	Основные положения выносимые на защиту	11
	Теоретическая значимость исследования	12
	Практическая значимость исследования	12
1	Анализ технологического процесса транспорта газа, и оценка предполагаемых условий эксплуатации сорбционно – емкостного отечественного преобразователя ТТР на установках подготовки газа и узлах подключения на объектах Сосногорского и Вуктыльского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Ухта»	13
1.1	Определение места предположительной установки опытного образца преобразователя температуры точки росы на территории КЦ Вуктыльского ЛПУМГ и Сосногорского ЛПУМГ.	13
1.2	Характеристики транспортируемой среды (давление и температура среды)	14
1.3	Характеристики окружающей среды	14
1.4	Анализ технической документации на зарубежный преобразователь ТТР Mitchell Instruments Transmet	15
1.5	Сведения об особенностях работы преобразователя ТТР Mitchell Instruments Transmet.	15
2	Исследование физико-химических свойств сенсоров (чувствительных элементов) зарубежных преобразователей Mitchell (Великобритания). Разработка концепции опытного отечественного преобразователя, его составным частям, способу измерения температуры точки росы. Разработку топологии чувствительного элемента, определение структуры, производство расчёта слоев.	17
2.1	Сорбционно-емкостной чувствительный элемент	18
2.2	Корпус преобразователя	31
2.3	Кабельный ввод	31
2.4	Герметичный электроввод	31
3	Разработка принципиальной электрической схемы электронной платы, математических и графических моделей отечественного	34

	преобразователя ТТР.	
3.1	Разработка принципиальной электрической схемы электронной платы сорбционно – емкостного преобразователя температуры точки росы	34
3.2	Разработка математической модели электронной платы преобразователя сорбционно – емкостного опытного преобразователя температуры точки росы	39
4	Исследование, разработка и изготовление чувствительного элемента отечественного преобразователя ТТР	60
4.1	Условия работы чувствительного элемента преобразователя	60
4.2	Разработка технологии изготовления сорбционно – емкостных чувствительных элементов преобразователей влажности на основе пористой керамики	60
4.2.1	Приготовление адсорбирующего слоя	61
4.2.1.1	Приготовление керамической массы	61
4.2.1.2	Проведение монолитной опрессовки и обжига адсорбирующего слоя чувствительного элемента	64
4.2.1.3	Травление обожженной керамической массы	70
4.2.1.4	Проведение испытаний на пористость	72
4.2.2	Изготовление и нанесение верхнего и нижнего электрода сорбирующего слоя чувствительного элемента	78
4.2.2.1	Изготовление серебряных и платиновых электродов	78
4.2.2.2	Перфорирование электродов твердотельным лазером для придания пористой структуры	80
4.3	Исследование свойств полученных чувствительных элементов	80
5	Проведение ЗПСИ, сертификации	94
	Заключение	95
	Список использованной литературы	96
	Приложения	105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Обеспечение низкой влажности газа имеет большое значение для эффективной и безопасной работы оборудования магистральных газопроводов и сетей газораспределения (газораспределительных станций). Главным образом, наличие воды в транспортируемом газе влечет за собой убытки, связанные с затратами на его транспорт и экспорт (контрактные параметры) а также, коррозионное влияние, оказываемое водой на трубопроводы, арматуру и другие элементы трубопроводной системы. Контроль влажности газа в системе магистрального транспорта, ведется на газоизмерительных станциях, компрессорных цехах и на крановых узлах. Контролируемым технологическим параметром является температура точки росы, а измерения проводятся с помощью преобразователей (гигрометров) температуры точки росы.

Для объектов ПАО «Газпром» это:

- гигрометры температуры точки росы на основе технологии охлаждаемого зеркала Конг-Прима (производство НПО «Вымпел»-Россия);
- преобразователи температуры точки росы на основе конденсационной технологии Michell Instruments (производство-Великобритания).

Гигрометры Конг-Прима имеют высокие метрологические показатели, но вместе с ними и высокие требования к подготовке газа перед измерением, что позволяет устанавливать их только на оборудованных технологических площадках, например, газоизмерительных станциях и установках подготовки топливного и импульсного газа. Кроме того, стоимость гигрометров Конг-Прима очень высока и составляет свыше 4,5 млн. руб.

Для установки непосредственно на газопроводе применяются преобразователи Michell, производящиеся за рубежом и имеющие стоимость, комплектно с устройством подготовки пробы, свыше 2 млн. руб. Аналоги преобразователей Michell с требуемыми техническими характеристиками и метрологическими свойствами в России не производятся.

Между ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» и ООО «Газпром трансгаз Ухта» заключен договор №585 от 12 мая 2016 года, направленный на разработку отечественного преобразователя температуры точки росы сорбционно-емкостного типа измерения и устройства подготовки пробы, не уступающего по метрологическим и техническим характеристикам зарубежным аналогам и стоимостью не превышающей 300 тыс. руб.

Опытно-конструкторская работа выполняется аспирантским составом (Михин Сергей Олегович, Копчиков Александр Евгеньевич) кафедры «Электрификации и автоматизации технологических процессов».

Цель работы

Разработка отечественного преобразователя ТТР сорбционно-емкостного типа измерения, обладающего необходимыми технико-метрологическими характеристиками, для применения непосредственно на магистральном газопроводе и объектах газораспределения, не уступающий зарубежным аналогам по метрологическим и техническим характеристикам.

Задачи исследования

1. Анализ и исследование технологического процесса в точках отбора проб для измерения температуры точки росы на объектах ООО «Газпром трансгаз Ухта» (КС-10 Сосногорского ЛПУМГ и КС-4 Вуктыльского ЛПУМГ);
2. Разработка концепции опытного отечественного преобразователя ТТР. Структура отечественного преобразователя и составные части;
3. Разработка математических моделей опытного отечественного преобразователя ТТР (поэлементная и укрупненная) в ППП Mathlab&Simulink;
4. Проектирование графической модели опытного отечественного преобразователя ТТР и в Autodesk AutoCAD;

5. Разработка принципиальной электрической схемы опытного отечественного преобразователя ТТР на российской элементной базе в программном комплексе orCad;
6. Исследование, проектирование и расчет чувствительного элемента отечественного преобразователя ТТР;
7. Изготовление чувствительного элемента опытного отечественного сорбционно – емкостного преобразователя ТТР.
8. Изготовление герметичного электропровода опытного отечественного сорбционно – емкостного преобразователя ТТР;
9. Изготовление электронной платы опытного сорбционно – емкостного отечественного преобразователя ТТР и написание программного кода для ЦМП;

Научная новизна

1. Определение необходимой марки керамической массы стойкой к кислотнo-щелочным средам, применяемым в среде природного газа и агрессивных газовых средах. Обеспечение достаточной механической прочности сорбирующего слоя чувствительного элемента за счет определения оптимального режима монолитной опрессовки и концентрации пластификатора;
2. Влияние ультразвуковой обработки на вымывание пор сорбирующего слоя в кислотной среде;
3. Получены газопускаемые электроды чувствительного элемента стойкие к агрессивным газовым средам;
4. Исследование влияние частоты подаваемых импульсов от выходного значения емкости ЧЭ;
5. Исследовано влияние зернистости молекул присадок от времени стабилизации и инерционной составляющей (гистерезиса) преобразования влажности в выходной электрический сигнал емкости.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на:

1. ПХ Научно-техническая конференция молодых работников ООО «Газпром трансгаз Ухта» (5-9 декабря 2016 г.): Диплом 2-ой степени;
2. XII Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех-2017» (14-16 апреля): Диплом 1 степени;
3. VII Научно-техническая конференция молодых работников ООО «Газпром трансгаз Ухта» «Инженерно – технического центра» (5-8 декабря 2017 г.): Диплом 1-ой степени;
4. XIII Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех-2018» (24-26 апреля): Диплом 1 степени;
5. II научно – практическая конференция молодых работников Воркутинского ЛПУМГ «Газпром трансгаз Ухта» (3-5 мая 2018 г.): Диплом 1-ой степени;
6. XX Отраслевая научно-техническая конференция молодых руководителей и специалистов ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (03-07 июня 2019 г.): Диплом 2-ой степени.

Публикации

Основные результаты исследований опубликованы в 10 работах, в том числе: 6 – в материалах научно-технических конференций; 3 – в форме описания к патенту на полезную модель, 1 – в форме описания к патенту на изобретение.

В процессе реализации опытно-конструкторской работы и написания диссертации были определены объекты патентных прав по опытному отечественному преобразователю температуры точки росы по воде в природном газе. В процессе реализации ОКР и написания диссертации получены 3 полезных моделей и 1 изобретение:

- Патент на изобретение «Способ получения пористого керамического материала с высокой стойкостью к воздействию

температуры и давления в агрессивных кислотных и щелочных средах» - материалы находятся на экспертизе по существу в «ФИПС»;

- Патент на полезную модель «Преобразователь температуры точки росы природного газа по воде» - получен Патент № 191918. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей РФ: 28 августа 2019 г.;
- Патент на полезную модель «Сорбционно-емкостной чувствительный элемент влажности газа» - получен Патент № 190945. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей РФ: 16 июля 2019 г.;
- Патент на полезную модель «Герметичный электроввод взрывозащищенный для средств измерений» - получен Патент № 192379. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей РФ: 16 сентября 2019 г.

Основные защищаемые положения работы

1. Определение необходимой марки керамической массы стойкой к кислотно-щелочным средам, применяемым в среде природного газа и агрессивных газовых средах;
2. Обеспечение достаточной механической прочности сорбирующего слоя чувствительного элемента за счет определения оптимального режима монолитной опресовки и концентрации пластификатора;
3. Влияние ультразвуковой обработки на вымывание пор сорбирующего слоя в кислотной среде;
4. Пористые газопрускаемые электроды для агрессивных и неагрессивных газовых сред;
5. Исследование влияние частоты подаваемых импульсов от выходного значения емкости ЧЭ.
6. Исследованы влияние зернистости молекул присадок от времени стабилизации и инерционной составляющей (гистерезиса)

преобразования влажности в выходной электрический сигнал емкости

Теоретическая значимость исследования

Теоретическая значимость научно-квалификационной работы заключается:

1. Определена наиболее эффективная керамическая масса для создания сорбирующего слоя для применения в среде природного газа и щелочных газовых средах;
2. Определена необходимая концентрация пластификатора в керамической массе сорбирующего слоя, необходимая для прочной монолитной опрессовки;
3. Определено влияние давления применяемого при монолитной опрессовке сорбирующих слоев от температуры обжига в газовых печах;
4. Определена зависимость влияния концентрации и материала модифицирующей присадки от механических свойств сорбирующего слоя;
5. Эффективное влияние ультразвуковых волн при травлении сорбирующего слоя в соляной кислоте;
6. Определение материала газопроницаемых электродов стойких к агрессивным средам;
7. Зависимость площади перфорации электродов от выходной электрической величины

Практическая значимость исследования

Практическая значимость НКР заключается в изготовлении опытного отечественного преобразователя температуры точки росы для измерения в среде природного газа и агрессивных газовых средах. Преобразователь включает в себя: чувствительный элемент, герметичный электроввод, корпус прибора, электронную плату. Преобразователь прошел все процедуры сертификации и внесения в государственный реестр СИ.

1 ГЛАВА

Анализ технологического процесса транспорта газа, и оценка предполагаемых условий эксплуатации сорбционно – емкостного отечественного преобразователя ТТР на установках подготовки газа и узлах подключения на объектах Сосногорского и Вуктыльского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Ухта»

1.1 Определение места предположительной установки опытного образца преобразователя температуры точки росы на территории КЦ Вуктыльского ЛПУМГ и Сосногорского ЛПУМГ.

Существующая точка отбора импульсного газа для проведения замера температуры точки росы технологического газа пространственно расположена на входе компрессорного цеха на технологическом трубопроводе. Технологический трубопровод, с которого идёт отбор пробы, является вводом-коллектором компрессорного цеха и изготовлен из стали марки 09Г2С, диаметр трубопровода составляет 1000 мм. Отобранная проба газа поступает по импульсной трубке, выполненной из нержавеющей стали, в шкаф системы определения температуры точки росы ProGAS серии S533300. В состав системы ProGAS входят:

1. шкаф;
2. регулятор давления;
3. манометр;
4. ротаметр;
5. 2 игольчатых вентиля;
6. фильтр;
7. импульсные трубки;
8. греющие кабеля.

Шкаф системы ProGAS расположен на улице, оборудован электрическим обогревом (греющими кабелями) и предназначен для работы при температуре от -40 до +60 °С и относительной влажности 0...90%. Все комплектные

устройства системы имеют взрывозащищенное исполнение. Суммарное электропотребление шкафа, за исключением греющих кабелей, составляет 100 Вт.

Преобразователь ТТР в формате унифицированного токового сигнала 4-20 мА передает измеренный сигнал на средний уровень микропроцессорной системы автоматизации ЛИС КЦ. В шкаф ЛИС КЦ сигнал поступает на клемник ХА11 14А, 14В. Далее по шлейфу WCF2 на модуль Siemens SIMATIC ET 200М под номером AD7 на клеммы 27 и 30. Далее информация поступает в центральный процессор, который в свою очередь передаёт данные через коммуникационное устройство на сервер с программным обеспечением Siemens WinCC.

На момент проведения анализа зафиксировано наличие технической возможности подключить опытный образец отечественного преобразователя ТТР к микропроцессорной системе автоматизации ЛИС. В таблице подключения аналоговых сигналов числятся две резервные свободные позиции.

1.2 Характеристики транспортируемой среды (давление и температура среды)

Транспортируемой средой на участке является природный газ. Усредненное давление среды на существующей точке отбора давления составляет от 4,72 Мпа до 12 МПа., при температуре 18,5 °С. За усредненные значения приняты среднегодовые значения при условии того что технологический участок находится в работе.

1.3 Характеристики окружающей среды

Существующая точка отбора импульсного газа и шкаф системы контроля ТТР расположен на улице во взрывоопасной зоне – В-Г. Среднегодовые максимальные отклонение температуры окружающей среды для указанного территориального расположения объекта составляют от –35°С до +30°С. Место установки КИП и А имеет комбинированное освещение (естественное и фонарное в зависимости от условий).

1.4 Анализ технической документации на зарубежный преобразователь ТТР **Michell Instruments Transmet**

В составе системы определения температуры точки росы ProGAS серии S533300 в качестве преобразователя ТТР по воде применен Michell Instruments Transmet IS. Технические характеристики преобразователя ТТР Transmet IS приведены в Таблице 1. Поверка зарубежного преобразователя проводится в соответствии с методикой поверки «Гигрометры точки росы Michell Instruments. Методика поверки», утвержденной ГЦИ СИ «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Поверка проводится с использованием эталонного динамического генератора влажного газа «Полюс», имеющего диапазон воспроизведения температуры точки росы влаги от -100 до +20 °С., пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,1$ °С и эталонного динамического генератора влажного газа «Родник-2», имеющего диапазон воспроизведения температуры точки росы от +20 до +90 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,1$ °С. Межповерочный интервал преобразователя ТТР Transmet IS составляет 1 год.

Таблица 1 – Технические характеристики Transmet IS

Диапазон измерения	-100..+20 °С
Погрешность измерения	± 1 °С в диапазоне -60...+20 °С ТТР
Рабочее давление	До 300 бар (изб.)
Масса	1,1 кг
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254-96	IP 66
Степень взрывозащиты	0ExiaIICT3
Диапазон температур окружающей среды, °С	-20...+60
Электропитание преобразователя, В	12...28
Выходной сигнал, мА	4...20

1.5 Сведения об особенностях работы преобразователя ТТР **Michell Instruments Transmet**.

За последние 3 года отказов системы определения точки росы ProGAS серии S53330 зафиксировано не было. Отдельного отбора для подключения

баллона с хладагентом для поверки достоверности показаний конструкцией системы определения температуры точки росы ProGAS не предусмотрено.

2 ГЛАВА

Исследование физико-химических свойств сенсоров (чувствительных элементов) зарубежных преобразователей Michell (Великобритания).

Разработка концепции опытного отечественного преобразователя, его составным частям, способу измерения температуры точки росы.

Разработку топологии чувствительного элемента, определение структуры, производство расчёта слоев.

Для определения необходимых физико-механических свойств чувствительного элемента за исходные условия были приняты его назначение, область и условия применения. Чувствительный элемент предназначен для измерения влагосодержания в природном газе в технологических трубопроводах и установках объектов магистрального транспорта газа в условиях:

- давление измеряемой среды до 12 МПа;
- температура измеряемой среды от 5 до 18,5 °С.

При этом важным фактором является агрессивность измеряемой среды по причине содержания в ней сероводорода. Учитывая вышесказанное, определяются минимальные требования к чувствительному элементу:

- давление измеряемой среды до 12 МПа;
- температура измеряемой среды от -2 до 45 °С;
- диапазон измерений температуры точки росы -60...+20 °С;
- стойкость к парам кислот в низких концентрациях.

Конструкция отечественного преобразователя ТТР включает в себя: чувствительного элемент, корпус прибора, герметичный электроввод. Изображение отечественного преобразователя приведено на рисунке 1.

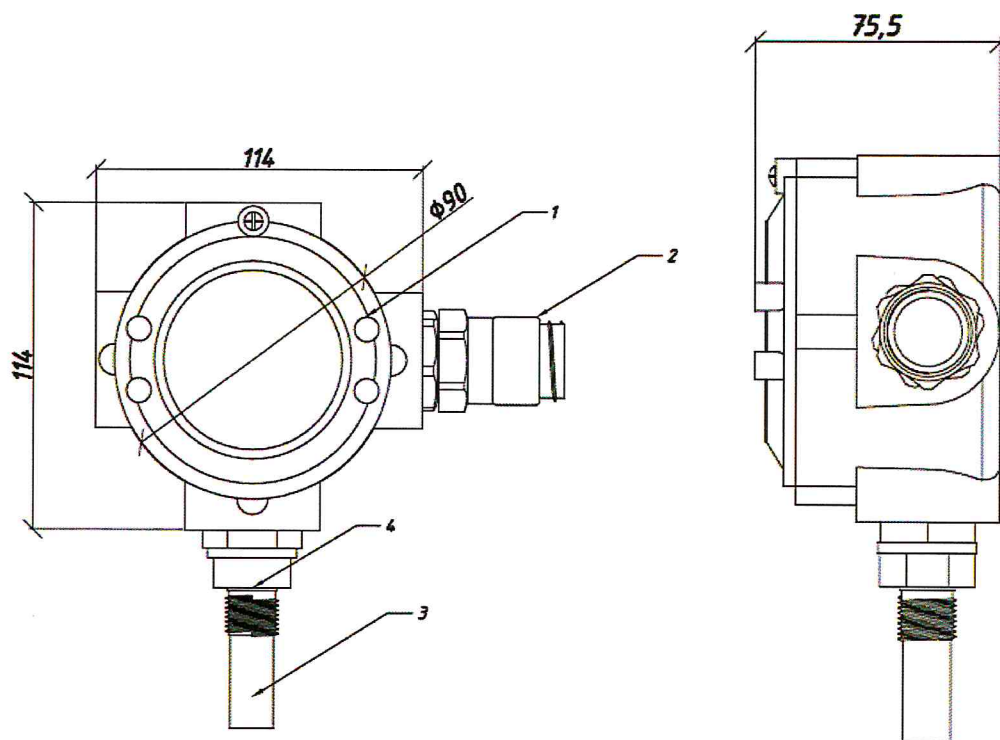


Рисунок 1 – Изображение отечественного преобразователя ТТР

(1 – Корпус преобразователя, 2 – Кабельный ввод, 3 – Чувствительный элемент в защитном пенале, 4 – Герметичный эллектроввод)

В качестве технологии определения температуры точки росы природного газа для разрабатываемого отечественного преобразователя выбрана сорбционно-емкостная технология. Сорбционно-емкостной принцип измерения влажности заключается в поглощении чувствительным элементом влаги из измеряемой среды, что приводит к изменению его электрических параметров – емкости или сопротивления.

2.1 Сорбционно-емкостной чувствительный элемент

Для определения конкурентных преимуществ преобразователя ТТР Michell Transmitter было проведено исследование сорбционно-емкостного чувствительного элемента и определены его действительные физико-химические свойства.

Исследование чувствительного элемента было проведено на базе Лаборатории диагностики и неразрушающего контроля научно-лабораторного

комплекса института геологии, нефтегазодобычи и трубопроводного транспорта УГТУ.

Исследование проводилось с применением следующего оборудования:

- толщиномера электромагнитного акустического А1270;
- микроскопа металлографического МПМ-2У-КС;
- анализатора металлов и сплавов DELTA DP2000;
- оптико-эмиссионного спектрометра ARL QuantoDesk;
- динамического электронного твердомера МЕТ-Д1А.

Подложка чувствительного элемента имеет класс чистоты обработки поверхности 12, твердость по шкале Роквелла R45N, удельное сопротивление при 20⁰С более 10¹⁴ Ом·см, что соответствует материалу – керамике. Толщина подложки составляет 2,013042 мм.

На подложке чувствительного элемента с одной стороны расположено термосопротивление, а с другой расположена измерительная ячейка влажности, состоящая из двух электродов, разделенных диэлектриком (рисунок 1).

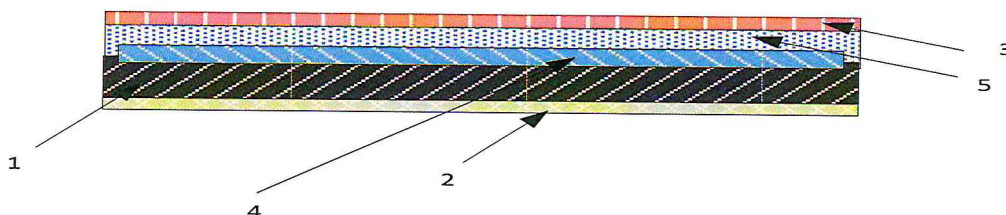


Рисунок 2 – Исследуемый сорбционно – ёмкостной чувствительный элемент

1. Керамическая подложка
2. Термосопротивление
3. Влагопроницаемый электрод
4. Внутренний электрод
5. Диэлектрический (адсорбирующий) слой

Анализ термосопротивления с помощью толщиномера А1270 показал, что средняя толщина проводника составляет 0,4013042 мм. Омическое

сопротивление чувствительного элемента при температуре 0° с составляет 50,0014 Ом.

Анализ верхнего влагопроводящего электрода с помощью толщиномера A1270 показал, что его толщина составляет 46 нм, а толщина адсорбирующего слоя составляет 1,14 мкм.

На оптико-эмиссионном спектрометре ARL QuantoDesk был определен химический состав металла чувствительного элемента термосопротивления и электродов емкостной ячейки. Исследуемым образцом является платина.

Исходя из информации, полученной в ходе исследования, следует вывод:

1. В конструкции опытного сорбционно-ёмкостного чувствительного элемента должны быть применены вещества и материалы чистотой и свойств не хуже примененного в конструкции преобразователя ТТР Michell Transmitter.

Полученные в ходе исследования данные принять за исходные при изготовлении опытного сорбционно-ёмкостного чувствительного элемента.

Конструктивно чувствительный элемент представляет собой плоский конденсатор, диэлектрический слой и электроды которого свободно пропускают частицы влаги. Чувствительный элемент должен быть устроен таким образом, чтобы при повышении влажности измеряемой среды влага свободно сорбировалась диэлектрическим слоем, а при понижении влажности также свободно отдавалась ЧЭ обратно в измеряемую среду, тем самым приводя его влажность в баланс с влажностью окружающей среды.

Применение прибора в системе магистрального транспорта накладывает на чувствительный элемент ряд требований, в том числе:

- устойчивая работа во всем диапазоне давлений измеряемой среды;
- устойчивая работа во всем диапазоне температур измеряемой среды;
- устойчивость элемента к химическим примесям природного газа;
- габариты чувствительного элемента должны предусматривать возможность установки ЧЭ в защитный пенал для последующего монтажа в отборный штуцер давления МГ.

Для выполнения обозначенных выше требований принимается следующая конструкция чувствительного элемента:

- сорбирующий слой – должен быть выполнен из химически однородного диэлектрика, пористого с равномерным распределением пор образующих капиллярную структуру. Диэлектрический слой не должен разрушаться под воздействием рабочего давления магистрального газопровода.

- электроды – должны быть выполнены из металла, стойкого к химическим компонентам, содержащихся в природном газе в малых концентрациях. Электроды должны иметь сетчатую структуру для обеспечения беспрепятственного проникновения влаги в сорбирующий слой и обратно.

В конструкции в качестве чувствительного элемента термосопротивления применяется узел законченной конструкции – чувствительный элемент платиновый РТ100 (или медный 50М) в защитном корпусе диаметром не более 3 мм, длиной не более 8 мм. Чувствительный элемент термосопротивления должен иметь 2-х или 3-х проводное подключение.

Требования к материалам тонкопленочного конденсатора определяются требованиями, предъявляемыми к самому изделию. Конденсаторы ИМС должны: – занимать минимальную площадь; – обладать хорошей добротностью; – иметь высокую надежность; – обладать высокой температурной и временной стабильностью. Выполнение этих требований в большей степени зависит от материала диэлектрика. Поэтому он должен иметь хорошую адгезию к подложке и материалу обкладок, обладать высокой электрической прочностью и малыми потерями, иметь высокую диэлектрическую проницаемость и минимальную гигроскопичность, не разрушаться в процессе формирования пленок и быть совместимым с технологическими процессами изготовления других элементов микросхем. Диэлектрик тонкопленочных конденсаторов формируется методами термического напыления, анодного окисления, ионно-плазменного и реактивного распыления. Диэлектрические пасты для толстопленочных конденсаторов изготавливаются на основе смеси керамических материалов и

флюсов. Толщина пленки после термической обработки составляет 40–60 мкм. В таблице 1 приведены основные характеристики диэлектрических материалов, применяемых для изготовления пленочных конденсаторов.

Таблица 2 – Основные характеристики диэлектрических материалов

Материал	ϵ , $f=1$ КГц	$E_{\text{ПР}} \cdot 10^{-6}$, В/см	$\text{tg} \delta \cdot 10^{-3}$, пФ/см ²	$C_0 \cdot 10^{-3}$, пФ/см ²	$TKE \cdot 10^4$, 1/град $T = -60 \div +85$ °С
SiO ₂	4	10		20	2
SiO	6–8	1–2	1–2	5–10	1–2
GeO	10–12	0,5–0,8	5–7	5–20	3–5
Al ₂ O ₃	10	9	0,3 – 1,5	30–80	1,5–5
Ta ₂ O ₅	21–27	5	10	100	2–3
TiO ₂	30–100	0,24	26	10–100	3
Sb ₂ S ₃	18–21	0,3–0,5	4–10	1–1,5	5
АСС	5,2 – 5,5	3–5	3	30	1,5
БСС	3,9 – 4,2	3–5	1	15	0,2
ИБС	10–12	2–3	7	60	5
Паста					
ПК-12	—	$U_{\text{ПР}} \geq 150$ В	30 – 40	10	± 10
Паста					
ПК 1000-30	—	$U_{\text{ПР}} \geq 150$ В	36	3,7	± 10

Диэлектрическая проницаемость ϵ является одной из важнейших характеристик диэлектрика и показывает, во сколько раз уменьшается кулоновское взаимодействие между зарядами при переносе их из вакуума в данную среду. Величина ϵ отражает увеличение емкости конденсатора при замене в нем вакуума диэлектриком.

Электрическая проницаемость зависит от материала, температуры, частоты и напряженности поля. Электрическая прочность ЕПР диэлектрических пленок характеризуется напряженностью электрического поля, при которой происходит локальное разрушение диэлектрика с образованием проводящего канала: $E_{\text{ПР}} = U_{\text{ПР}} / d$, где $U_{\text{ПР}}$ – пробивное напряжение, d – толщина диэлектрика. Пробой диэлектрических пленок вызывается, как тепловыми, так и электрическими процессами. Тепловой пробой обусловлен экспоненциальным ростом электропроводности

диэлектрика при повышении его температуры. Электрический пробой обусловлен туннельным переходом электронов в зону проводимости из валентной зоны, с примесных уровней или металлических электродов, а также лавинным размножением электронов за счет ударной ионизации в высоких электрических полях.

Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ является количественной мерой потерь в данном диэлектрике. Эти потери обусловлены свойствами материала диэлектрика и определяются суммой миграционных и дипольно-релаксационных потерь. Миграционные потери связаны со сквозной электропроводностью в диэлектрике, уменьшаются с увеличением частоты по гиперболическому закону и увеличиваются по экспоненциальному закону с ростом температуры.

Дипольно-релаксационные потери обусловлены процессами ориентации диполей в электрическом поле при их хаотических, обусловленных тепловым движением, колебаниях около среднего положения равновесия.

Материал обкладок тонкопленочного конденсатора должен обладать высокой электропроводностью, малой миграционной подвижностью атомов для предотвращения диффузии в диэлектрик, хорошей адгезией, как к подложке, так и ранее сформированным пленкам, невысокой температурой нанесения и достаточной химической стойкостью. Материал нижней обкладки конденсатора должен иметь минимальное количество микронеровностей высотой не более 0,025 мкм. Из всех металлов с высокой проводимостью (Au, Ag, Cu, Al) только последний наиболее полно удовлетворяет перечисленным требованиям. Другие из названных металлов не нашли применения в основном из-за высокой миграционной подвижности атомов.

Основные параметры тонкопленочного конденсатора

1. Номинальная емкость C_H - задается условиями схемы и определяется по известной формуле:

$$C_H = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} = C_0 \cdot S = C_0 \cdot A_B B_B,$$

Где:

ε_0 - диэлектрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 0,0885$ пФ/см);

C_0 - удельная емкость ($C_0 = 0,0885(\varepsilon/d)$ пФ/см²);

ε - диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

S - площадь взаимного перекрытия обкладок.

При определении C_H пленочных конденсаторов малой площади необходимо учитывать увеличение емкости, обусловленное влиянием краевого эффекта. В общем случае:

$$C_H = K \cdot C_0 \cdot S,$$

Где: K - коэффициент, учитывающий влияние краевого эффекта

$$K = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{C_H}{C_0} > 5 \text{ мм}^2 \\ 1,3 - 0,06 \frac{C_H}{C_0}, & \text{если } 1 \leq \frac{C_H}{C_0} \leq 5 \text{ мм}^2. \end{cases}$$

Емкость гребенчатого конденсатора определяется по формуле:

$$C = \beta \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \cdot l;$$

Где:

β - коэффициент, определяемый из графика (рисунок 3);

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - диэлектрическая проницаемость материала подложки и среды;

l - длина совместной границы 2-х проводников гребенки.

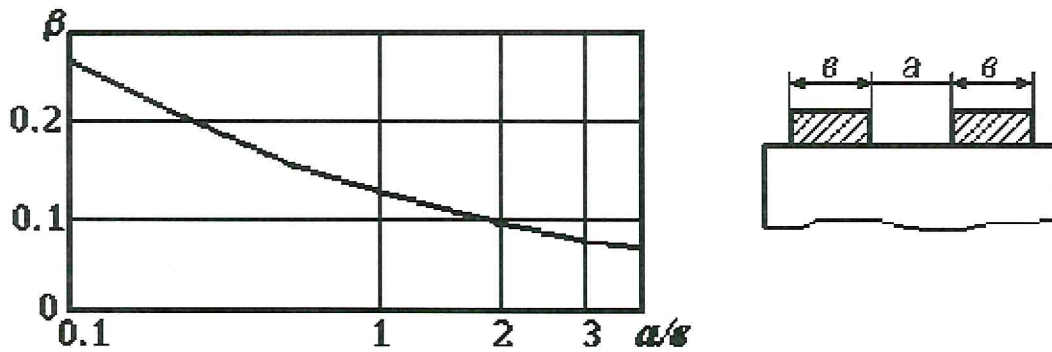


Рисунок 3 - Коэффициент β

Рабочее напряжение U_P обеспечивается подбором материала диэлектрической пленки с необходимыми значениями $E_{ГПР}$ и толщины пленки d . Толщина пленки d , выбираемая из условия обеспечения заданного U_P , определяется из выражения:

$$d = \eta \cdot U_P / E_{ГПР},$$

Где:

η - коэффициент запаса, обеспечивающий надежные характеристики. Для пленочных конденсаторов коэффициент запаса выбирается равным . Коэффициент запаса выбирается для расчета конденсаторов повышенной надежности.

Добротность пленочного конденсатора Q зависит от его конструкции используемых материалов. Она определяется потерями в диэлектрике и в обкладках конденсатора:

$$Q = (tg\delta)^{-1} = (tg\delta_g + tg\delta_{обкл})^{-1},$$

Где:

$tg\delta_{обкл}$ - тангенс угла потерь в обкладках и выводах конденсатора;

$$tg\delta_{обкл} = 2\pi \cdot f_{раб} (r_{обкл} + r_B) \cdot C,$$

$r_{обкл}$ - последовательное сопротивление обкладок;

r_B - сопротивление выводов.

Сопротивление $r_{обкл}$ зависит от конструкции конденсатора, проводимости материалов обкладок, их геометрических размеров, а также картины распределения линий тока в обкладках. Для конденсаторов с 2-сторонним расположением выводов:

$$r_{обкл} \approx (r_{он} + r_{ов})/3,$$

Где:

$r_{он}$ и $r_{ов}$ - сопротивление нижней и верхней обкладок. Добротность пленочного конденсатора $Q = 10 \div 100$. В практических расчетах $\text{tg}\delta$ - справочная величина.

Тангенс угла диэлектрических потерь существенно зависит от частоты сигнала и температуры окружающей среды.

Относительная погрешность емкости κ_C

$$\kappa_C = \kappa_{C0} + \kappa_{CT} + \kappa_S + \kappa_{Cem}$$

Где:

κ_{C0} — относительная погрешность C_0 , характеризующая воспроизводимость этой величины в условиях данного производства.

κ_S — относительная погрешность активной площади

$$\kappa_S = \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta A \cdot B + \Delta B \cdot A}{A \cdot B},$$

Где:

ΔS , ΔA , ΔB — соответственно абсолютные погрешности S , A и B верхней обкладки пленочного конденсатора κ_S минимальна, если обкладки пленочного конденсатора имеют квадратную форму. Отклонение контура верхней обкладки от квадрата увеличивает κ_S для учета этих отклонений используют коэффициент формы $K_\Phi = A/B$.

Тогда при $\Delta A = \Delta B$

$$\varkappa_S = \Delta A \frac{1 + K_\Phi}{\sqrt{K_\Phi \cdot S}}$$

\varkappa_{CT} – относительная температурная погрешность

$$\varkappa_{CT} = \left(1/C_H\right) \cdot \left(\frac{dC}{dT}\right) \cdot (T_{\max} - T_{\text{комн}}) = \alpha_C (T_{\max} - 20^\circ C),$$

где $\alpha_C = \left(1/C\right) \cdot \left(\frac{dC}{dT}\right)$ – ТКЕ, выбираемый из табличных данных.

Коэффициент старения $\varkappa_{Cст}$ определяет изменение емкости пленочного конденсатора, которое происходит вследствие деградиционных явлений в пленке диэлектрика за время Δt :

$$\varkappa_{Cст} = \frac{\Delta C/C}{\Delta t} \approx \varkappa_{CT} \varepsilon,$$

где $\varkappa_{CT} \varepsilon$ – коэффициент старения диэлектрической проницаемости.

Для обеспечения заданной точности емкости при изготовлении пленочного конденсатора необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\varkappa_S \leq \varkappa_{S, \text{доп}}$$

Где:

$\varkappa_{S, \text{доп}}$ – максимально допустимая относительная погрешность активной площади, которая может быть определена, как $\varkappa_{S, \text{доп}} = \varkappa_C - \varkappa_{C0} - \varkappa_{CT} - \varkappa_{Cст}$.

Подставляя значение $\varkappa_S = \Delta A \frac{1+K_\Phi}{\sqrt{K_\Phi \cdot S}}$

в условие, получим $S \geq \left(\frac{\Delta A}{\varkappa_{S, \text{доп}}}\right) \cdot \frac{(1+K_\Phi)^2}{K_\Phi}$.

После этого можно определить минимальную удельную емкость, обеспечивающую заданную точность:

$$C_{\text{оточн}} = \frac{C}{S} = C \left(\frac{\varkappa_{S,\text{доп}}}{\Delta A} \right) \cdot \frac{K_{\Phi}}{(1 + K_{\Phi})^2}$$

В частном случае, когда $K_{\Phi} = 1$

$$C_{\text{оточн}} = C \left(\frac{\varkappa_{S,\text{доп}}}{\Delta A} \right)^2$$

1.1.4 Расчет тонкопленочного пористого керамического конденсатора

Дано:

$C_{\text{н}} = 1000 \text{ пФ};$

$\varkappa_{\text{с}} = 15\%;$

$U_{\text{р}} = 5\text{В};$

$T = (-40 \div +80)^{\circ}\text{C},$

Коэффициент запаса для высокоточных конденсаторов – 5

Длительность эксплуатации ИМС 10000 часов.

Технологические погрешности:

$$\varkappa_{\text{с0}} = \pm 8\%;$$

$$\Delta A = \Delta B = \beta = 20\text{мкм};$$

$$q = f = 100\text{мкм}.$$

1. Для диэлектрического слоя выбираем пентаоксид тантала

($\varepsilon = 18$, $\operatorname{tg} \delta = 0,001$; $E_{\text{пр}} = 5 \text{ В/мкм}$; $\alpha_C = 5 \cdot 10^{-4} / \text{град}$; $\varkappa_{\text{сст}} = -1\%$).

2. Толщина диэлектрика $d_{\min} = 5 \cdot 5 / 5 = 0,5 \text{ мкм}$.

3. Находим удельную емкость

$$C_{0u} = 0,0885 \cdot \frac{18}{0,5 \cdot 10^{-4}} = 3,186 \cdot 10^{-4} \text{ пФ/см}^2 = 318,6 \text{ пФ/мм}^2.$$

4. Температурная погрешность емкости

$$\varkappa_{\text{ст}} = 3 \cdot 10^{-4} (80 - 20) \cdot 100 = 3,15 \%,$$

а, допустимая погрешность активной площади конденсатора:

$$\varkappa_{\text{с,доп}} = 15 - 8 - 3,15 - 1 = 2,85 \%.$$

5. Определяем удельную емкость конденсатора, исходя из заданной погрешности

$$C_{\text{точный}} = 1000 \left[\frac{0,0285}{2 \cdot 0,02} \right]^2 = 507,65625 \text{ пФ/мм}^2.$$

6. Выбираем величину C_0 с учетом обоих условий: $C_0 = 200 \text{ пФ/мм}^2$

7. Так как $\frac{C_{\text{н}}}{C_0} > 5 \text{ мм}^2$, то коэффициент $K = 1$.

8. Площадь перекрытия обкладок $S = 1000 / 1 \cdot 200 = 5 \text{ мм}^2$

9. Толщина диэлектрика, соответствующая выбранному значению C_0 .

$$d = 0,0885 \cdot \frac{18}{100 \cdot 200} = 0,7965 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,7965 \text{ мкм.}$$

10. Определяем геометрические размеры обкладок и диэлектрика конденсатора:

Размер верхней обкладки конденсатора:

$$A_{B\text{расч}} = B_{B\text{расч}} = \sqrt{5} = 2,236 \text{ мм.}$$

$$A_{B\text{топ}} = B_{B\text{топ}} = 2,236 \text{ мм.}$$

Размер нижней обкладки конденсатора:

$$A_{н.\text{расч}} = B_{н.\text{расч}} = 2,236 + 2 * (0,1 + 0,02) = 2,476 \text{ мм,}$$

$$A_{н.\text{топ}} = B_{н.\text{топ}} = 2,476 \text{ мм.}$$

Размер диэлектрика:

$$A_{д.\text{расч}} = B_{д.\text{расч}} = 2,476 + 2 * (0,1 + 0,02) = 2,716 \text{ мм,}$$

$$A_{д.\text{топ}} = B_{д.\text{топ}} = 2,716 \text{ мм.}$$

11. Площадь, занимаемая конденсатором $S = 2,716^2 \approx 7,377 \text{ мм}^2$.

1.1.5 Топологический чертеж чувствительного элемента (конденсатора)

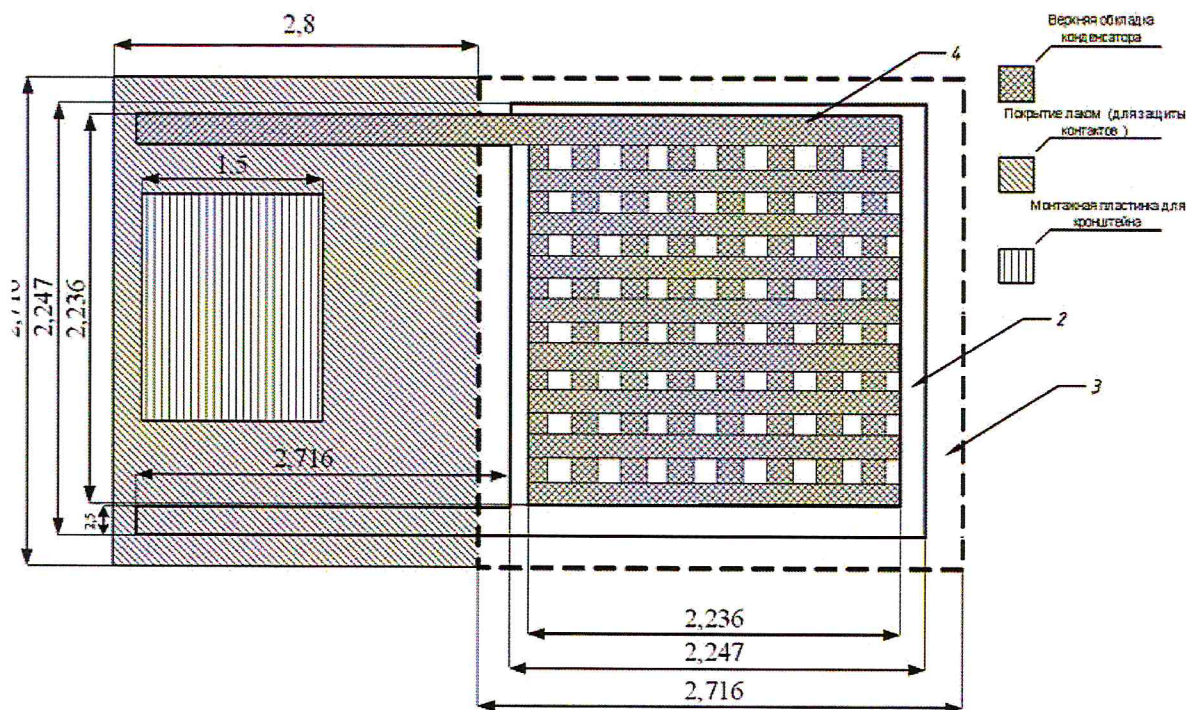


Рисунок 4 – Эскиз чувствительного элемента

2.3 Корпус преобразователя

В качестве корпуса преобразователя применяется взрывозащищенная коробка СКВ-У90N1/RAL 5015 – ТУ 3400-005-72453807-07. В качестве корпуса преобразователя может быть применен иной корпус, соответствующий заявленным габаритам, а также требуемым условиям эксплуатации (в случаях применения во взрывопожароопасных зонах).

2.4 Кабельный ввод

В качестве кабельного ввода в корпус преобразователя применяется взрывозащищенный кабельный ввод КНВМ1R-20Н-ТУ 3400-007-72453807-077-07. В качестве кабельного ввода может быть применен иной кабельный ввод, отвечающий требованиям к обеспечению взрыв- и пожаробезопасности, а также степени пыле-влагозащиты.

2.5 Герметичный электроввод

Герметичный электроввод (далее – электроввод) является элементом, осуществляющим электрическую связь чувствительного элемента (а при наличии конструктивно отдельного от сорбционно-емкостного ЧЭ термосопротивления -

чувствительных элементов) с измерительной платой преобразователя ТТР. Электроввод предназначен для монтажа как в измерительную камеру устройства подготовки пробы, так и непосредственно в трубопровод. Присоединение кабельного ввода к технологическому процессу выполняется резьбовым соединением М20х1,5 внешняя или UNF 5/8'' внешняя в соответствии с АБВГ 04.01. СБ.

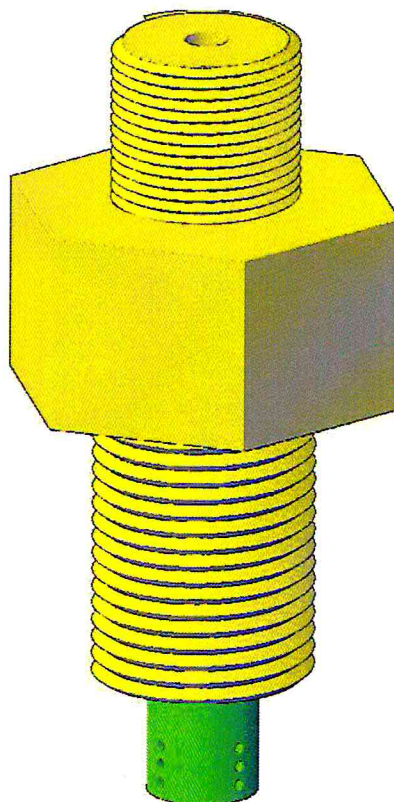


Рисунок 5 – Эскиз герметичного электроввода

На электровводе предусматривается резьба для присоединения защитного пенала чувствительного элемента. Электроввод оснащается защитным чехлом. Защитный чехол крепится на кронштейн защитного чехла, вкрученный вовнутрь электроввода. Защитный чехол накручивается на резьбовое соединение кронштейна. Через электроввод прокладывается 4 провода МГТФ 1х0,18 – 1х0,8 мм. Канал заполняется компаундом химически стойким к измеряемой среде. Запас провода с каждой стороны 10 мм. Материалы элементов, габаритные размеры, типы резьбы в соответствии с АБВГ 04.01. СБ. Допускается изменение

материалов, габаритных размеров элементов, типов резьбы по согласованию с заказчиком. Электроввод является изделием взрывозащищенного исполнения с маркировкой 1Ex d IIC T5 Gb.

Защитный пенал (далее - пенал) предназначен для защиты чувствительного элемента от механических повреждений и загрязнения механическими частицами. Пенал должен быть выполнен из пористого материала химически инертного к измеряемой среде: из спеченной алюминиевой крошки, керамики или полимерных материалов с размером максимальной поры:

- для исполнения 1 – не более 5 мкм;
- для исполнения 2 – не более 20 мкм;
- для исполнения 3 – не более 50 мкм.

Материал пенала должен пропускать через себя частицы с размерами менее фильтруемых (указаны выше).

Для газов, не содержащих механические частицы размером свыше 5 мкм в качестве материала защитного пенала может быть применен непористый материал. В этом случае доступ измеряемой среды к ЧЭ осуществляется через боковые проточки пенала.

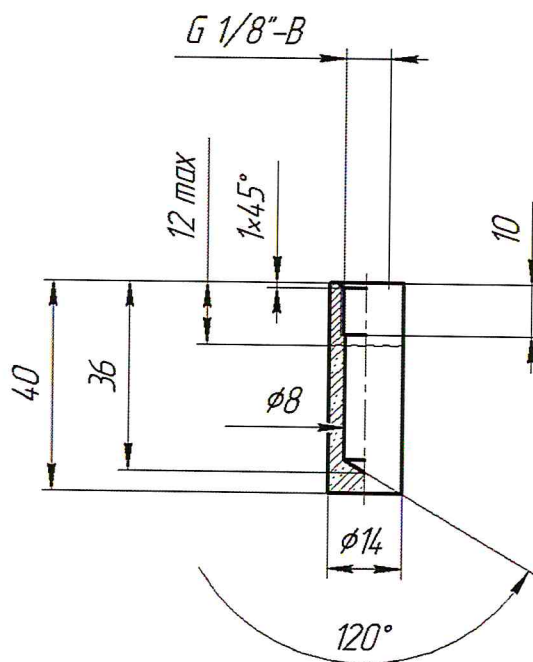


Рисунок 6 – Защитный пенал

ГЛАВА 3

Разработка принципиальной электрической схемы электронной платы, математических и графических моделей отечественного преобразователя ТТР.

3.1 Разработка принципиальной электрической схемы электронной платы сорбционно – емкостного преобразователя температуры точки росы

Чувствительный элемент сорбционно – емкостного преобразователя температуры точки росы представляет собою 2 измерительных элемента: термосопротивление (RT1) и тонкопленочный конденсатор (CT1). Параметры термосопротивления и емкости конденсатора поступают в сдвоенный осциллятор таймер (IC2). Чувствительные элементы включены в два измерительных моста (Рисунок 4). Измерение емкости ведется за счет измерения микросхемой-таймером КР1087ВИЗ (Рисунок 4) времени за которое происходит заряд-разряд сорбционно-емкостного конденсатора. Измерение термосопротивления ведется также таймером КР1087ВИЗ вторым измерительным мостом. Здесь изменение сопротивления чувствительного элемента влияет на время разряда конденсатора C2.

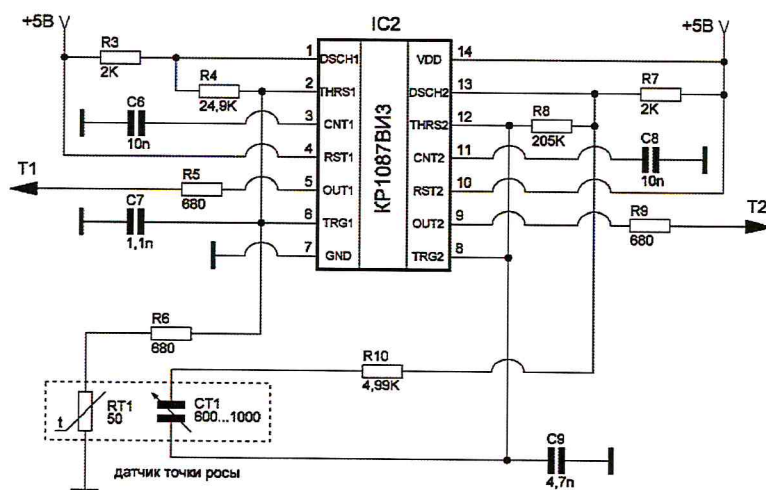


Рисунок 7 – Подключение чувствительного элемента преобразователя ТТР к осциллятору таймеру

Результатом преобразования емкости и сопротивления является ШИМ, которая подается на 23 и 26 входа центрального микропроцессора. Микропроцессор (Рисунок 5) несет на своей площадке 12 – ти разрядные цифро – аналоговый преобразователь и постоянное запоминающее устройство с размером программируемой памяти 4к*16. Процессор из двух прямоугольных сигналов – емкости и сопротивления формирует адрес ячейки массива данных в постоянное запоминающее устройство. Значение каждой ячейки соответствует определенной температуре точки росы. Массив данных заполняется для каждого чувствительного элемента индивидуально. Значение температуры точки росы храниться в градуировочной таблице, записанной в виде массива данных в энергонезависимой памяти. CPU формирует запрос, состоящий из адреса ячейки градуировочной таблицы. ПЗУ передает содержание ячейки градуировочной таблицы CPU, который в свою очередь вычисляет актуальное значение точки росы и в виде пакета данных.

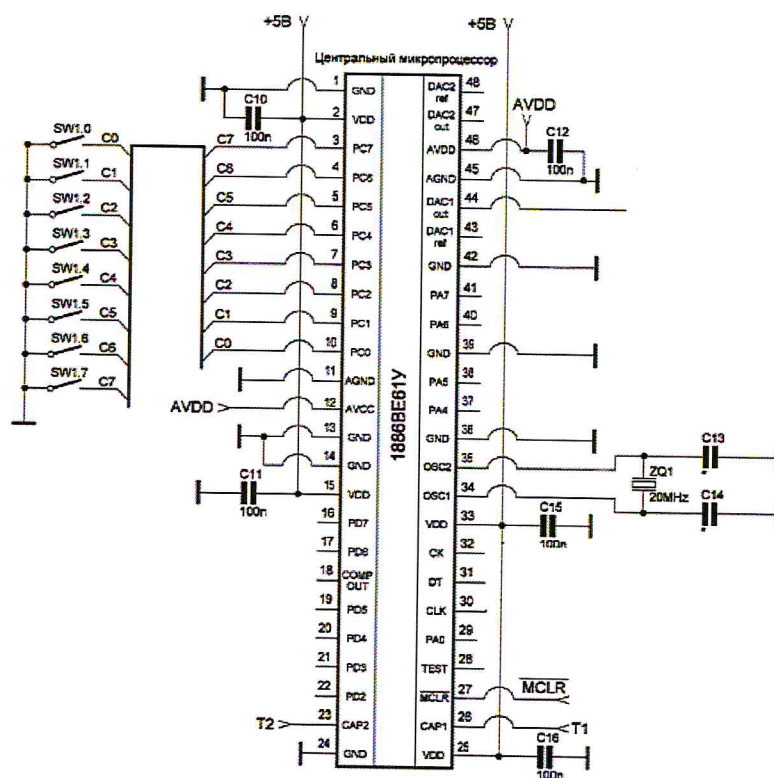


Рисунок 8 – Центральный микропроцессор с 12 – ти разрядным ЦАП и ПЗУ

Микропроцессор передает значения точки росы в цифровом виде в цифро – аналоговый преобразователь. ЦАП на основании представленного цифрового кода формирует выходное напряжение. Выходное напряжение подается на операционный усилитель 544УД2 (Рисунок 6) и транзистор КТ972, на который заведена обратная связь по току резисторов R13-R15 с возможностью установки выходного сигнала 0-20 мА; 4-20 мА; 0-5 мА. Стабилитроны Z3 – Z6 служат для защиты от превышения допустимого напряжения и образования искрового разряда (обеспечение искробезопасности).

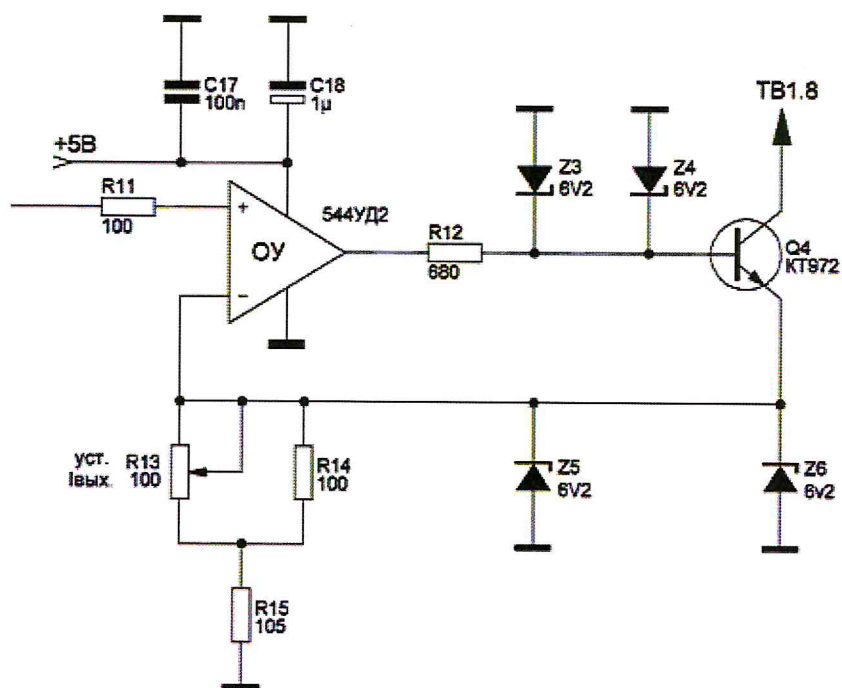


Рисунок 9 – Подключение операционного усилителя в электронной плате

Для организации питания по четырехпроводной схеме используется регулятор напряжения КР1157ЕН5Б (Рисунок 7) который преобразует 24 В в 5 В постоянного тока. Стабилитроны Z1 – Z2 защищают электрическую схему от возможного пробоя стабилизатора.

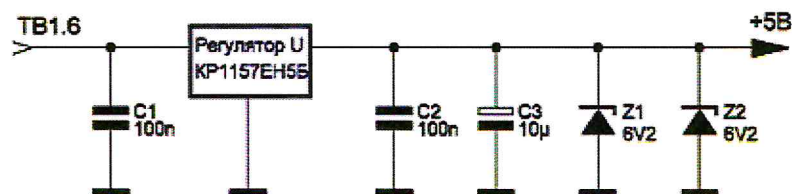


Рисунок 10 – регулятор напряжения 24/5 В

Для адаптации микропроцессорного модуля под различные типы датчиков и выходных сигналов служит набор конфигурационных переключателей SW1.1 – SW 1.7 подключенных к микропроцессору на вход номер 3-10 расширителя ввода – вывода собранного на сдвиговом регистре (8 шин преобразует в последовательный сигнал).

Для обеспечения устойчивой работы микропроцессора в электрической схеме установлен супервизор питания К1274СП45П (Рисунок 8). При просадке напряжения ниже 4,9 В компаратор во избежание искажения результатов связанных с изменением напряжения питания переводит CPU в режим RESET.

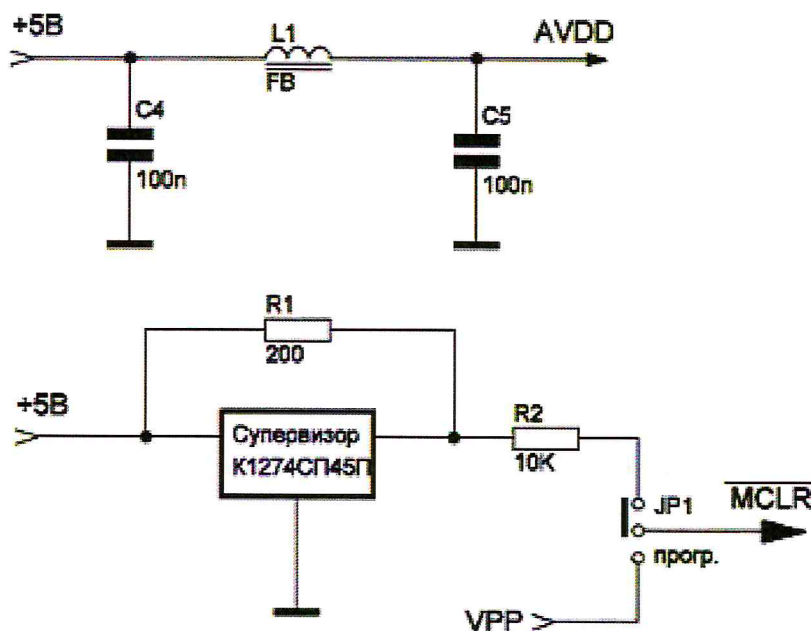
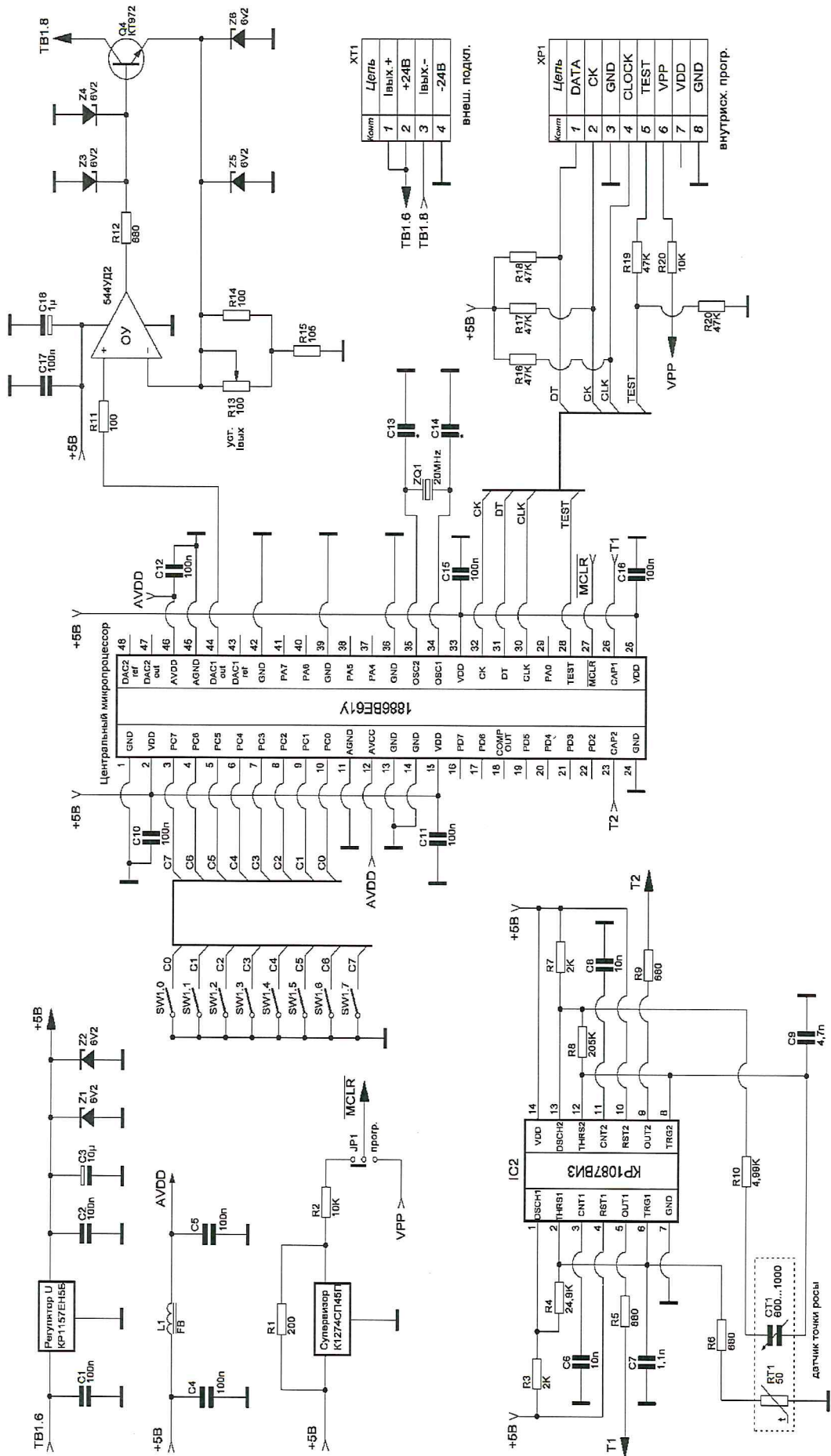


Рисунок 11 – Супервизор питания

Полная принципиальная электрическая схема, представлена на рисунке 12.



внешн. подкл.

Контр	Литер
1	ИВЫХ. +
2	+24В
3	ИВЫХ. -
4	-24В

внутриск. пропр.

Контр	Литер
1	DATA
2	CK
3	GND
4	CLOCK
5	TEST
6	VPP
7	VDD
8	GND

Рисунок 12 – Принципиальная электрическая схема электронной платы опытного отечественного преобразователя ТТР

3.2 Разработка математической модели электронной платы преобразователя сорбционно – емкостного опытного преобразователя температуры точки росы

Для подтверждения правильной работы разработанной электронной платы преобразователя по принципиальной схеме была разработана математическая модель (рисунок 10).

Модель разработана в ППП MathLAB. Для моделирования использован пакет Simulink. Элементы схемы взяты из библиотек Simulink и Simscape.

Питание схемы осуществляется от источника постоянного напряжения номиналом в 24 В, в качестве которого используется элемент, изображённый на рисунке 8, из Simscape / Foundation Library / Electrical / Electrical Sources.

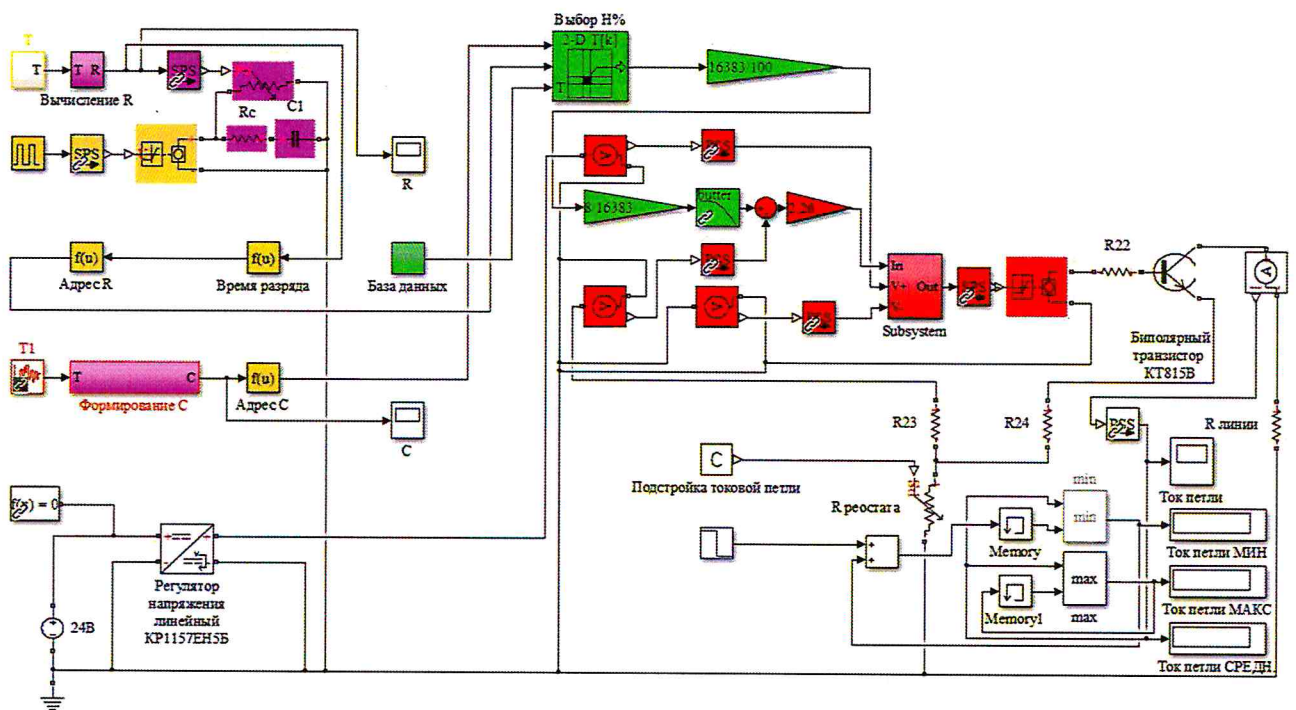


Рисунок 13 – Укрупнённая математическая модель преобразователя ТТР

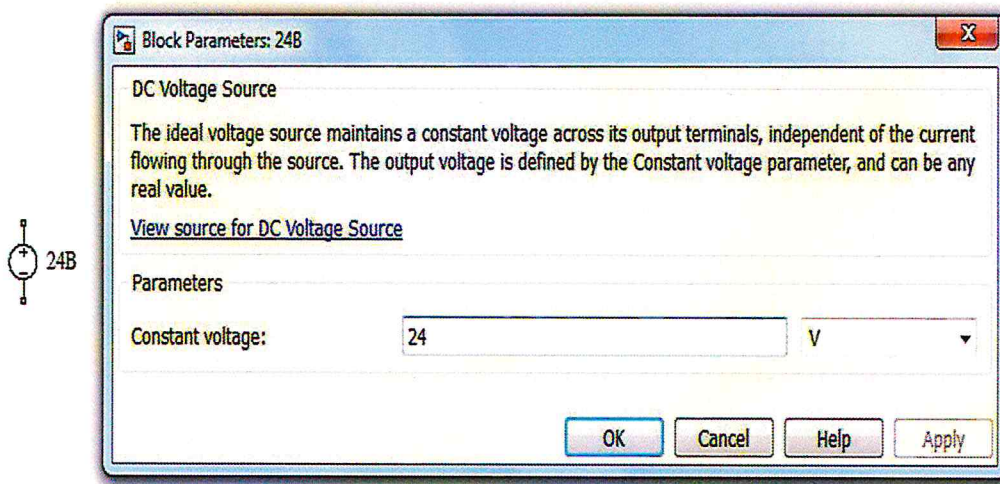


Рисунок 14 – Источник постоянного напряжения 24 В и его описание

В исходной схеме при помощи линейного регулятора напряжения КР1157ЕН5Б искомое напряжение понижается до 5 В. Для подобного преобразования в модели в модели применён DC-DC Converter из библиотеки Simscape / SimElectronics / Sources (рисунок 12).

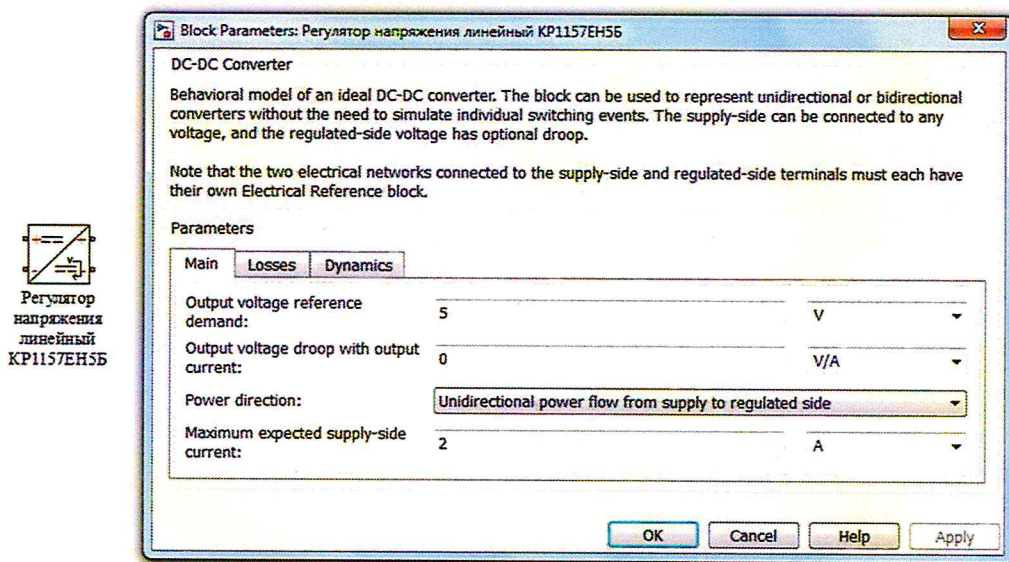


Рисунок 15 – DC-DC Converter и его описание

В качестве генератора частоты (для образования прямоугольных сигналов) выступает Pulse Generator из библиотеки Simulink / Sources (рисунок 13).

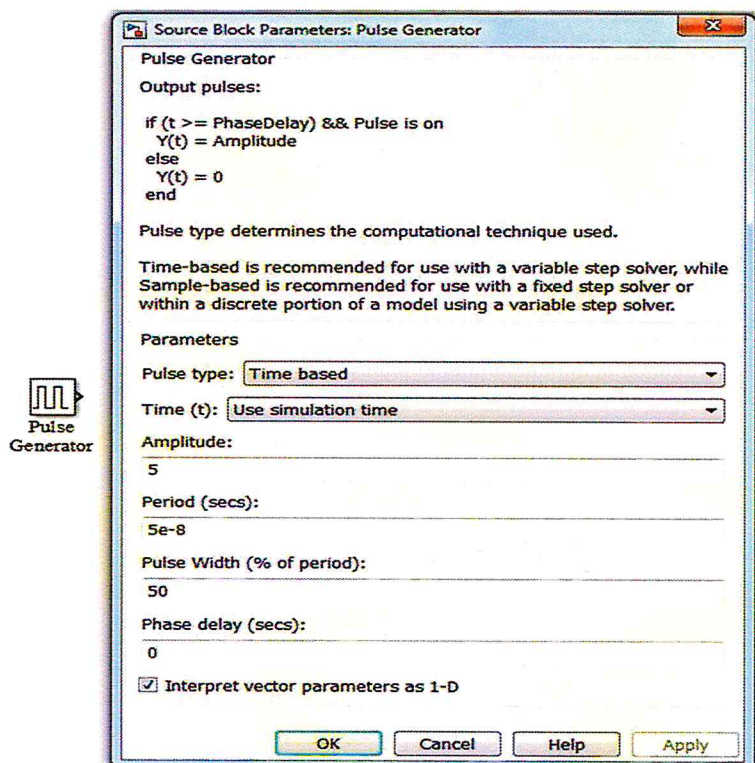


Рисунок 16 – Генератор прямоугольных импульсов и его описание

В модели используются три типа сигналов: Simulink Signal, Physical Signal и Electrical Signal.

Для преобразования Physical Signal в Simulink Signal и обратно применяются соответствующие утилиты (рисунок 14). Расположены они в соответствующем разделе Simscape / Utilities.

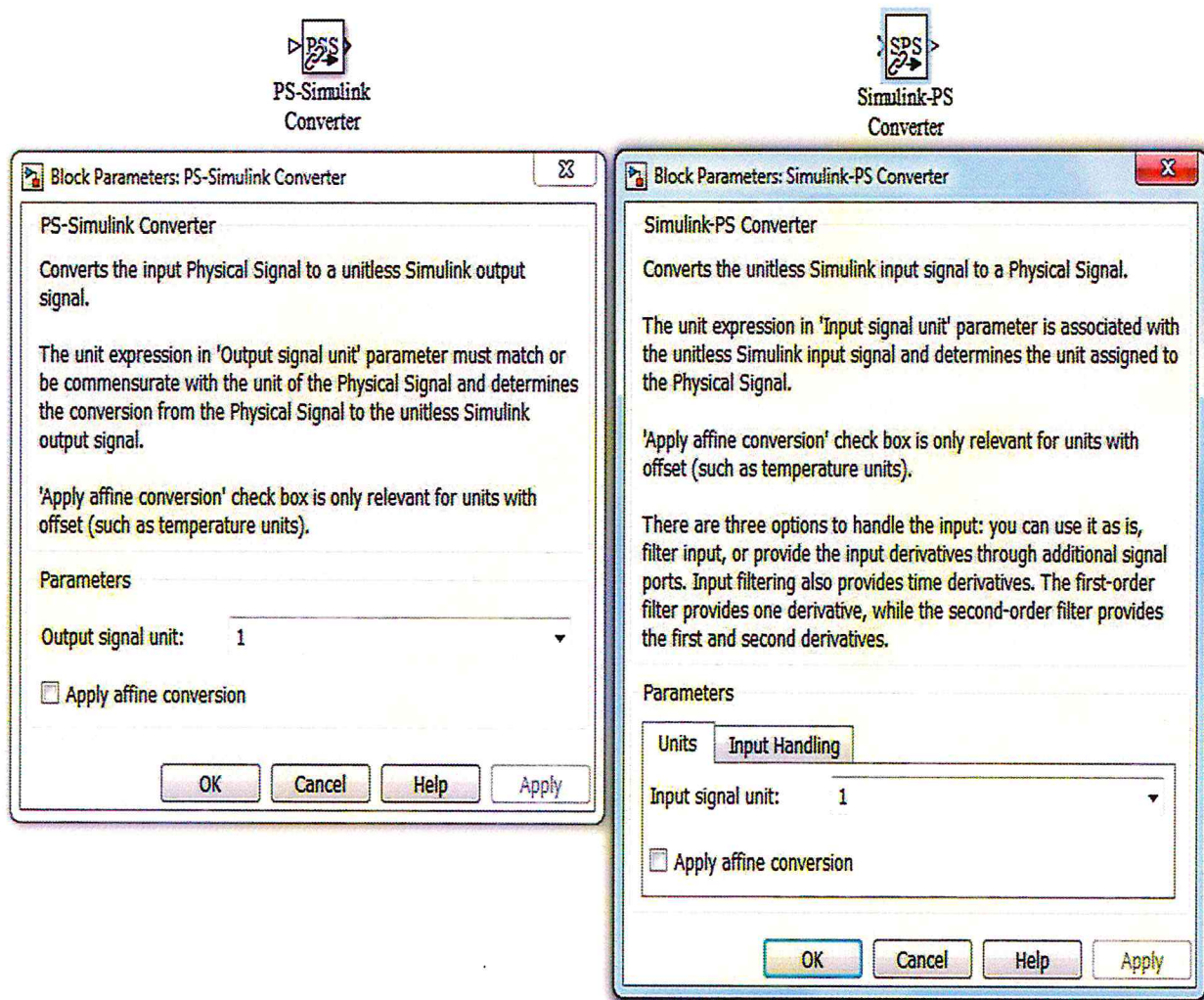


Рисунок 17 – Утилиты для преобразования сигналов одного типа в другой

Для измерения электрического напряжения и электрического тока используются соответственно вольтметр и амперметр. Данные приборы (рисунок 15) формируют на выходе Physical Signal. Найти элементы можно в библиотеке Simscape / Foundation Library / Electrical / Electrical Sensors.

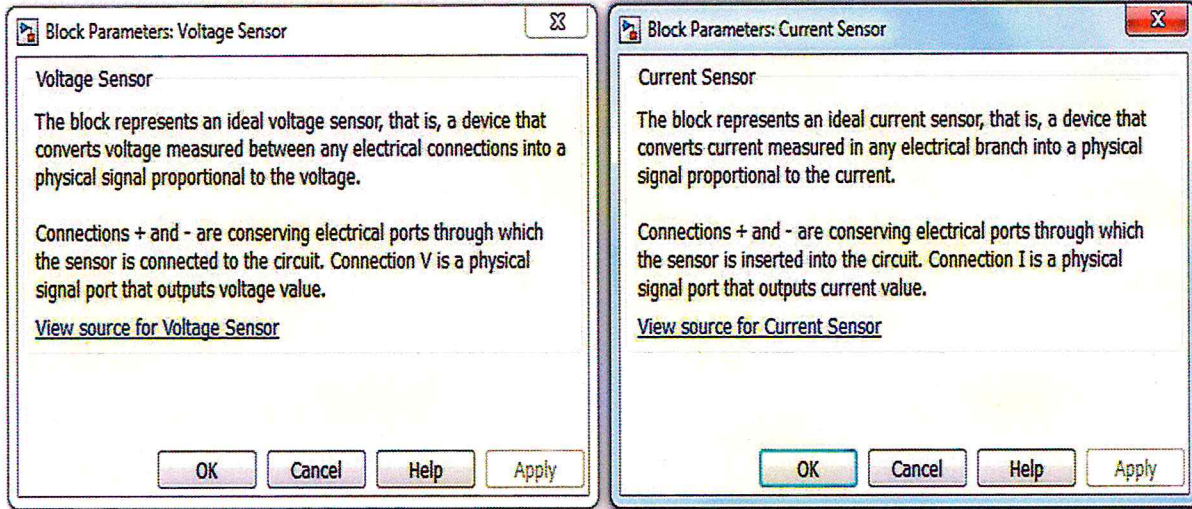
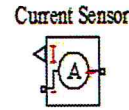
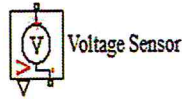


Рисунок 18 – Вольтметр и амперметр из библиотеки Simscape и их описание

Для преобразования физического сигнала в электрическое напряжение служит блок PS Sensor (рисунок 16) из Simscape / SimElectronics / Sensors.

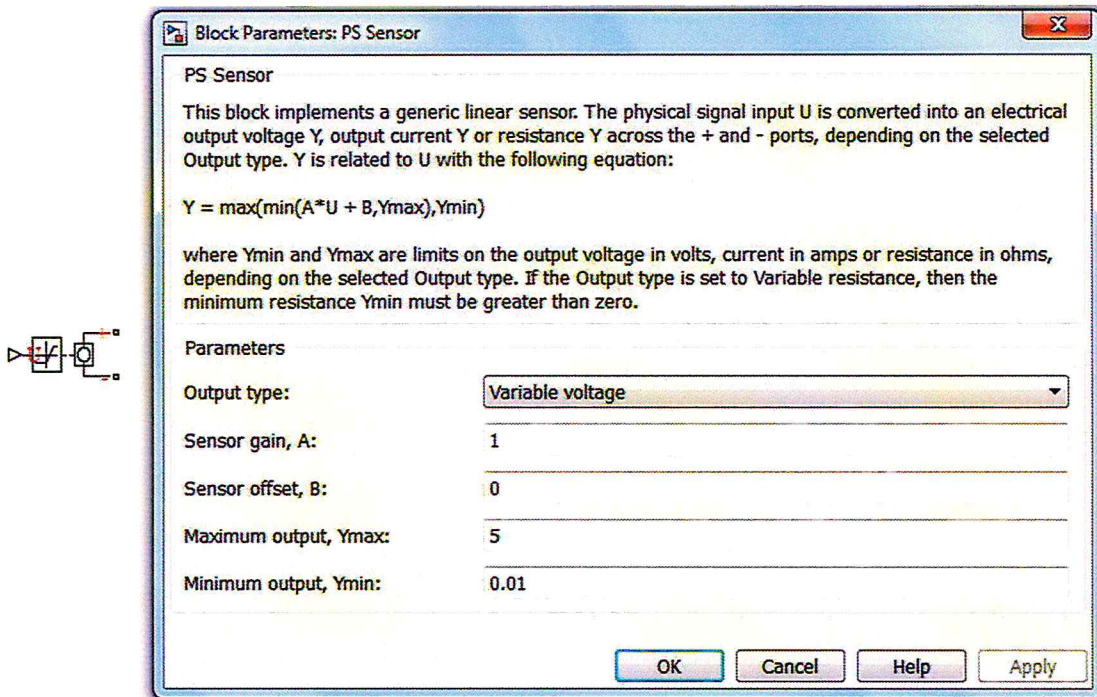


Рисунок 19 – Блок PS Sensor и его описание

Также, в схеме использованы следующие электрические элементы: резисторы (Resistors), реостат (Variable Resistors), конденсатор (Capacitor). Элементы изображены на рисунках 17, 18 и 19, соответственно. Элементы можно найти здесь: Simscape / Foundation Library / Electrical / Electrical Elements.

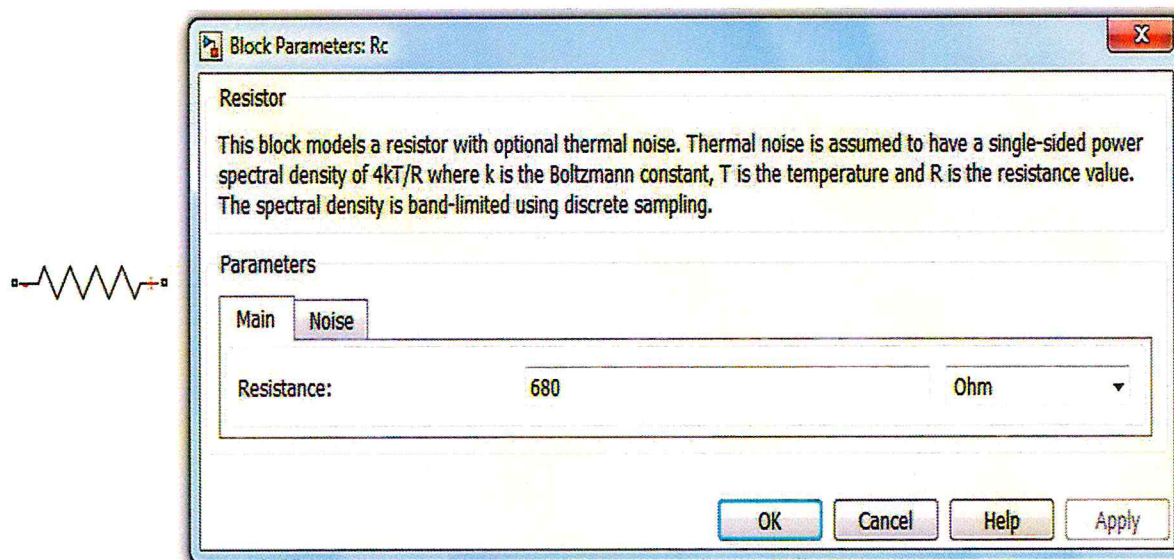


Рисунок 20 – Блок Resistor и его описание

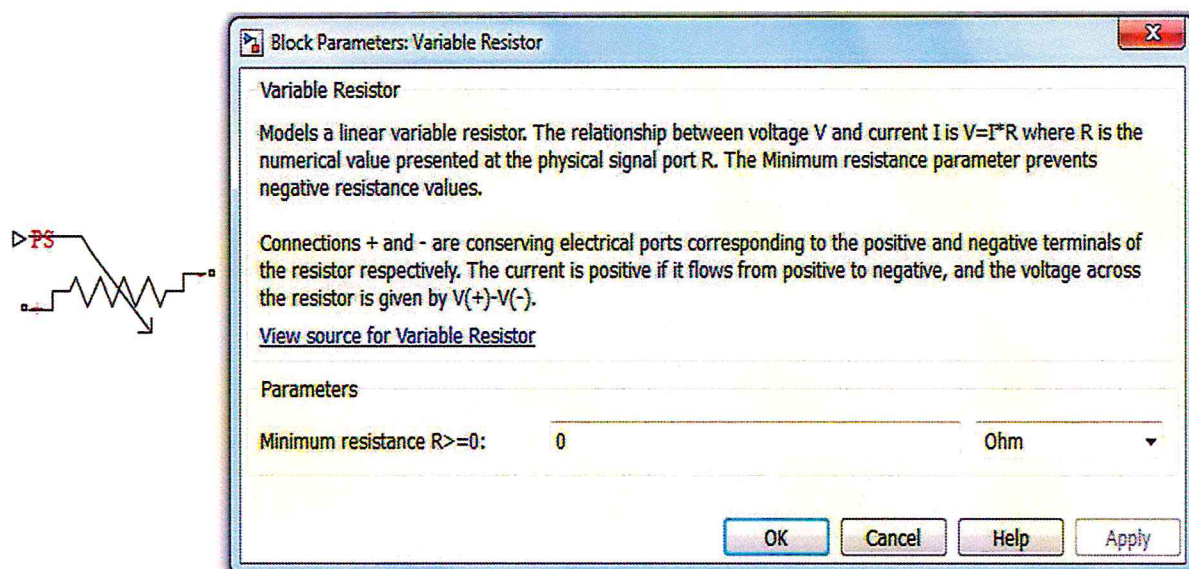


Рисунок 21 – Блок Variable Resistor и его описание

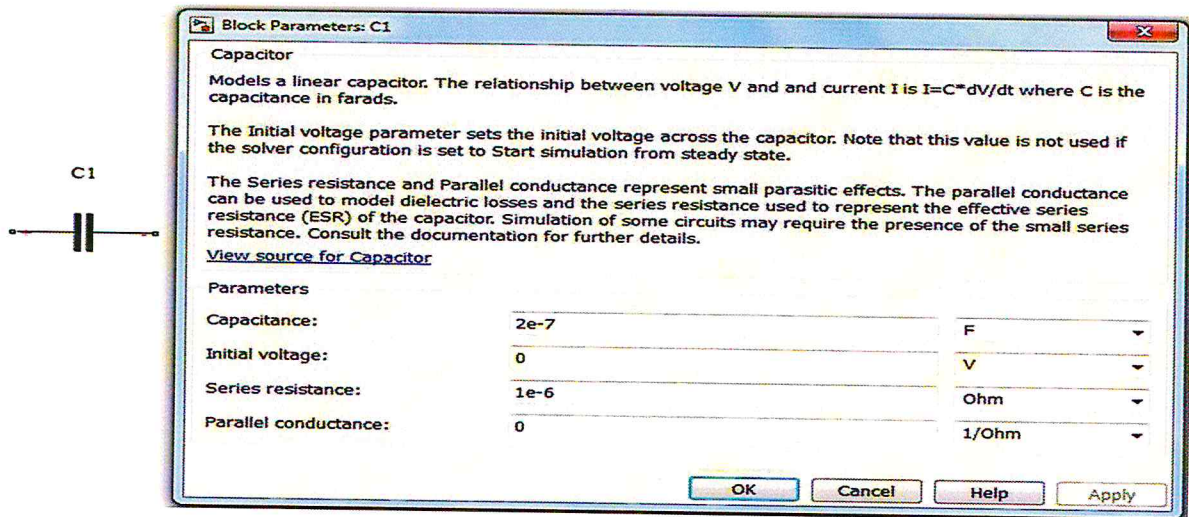


Рисунок 22 – Блок Capacitor и его описание

Если имеются сложные функциональные зависимости от одного переменного, то используются блоки Function (Fcn) (рисунок 20), из раздела Simulink / User-Defined Function). Подобные блоки применены в нескольких местах схемы, например, для нахождения значений сопротивления термосопротивления или ёмкости чувствительного элемента.

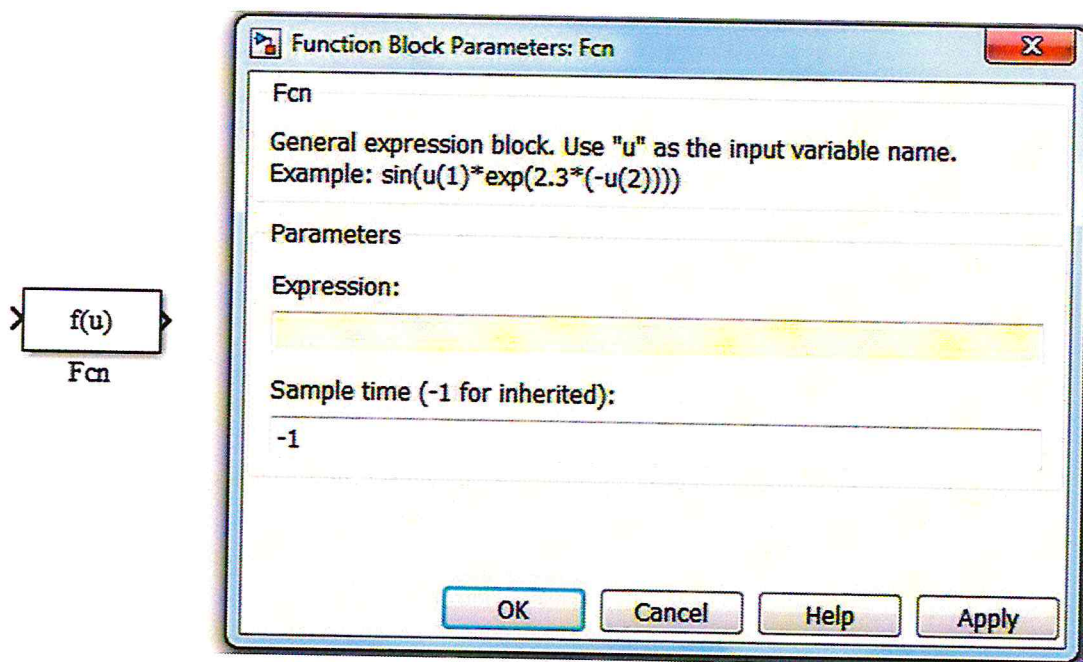


Рисунок 23 – Блок Function (Fcn) и его описание

Так, при условном изменении температуры точки росы (рисунок 21) в диапазоне от минус 40,07 до плюс 40,55 градусов по Цельсию изменяются характеристические показатели чувствительного элемента.

А именно, изменяется сопротивление термосопротивления ТСП-50П с одной стороны и ёмкость чувствительного элемента – с другой. При минимальном значении температуры значение сопротивления термосопротивления ТСП-50П будет равно 42 Ом, при максимальном значении – 58 Ом. Ёмкость преобразователя при данных температурах колеблется от 600 до 1000 мкФ. Изменение сопротивления показано на рисунке 22, а изменение ёмкости – на рисунке 23.

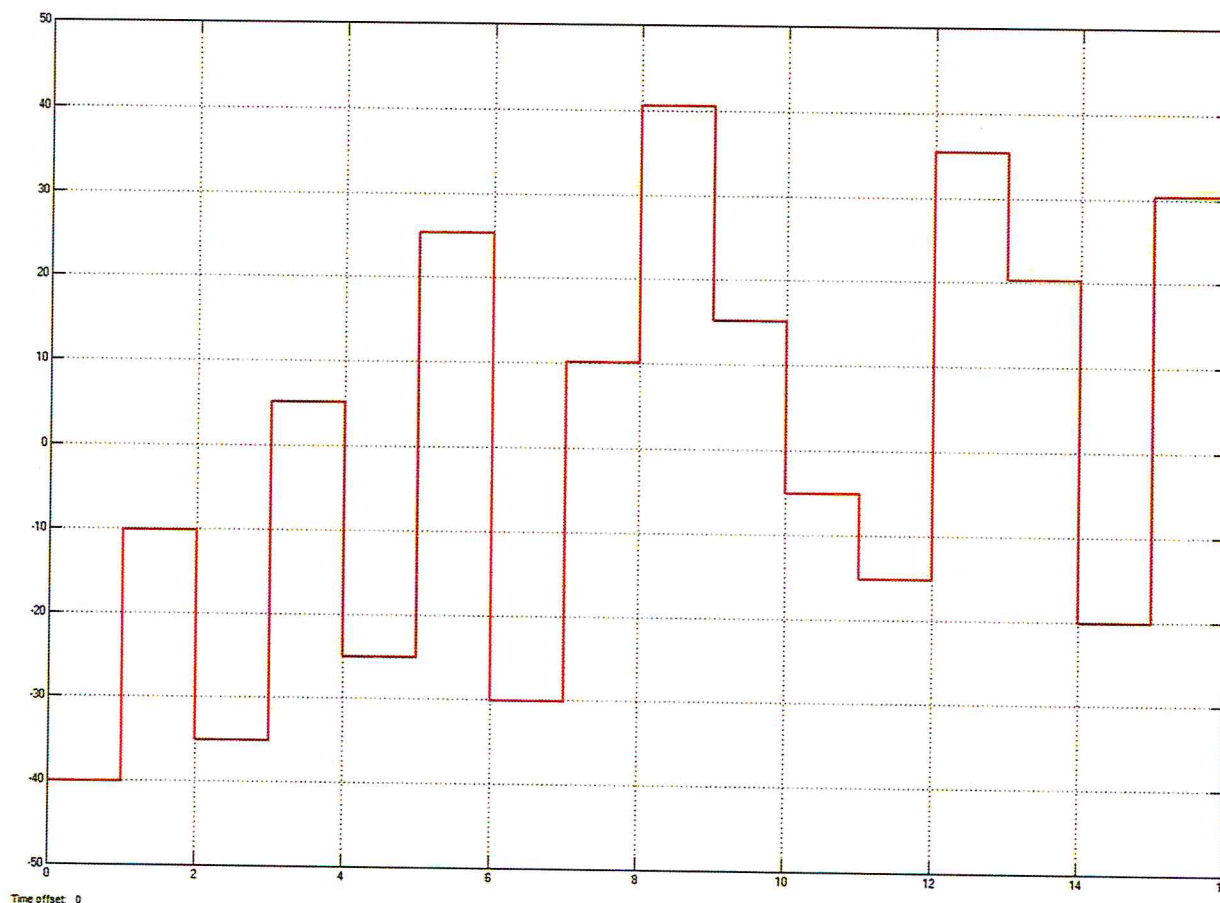


Рисунок 24 – Условное изменение температуры

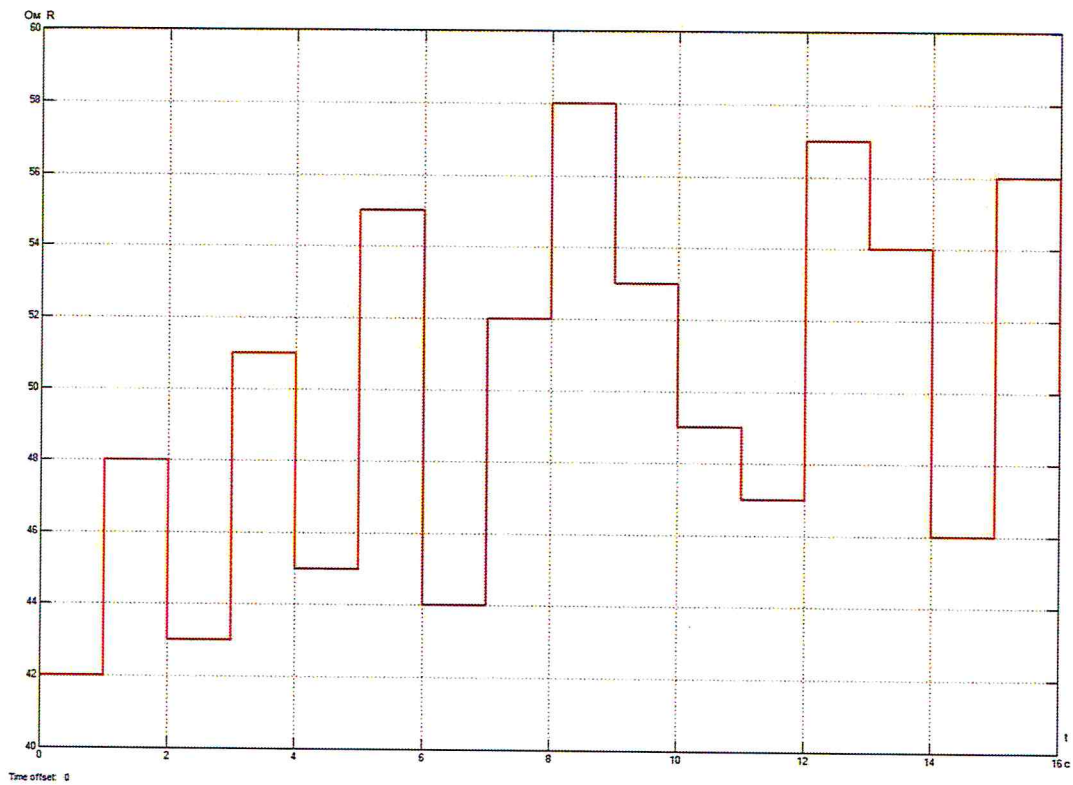


Рисунок 25 – Условное изменение сопротивления термосопротивления

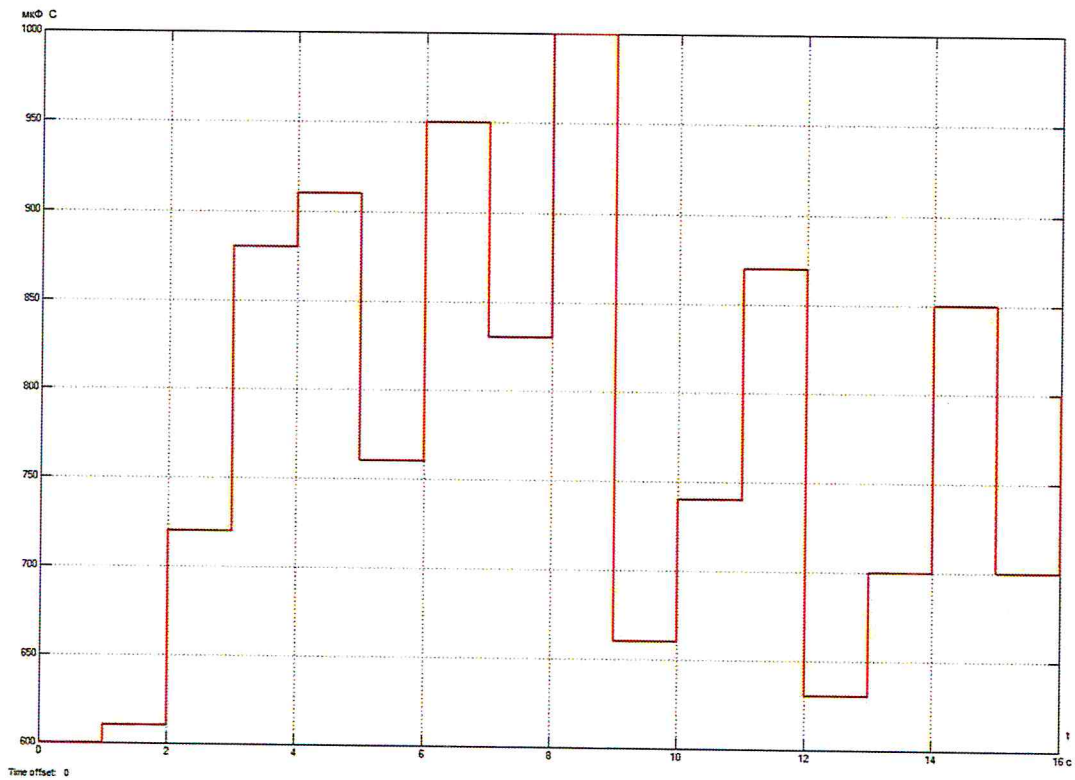


Рисунок 26 – Условное изменение ёмкости чувствительного элемента

Полученные значения обрабатываются процессором. В результате чего им присваивается определённый код, после чего эти сигналы передаются в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), являющееся частью микропроцессора. Здесь, по предварительно занесённой в память базе данных, определяется значение влажности газа.

В модели база данных реализована при помощи блока подсистемы (Subsystem), который можно найти по адресу Simulink / Ports & Subsystems. Этот блок позволяет сгруппировать часть схемы в Основные параметры блока показаны на рисунке 24.

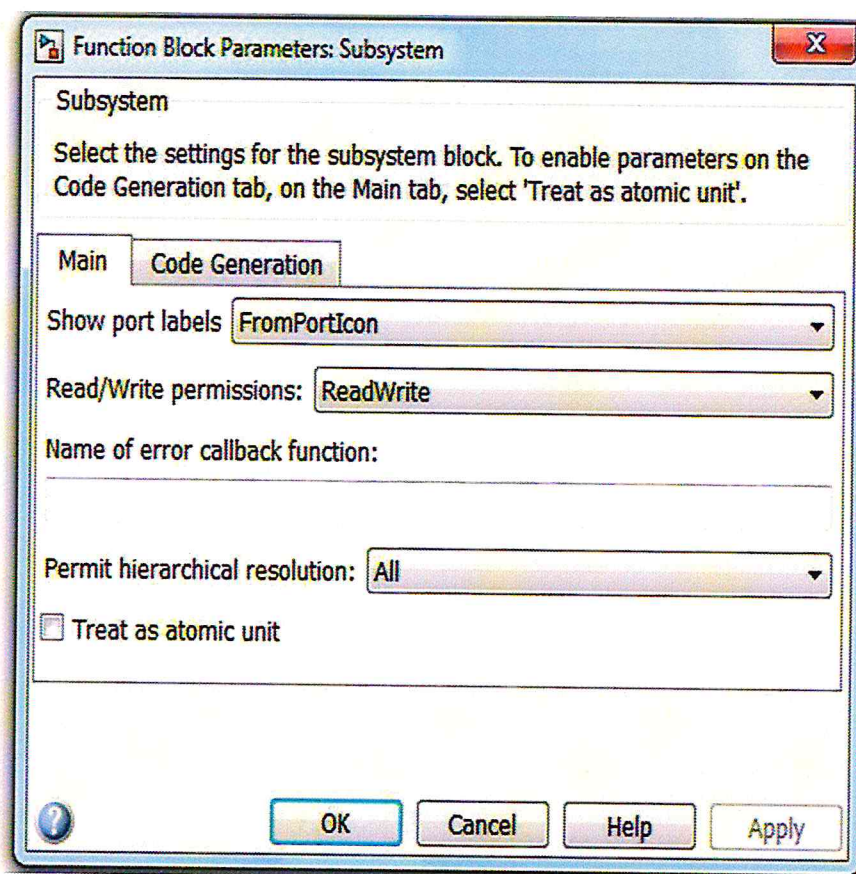
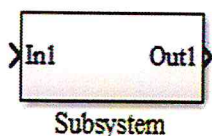


Рисунок 27 – Блок Subsystem и его описание

Подсистема «База данных» (рисунок 25) построена на множестве источников типа Constant (рисунок 26), библиотека Simulink / Sources, которые сопоставляют значение влажности газа термосопротивления и ёмкости

чувствительного элемента (помимо непосредственно константы, блок позволяет задать его как 1-D вектор, для этого значения вводятся через пробел и с двух сторон обрамляются квадратными скобками). Все эти источники сведены в единую матрицу при помощи блока Matrix Concatenate (рисунок 27). Блок Matrix Concatenate находится в каталогах Simulink / Math Operation и в DSP System Toolbox / Math Functions / Matrices and Linear Algebra / Matrix Operations.

Теперь каждому значению сопротивления и каждой ёмкости соответствует своё определённое значение влажности газа.

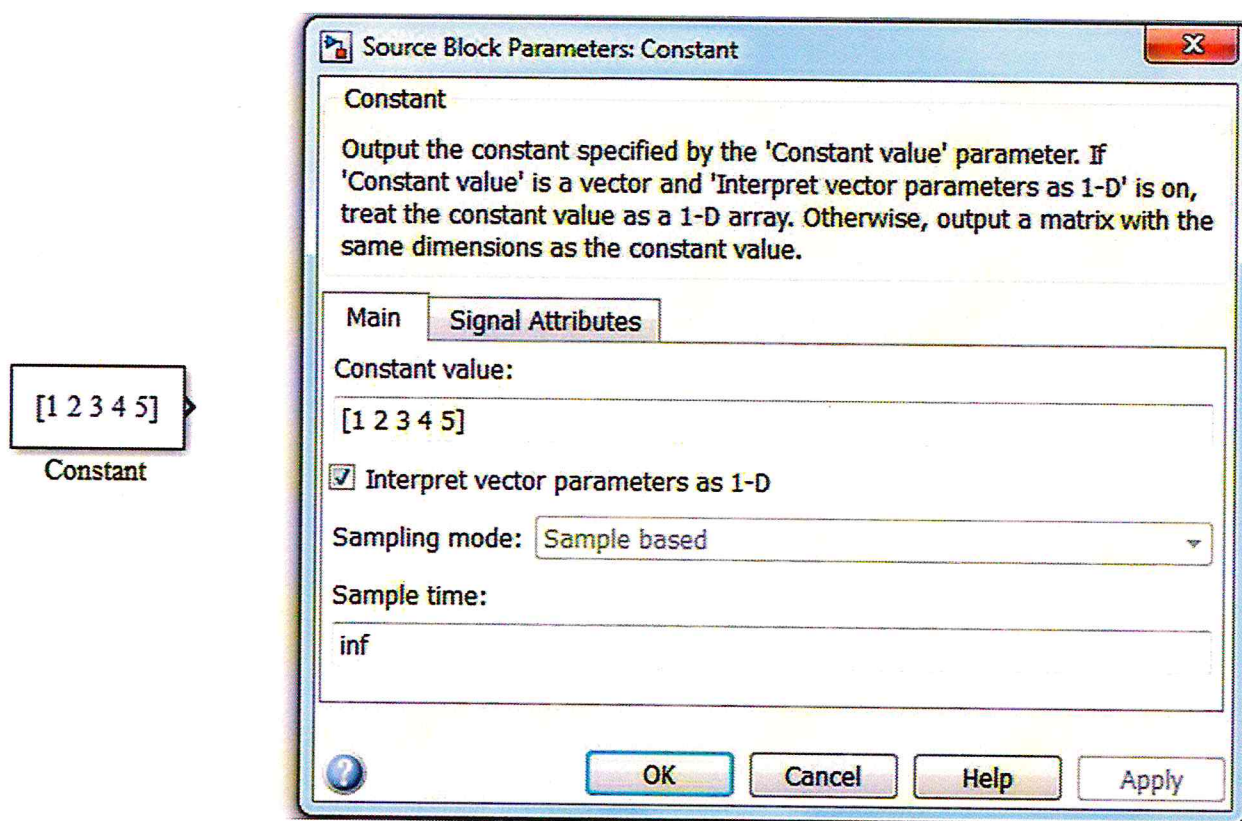


Рисунок 28 – Блок Constant и его описание

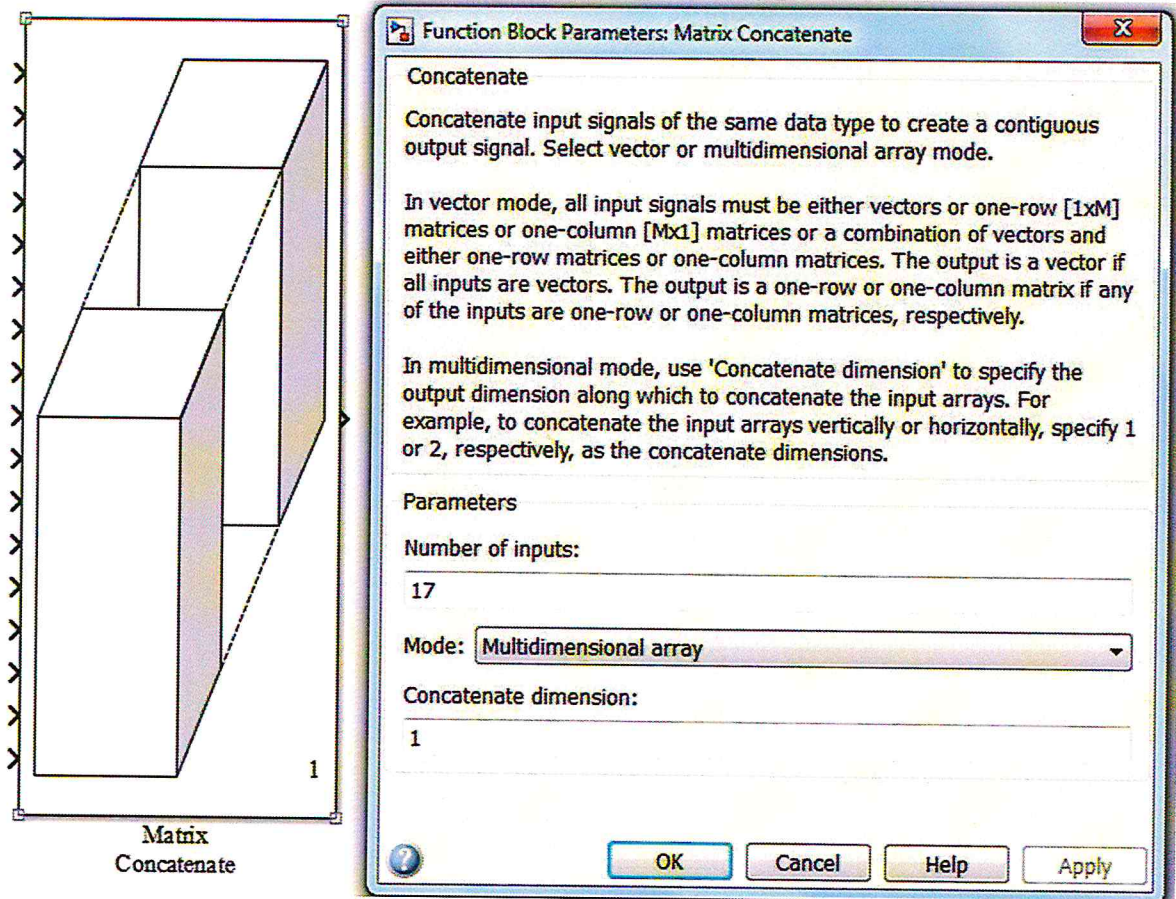


Рисунок 29 – Блок Matrix Concatenate и его описание

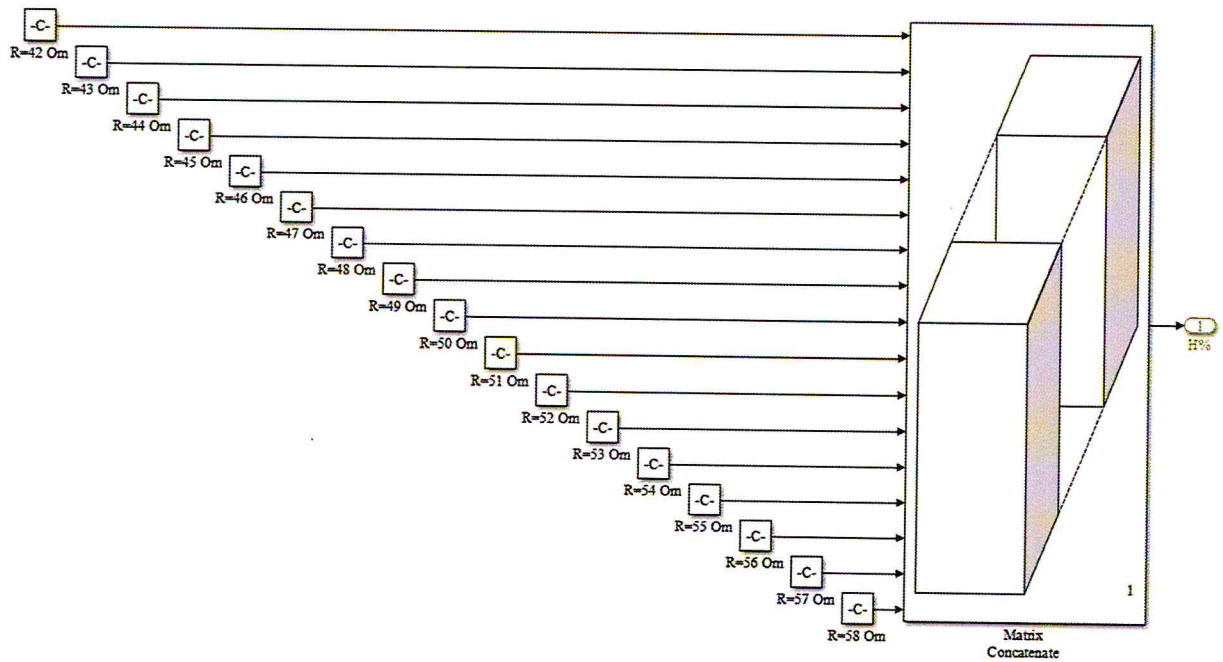


Рисунок 30 – Подсистема база данных

Выбор единственно верного показания влажности газа осуществляется в блоке Direct Lookup Table (n-D) (рисунок 28) из Simulink / Lookup Tables. Формирование сигнала влажности осуществляется следующим образом: значение сопротивления задаёт номер столбца, значение ёмкости – номер строки, а выходной сигнал берётся из базы данных из ячейки с соответствующими координатами.

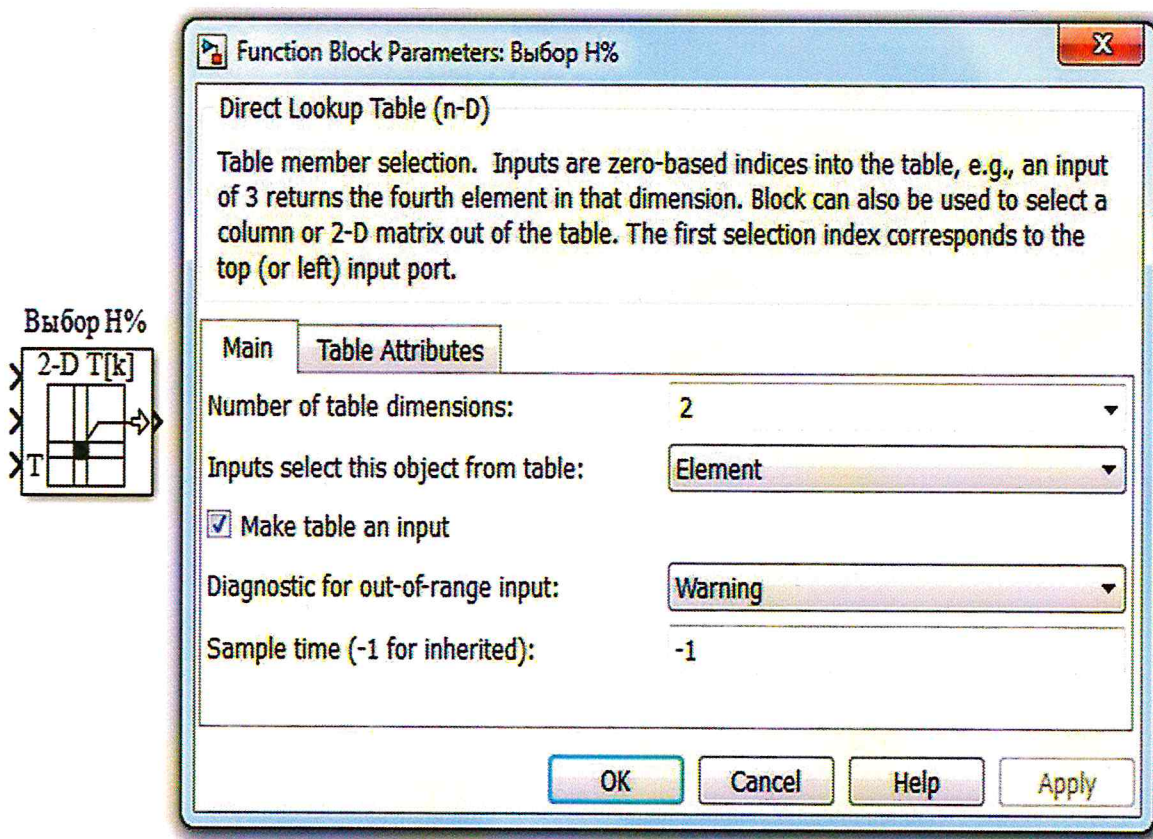


Рисунок 31 – Блок Direct Lookup Table (n-D) и его описание

Полученный цифровой сигнал при помощи фильтра Analog Filter Design (рисунок 29) (DSP System Toolbox / Filtering / Filter Implementations) преобразуется в аналоговый электрический сигнал, который далее в виде напряжения поступает на вход операционного усилителя.

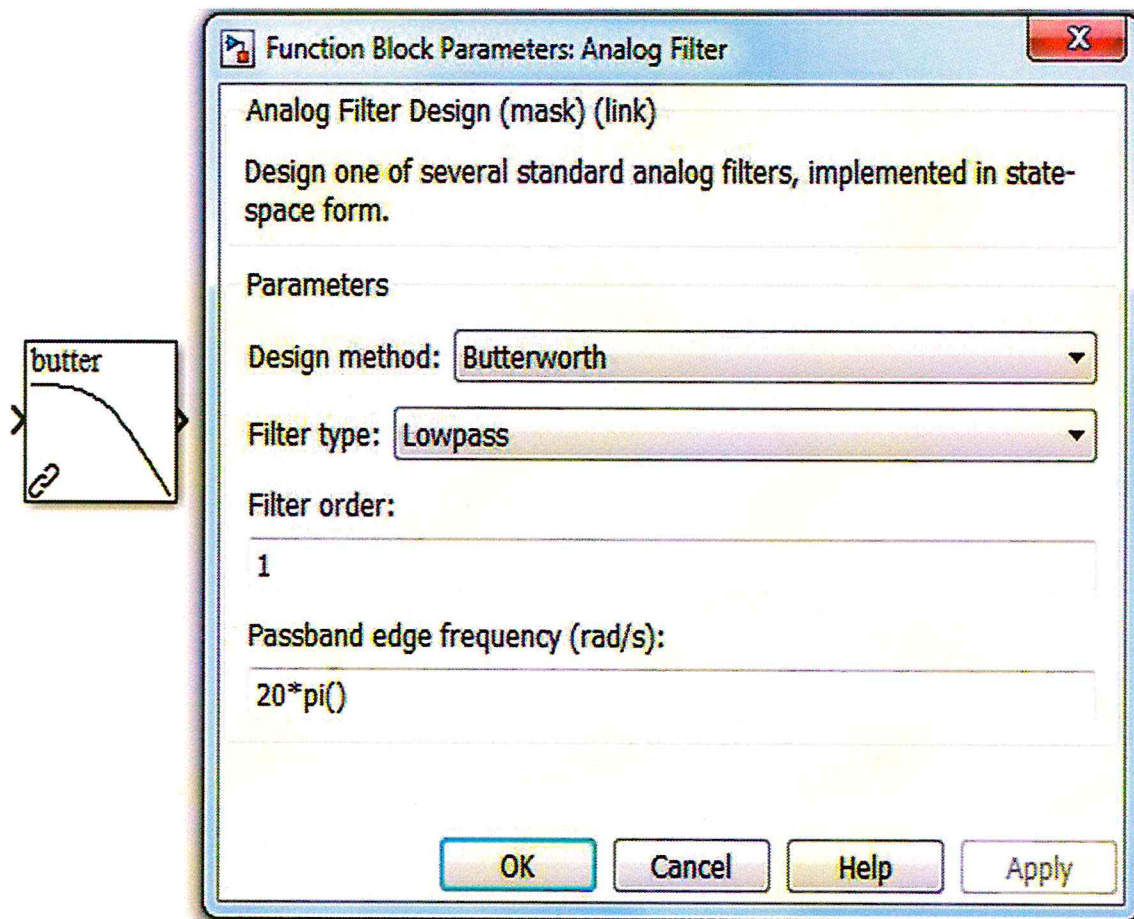


Рисунок 32 – Блок Analog Filter Design и его описание

Схема после операционного усилителя образует так называемую токовую петлю. Ток в цепи коллектора биполярного транзистора должен находиться в пределах от 4 до 20 мА. Для отслеживания максимального, минимального и среднего значений выходного тока организован вывод этих значений на цифровой дисплей (Display) (рисунок 30), а также снятие графической зависимости при помощи виртуального осциллографа (Scope) (рисунок 31) (обоих можно найти в директории Simulink / Scins).

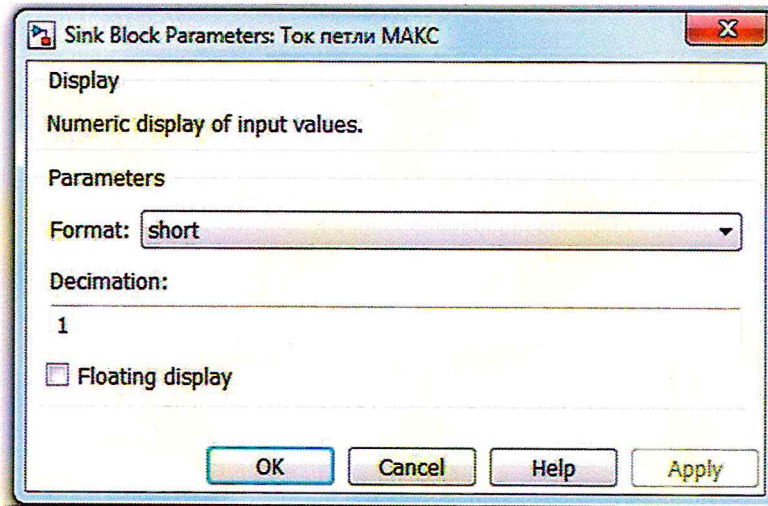
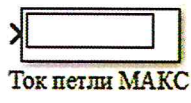


Рисунок 33 – Блок Display и его описание

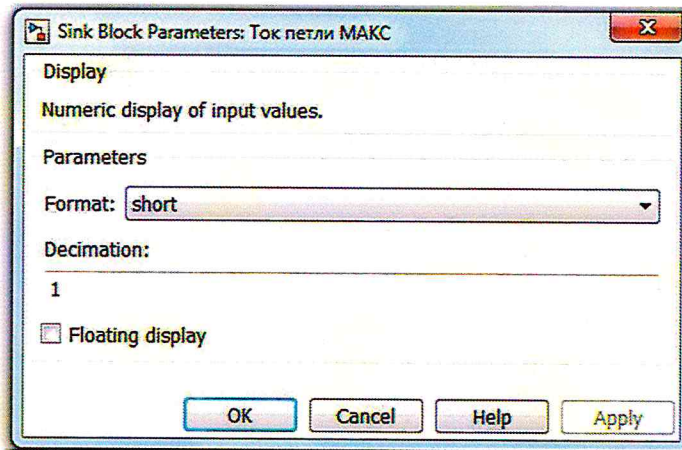
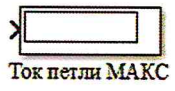


Рисунок 34 – Блок Display и его описание

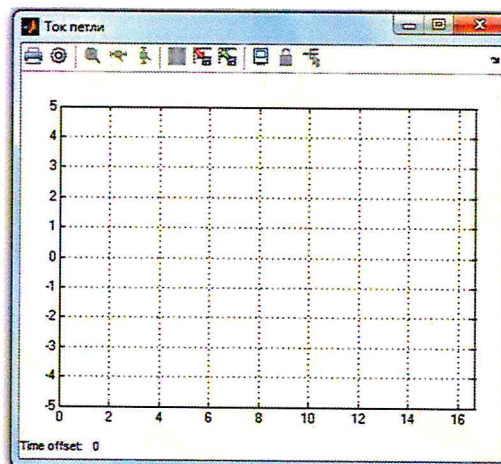
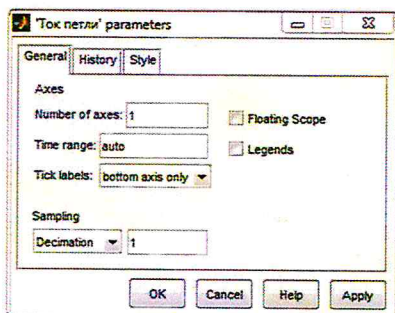


Рисунок 35 – Блок Scope и его описание

Для подстройки токовой петли служит реостат. Значение сопротивления этого реостата задаётся источником физического сигнала, который на схеме так и назван «Подстройка токовой петли».

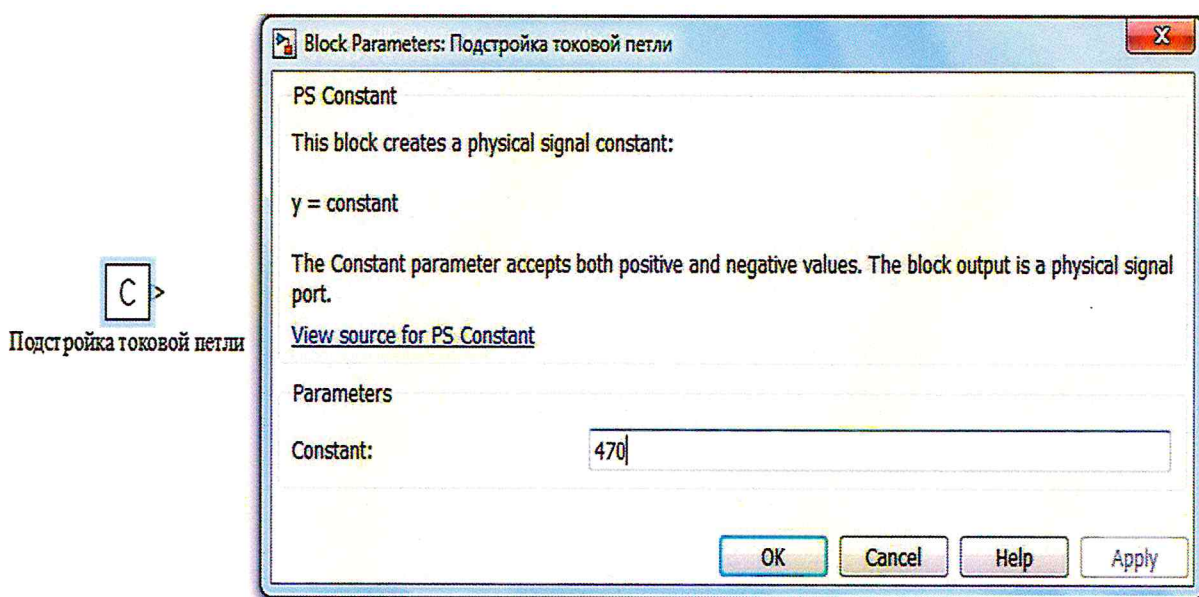


Рисунок 36 – Блок Scope и его описание

Определение крайних значений реализовано следующим способом.

Блоки MinMax (рисунок 34) из Simulink / Math Operation имеют 2 входа, сигналы на которых сравниваются между собой. Для определения максимального или минимального значения переменного сигнала необходимо организовать его задержку во времени на одном из входов. Для этой цели в модели используются блоки Memory из директории Simulink / Discrete (рисунок 35). Также, чтобы минимальное значение не было нулевым, принято решение подать на вход блока Memory не нулевой сигнал (для этого были сложены сигнал от источника Step (рисунок 36) скачкообразного напряжения, который короткий промежуток времени подавал значимое, но не максимальное значение, и сигнал, который должен был быть).

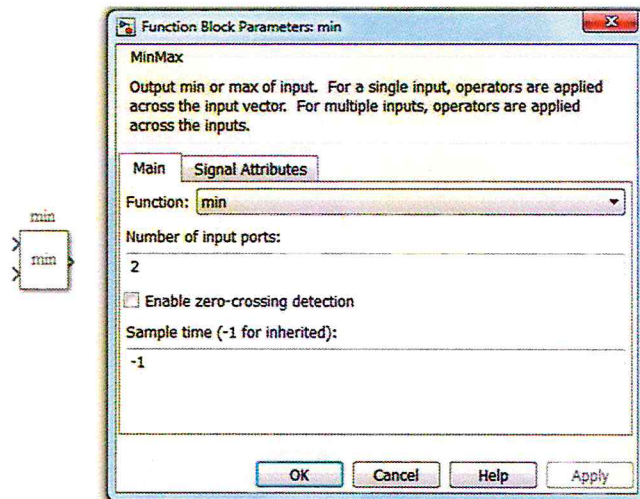


Рисунок 37 – Блок MinMax и его описание

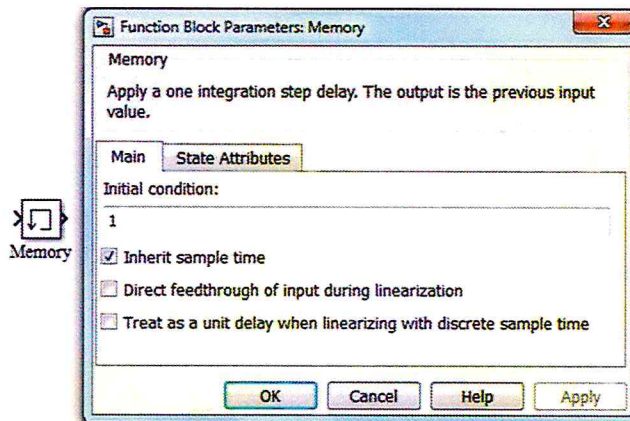


Рисунок 38 – Блок Memory и его описание

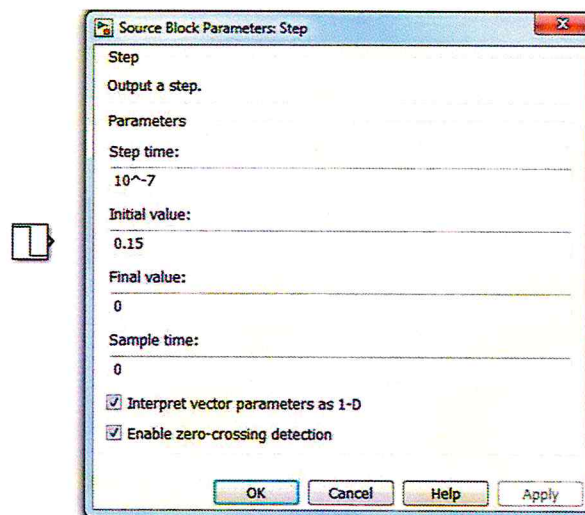


Рисунок 39 – Блок Step и его описание

Для обеспечения безопасной работы схемы, в ней предусмотрено электрическое заземление (Electrical Reference) (рисунок 37).

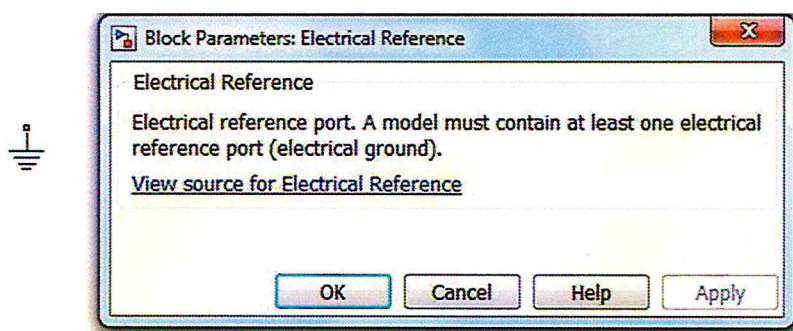


Рисунок 40 – Блок Electrical Reference и его описание

Наконец, для работоспособности модели, содержащей электронные элементы, Simulink требуется дополнить схему так называемым решателем или по-другому Solver Configuration, раздел SimScape / Utilities (рисунок 38).

А для работы самого блока понадобилось изменение настроек моделирования (Model Configuration Parametrs). Итоговые настройки показаны на рисунке 39.

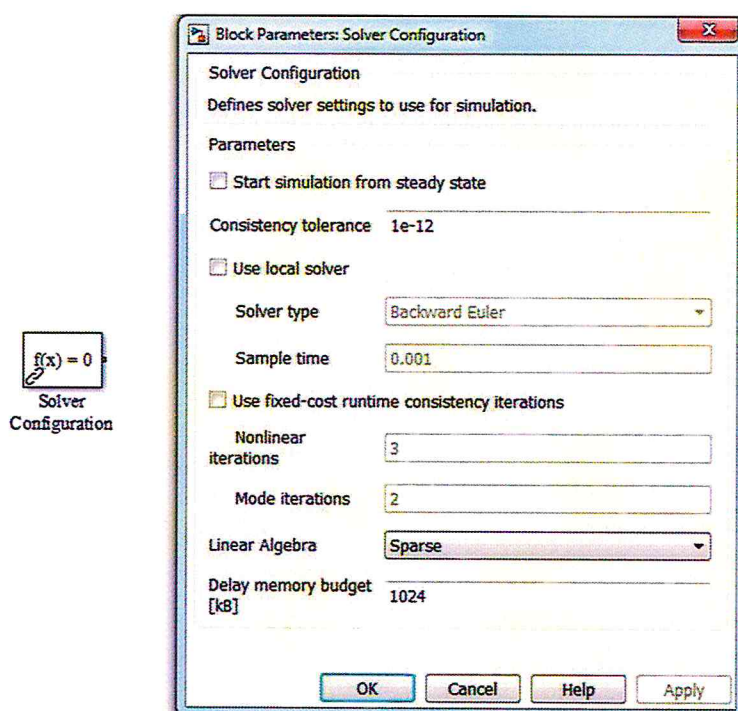


Рисунок 41 – Блок Solver Configuration и его описание

Simulation time	
Start time: 0.0	Stop time: 16.7
Solver options	
Type: Variable-step	Solver: ode23t (mod. stiff/Trapezoidal)
Max step size: auto	Relative tolerance: 1e-6
Min step size: auto	Solute tolerance: auto
Initial step size: auto	Shape preservation: Disable All
Solver reset method: Fast	
Number of consecutive min steps: 1	
Solver Jacobian method: auto	
Tasking and sample time options	
Tasking mode for periodic sample times: Auto	
<input type="checkbox"/> Automatically handle rate transition for data transfer	
<input type="checkbox"/> Higher priority value indicates higher task priority	
Zero-crossing options	
Zero-crossing control: Use local settings	Algorithm: Adaptive
Time tolerance: 10 ⁻¹²⁸ *eps	Signal threshold: auto
Number of consecutive zero crossings: 1000	

Рисунок 42 – Параметры моделирования

В итоге, мы получили работоспособную схему, которая удовлетворяет представляемым к ней требованиям. Токовая петля на выходе схемы составляет от 4,006 до 20,000 мА. Результаты моделирования представлены на рисунке 40. 3D модель электронной платы представлена на рисунках 41 и 42.

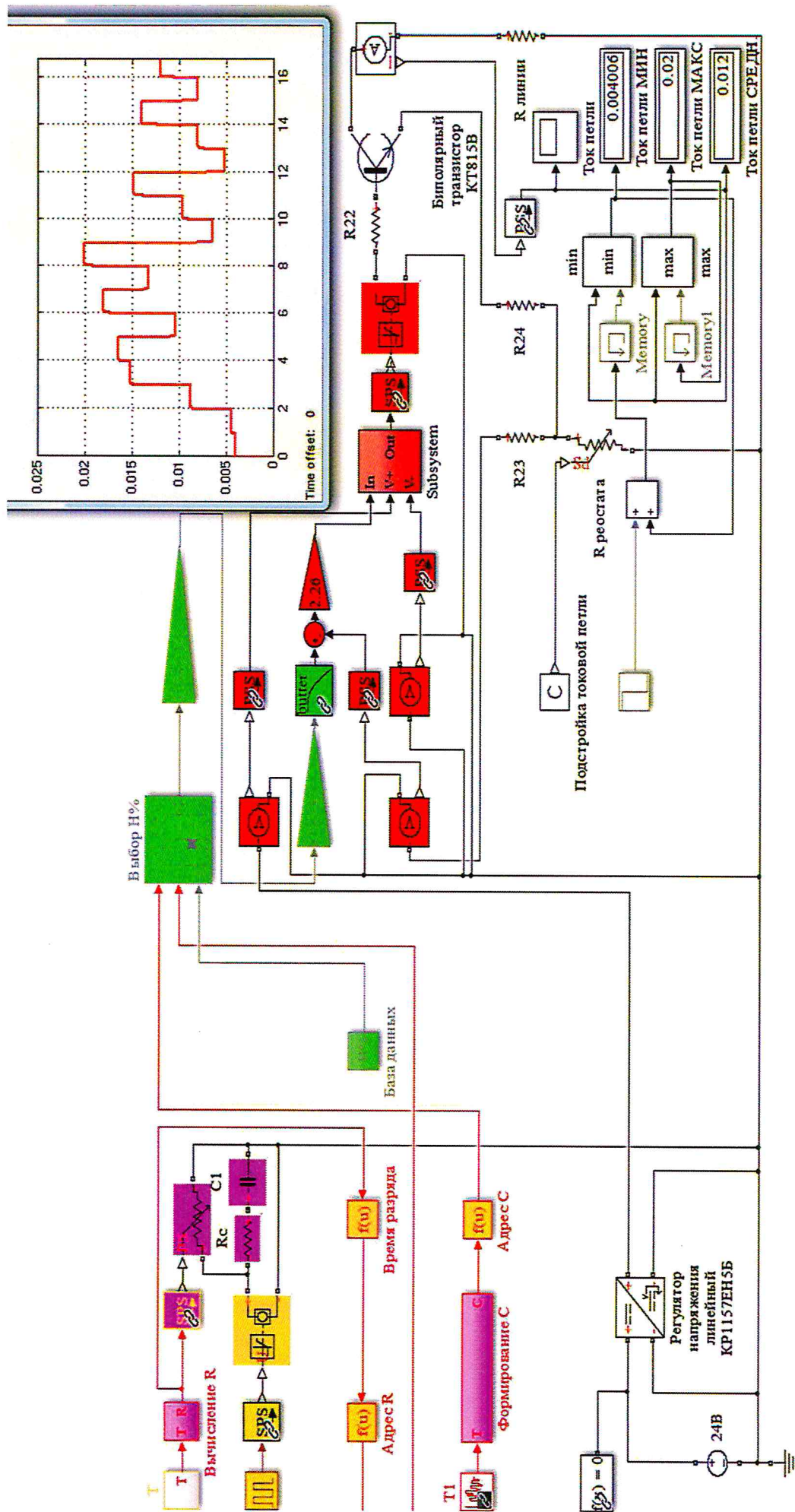


Рисунок 43 – Математическая модель работы электронной платы сорбционно емкостного преобразователя ГТ

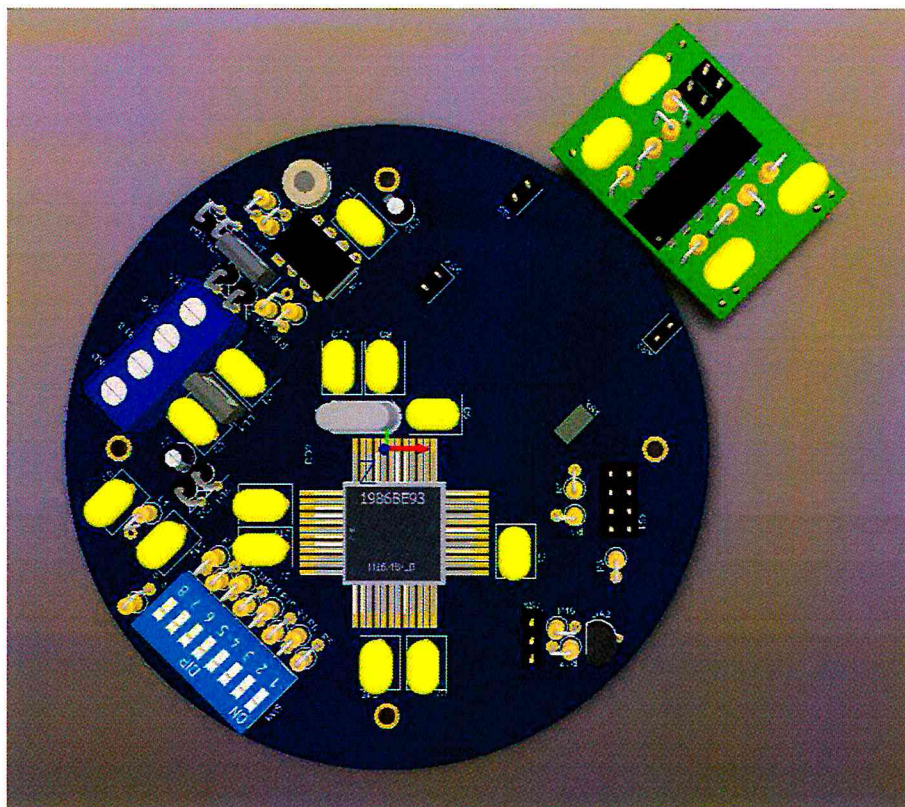


Рисунок 44 – 3D модель электронной платы сорбционно емкостного преобразователя ТТР

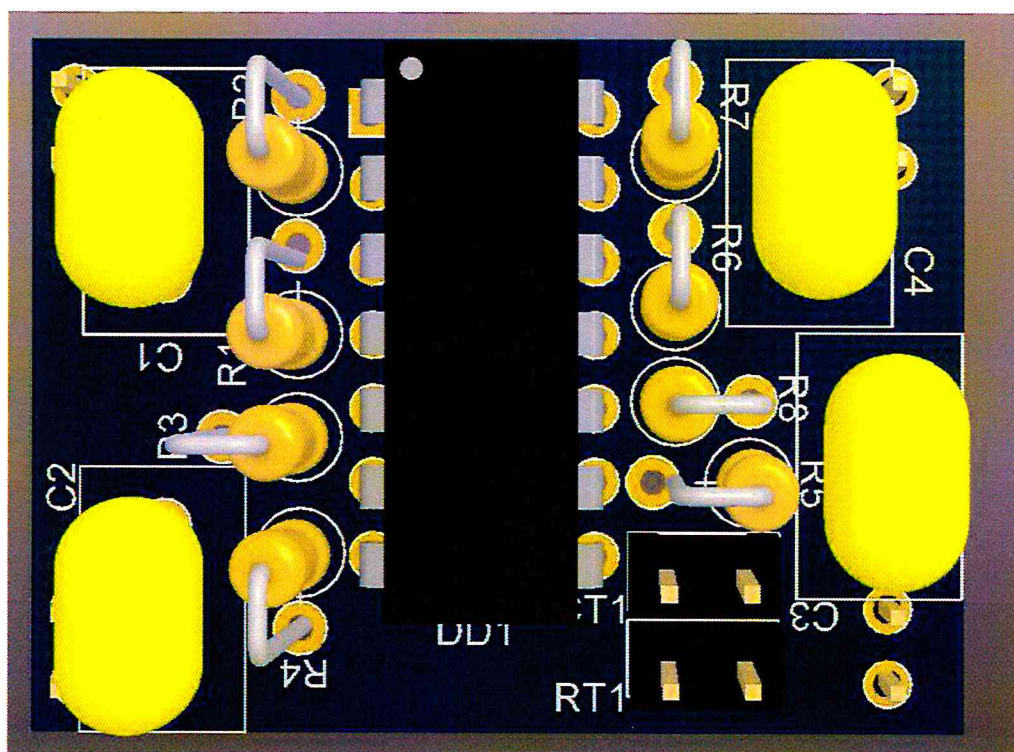


Рисунок 45 – 3D модель двойного осциллятора таймера

ГЛАВА 4

Исследование, разработка и изготовление чувствительного элемента отечественного преобразователя ТТР и герметичного электроввода.

4.1 Условия работы чувствительного элемента преобразователя

Для определения необходимых физико-механических свойств чувствительного элемента за исходные условия были приняты его назначение, область и условия применения.

Чувствительный элемент предназначен для измерения влагосодержания в природном газе в технологических трубопроводах и установках объектов магистрального транспорта газа в условиях:

- давление измеряемой среды до 12 МПа;
- температура измеряемой среды от -2 до 45 °С.

При этом важным фактором является агрессивность измеряемой среды по причине содержания в ней сероводорода. Учитывая вышесказанное, определяются минимальные требования к чувствительному элементу:

- давление измеряемой среды до 12 МПа;
- температура измеряемой среды от -2 до +45 °С;
- диапазон измерений температуры точки росы -60...+20 °С;
- стойкость к парам кислот в низких концентрациях.

4.2 Разработка технологии изготовления сорбционно – емкостных чувствительных элементов преобразователей влажности на основе пористой керамики

Работы по изготовлению чувствительного элемента проведены на заводе высоковольтных электронных компонентов «Прогресс». Исследование полученных образцов проведено в лабораториях завода и «Лаборатории исследования и испытания керна» лабораторного комплекса УГТУ. Чувствительный элемент представляет собою пористый диэлектрический сорбирующий слой находящийся между двумя электродами.

В качестве материалов для изготовления диэлектрического сорбирующего слоя ЧЭ были применены две группы материалов:

- порошки керамики;
- нанопорошок пентаоксида тантала.

В качестве материалов для изготовления электродов ЧЭ были применены материалы:

- для керамики – серебро, платина
- для диэлектрического слоя из пентаоксида тантала – тантал;

4.2.1 Приготовление адсорбирующего слоя

4.2.1.1 Приготовление керамической массы

В качестве материалов для изготовления диэлектрического сорбирующего слоя были исследованы керамические порошки марок: Т-150, Ф-58 и ТЛ-0. Из данных керамических порошков были приготовлены заготовки предварительно отожженные при температуре 1370 °С в газовых печах. В качестве пластификатора применялся поливиниловый спирт. Так как, сорбирующий слой применяется, в том числе в агрессивных средах, он должен быть кислотостойким. Кислотостойкость – является важным фактором поскольку длительное воздействие агрессивной (кислой) среды на ЧЭ может вызвать изменение его сорбирующих свойств.

Для определения кислотостойкости образцы взвешивались на лабораторных весах, после чего были помещены на 12 часов в 24% раствор соляной кислоты при комнатной температуре. Результаты испытаний керамических материалов на кислотостойкость представлены в таблице 2 и зависимостях изменения массы керамики от длительности нахождения в кислотной среде.

После обработки кислотой образцы были просушены в сушильной камере и снова взвешены. Взвешивание показало, что все образцы являются кислотостойкими. При этом образец, отожжённый из порошка Т-150М показал наилучший результат.

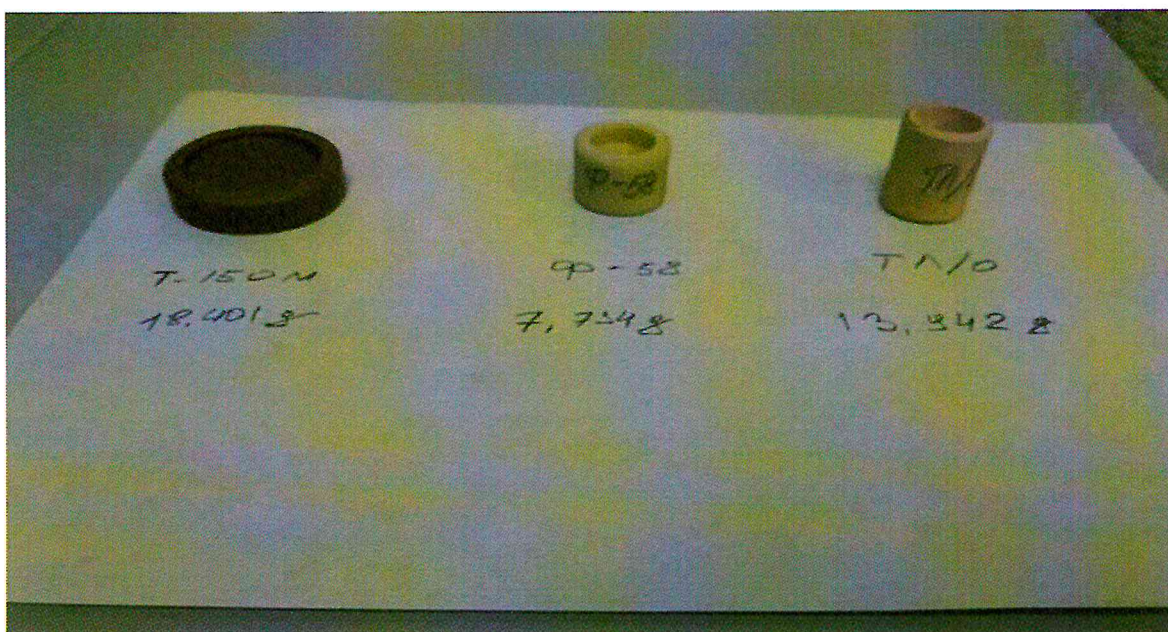


Рисунок 46 – Отожженные образцы из порошков керамики

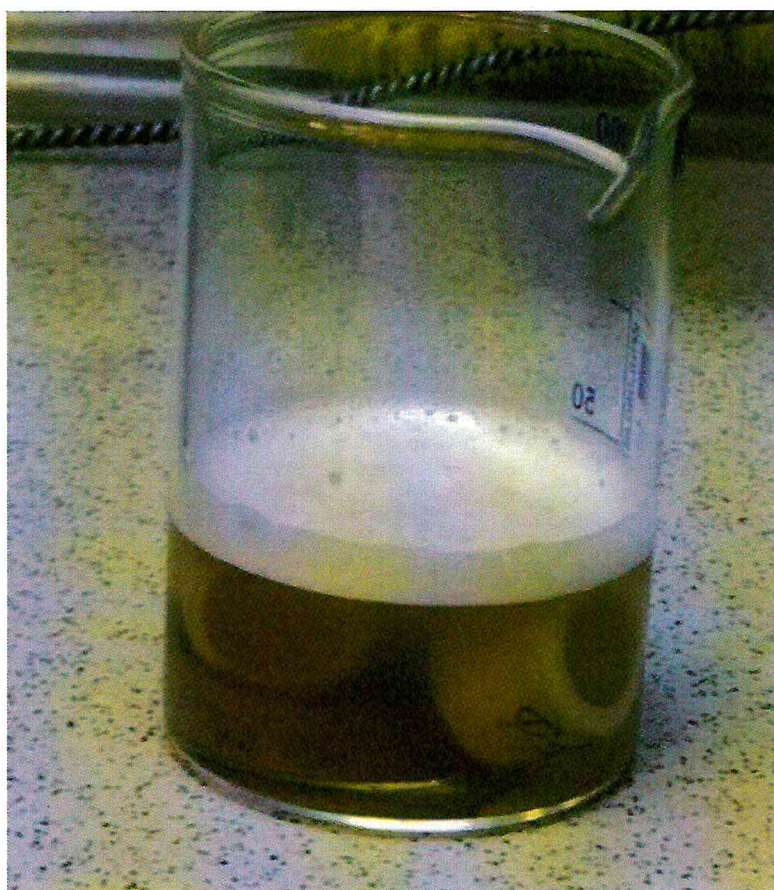


Рисунок 47 – Отожженные образцы керамики в кислоте



Рисунок 48 – Взвешивание образцов (до выдержки в кислотной среде)

Изменение массы керамического материала от времени нахождения в кислотной среде

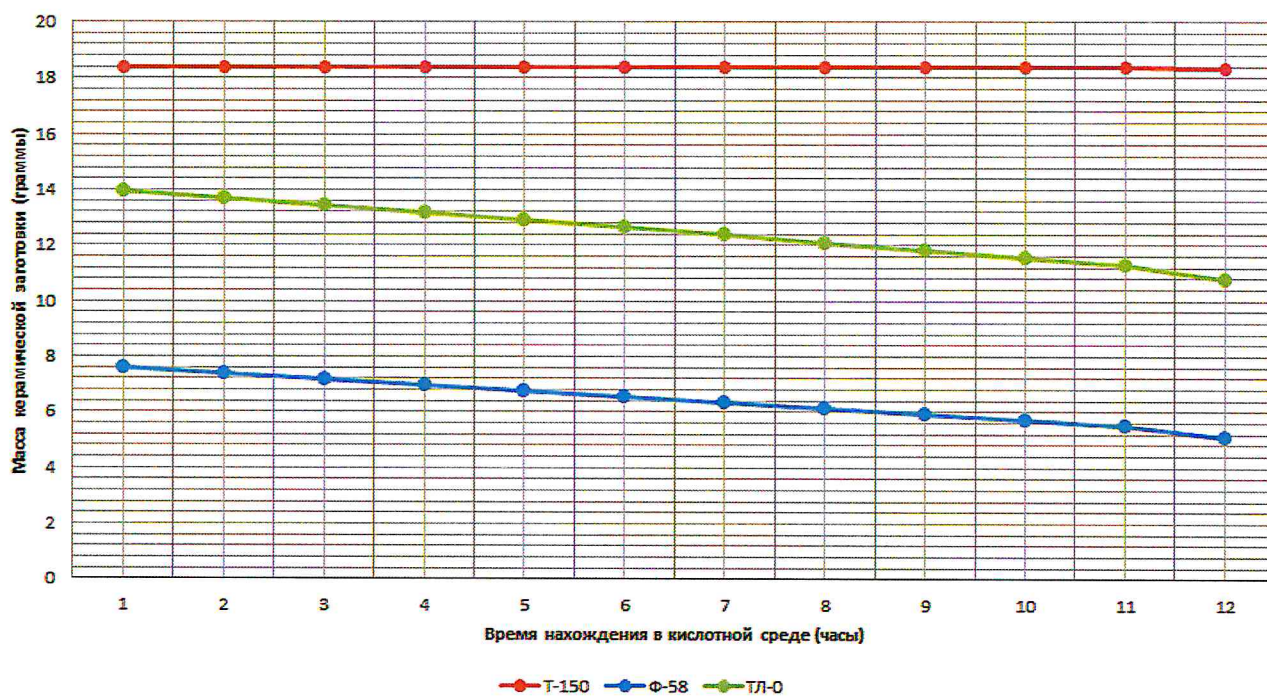


Рисунок 49 – Сравнительная характеристика стойкости керамического материала к кислотной среде

Таблица 3 – Результаты взвешивания образцов до и после обработки раствором
кислоты

Марка порошка керамики	Т-150М	Ф-58	ТЛ-0
Масса до обработки кислотой, гр.	18,401	7,568	13,942
Масса после обработки кислотой, гр.	18,348	5,065	10,765
Изменение массы, гр	0,053	2,503	3,177

Вывод: В качестве материала для изготовления сорбирующего слоя из керамики был выбран керамический порошок Т-150М, в виду своих лучших стойких свойств к кислотно-щелочной среде.

4.2.1.2 Проведение монолитной опресовки и обжига адсорбирующего слоя чувствительного элемента

Сорбирующие свойства отожженной керамике придают связанные между собой микропоры, расположенные по всему объему образца и образующие капилляры. Для получения микропор в керамический порошок были добавлены мелкодисперсные примеси:

1. Алюминиевые и древесные опилки мелкого помола;
2. Алюминиевая пудра.
3. Обожжённый тантал

Смешивание керамического порошка Т-150 с присадками проводилось экспериментально в пропорциях 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10 до достижения стабильной и равномерной пористости и механической прочности сорбирующего слоя. Из полученных смесей с помощью гидропресса было произведено формование образцов. Формование проводилось при давлениях от 1,5 до 15 МПа. Экспериментально было определено требуемое для опресовки

давление для каждой опытной связки «керамика+присадка» обеспечивающее достаточную механическую прочность после обжига. Результаты опрессовки представлены ниже.

Определение оптимальной концентрации присадки в керамическом материале для обеспечения требуемой механической прочности сорбирующего слоя после обжига

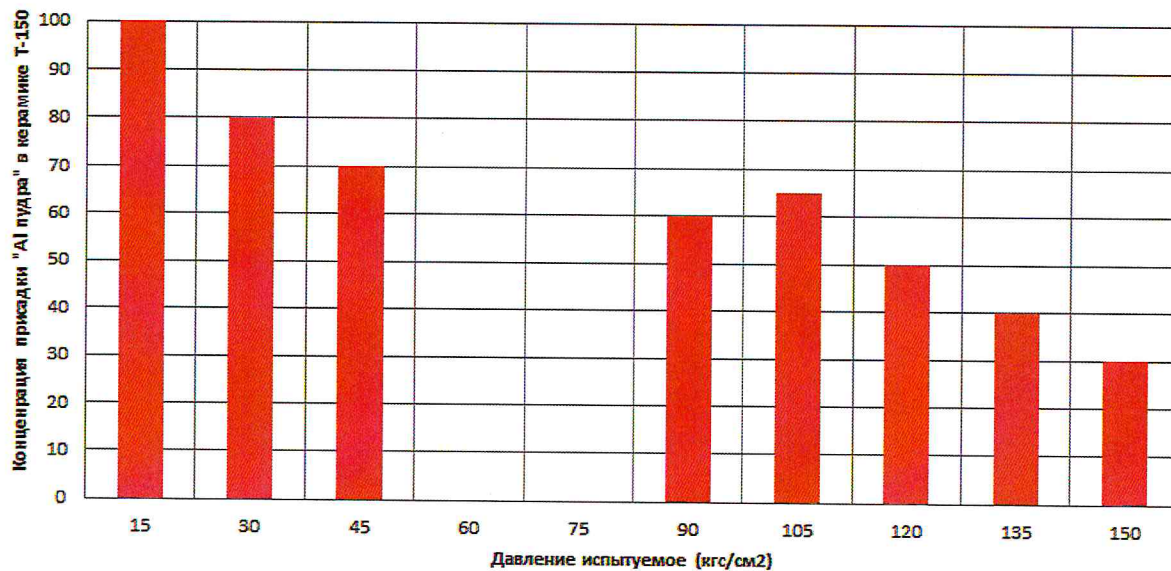


Рисунок 50 – Результаты испытаний сорбирующих слоев «керамика T150+AL пудра» в пропорциях 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10

Определение оптимальной концентрации присадки в керамическом материале для обеспечения требуемой механической прочности сорбирующего слоя после обжига

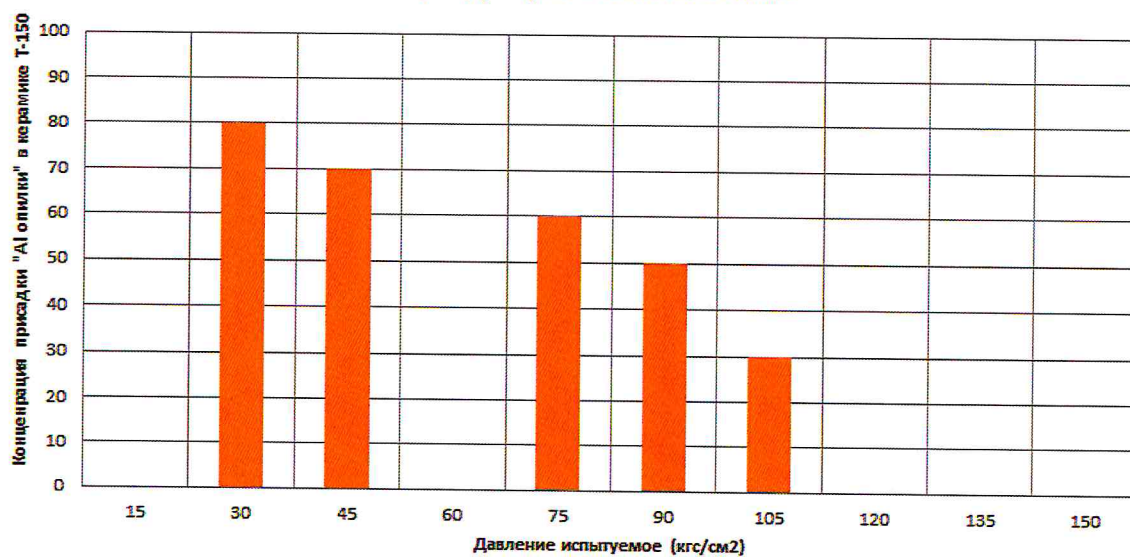


Рисунок 51 – Результаты испытаний сорбирующих слоев «керамика T150+AL опилки» в пропорциях 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10

Определение оптимальной концентрации присадки в керамическом материале для обеспечения требуемой механической прочности сорбирующего слоя после обжига

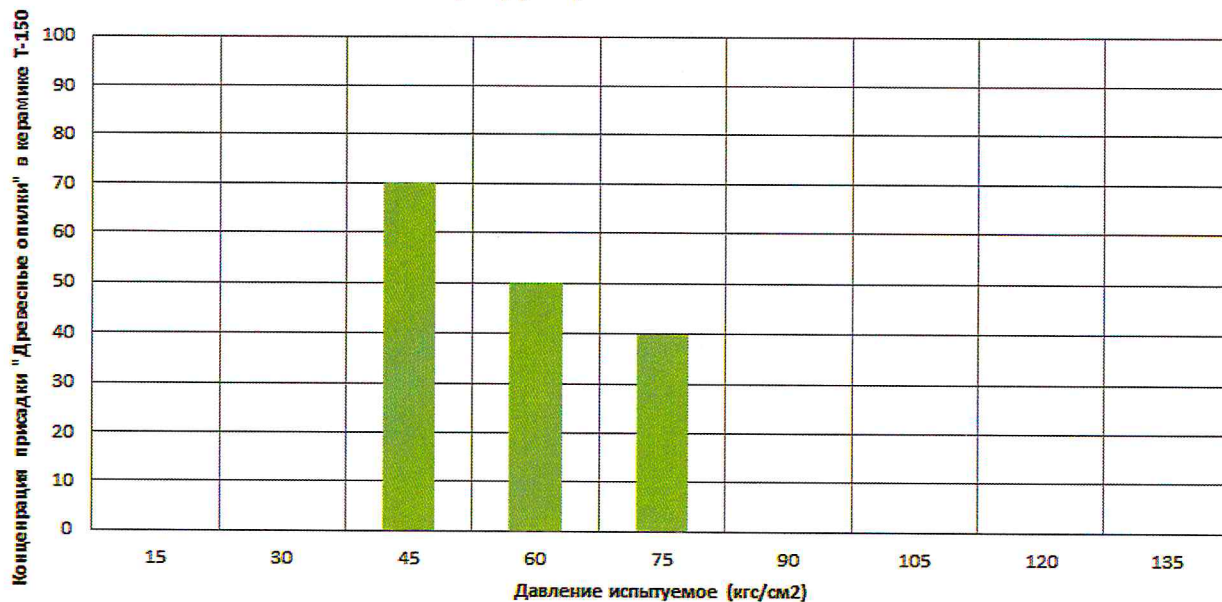


Рисунок 52 – Результаты испытаний сорбирующих слоев «керамика Т150+древесные опилки» в пропорциях 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10

Определение оптимальной концентрации присадки в керамическом материале для обеспечения требуемой механической прочности сорбирующего слоя после обжига

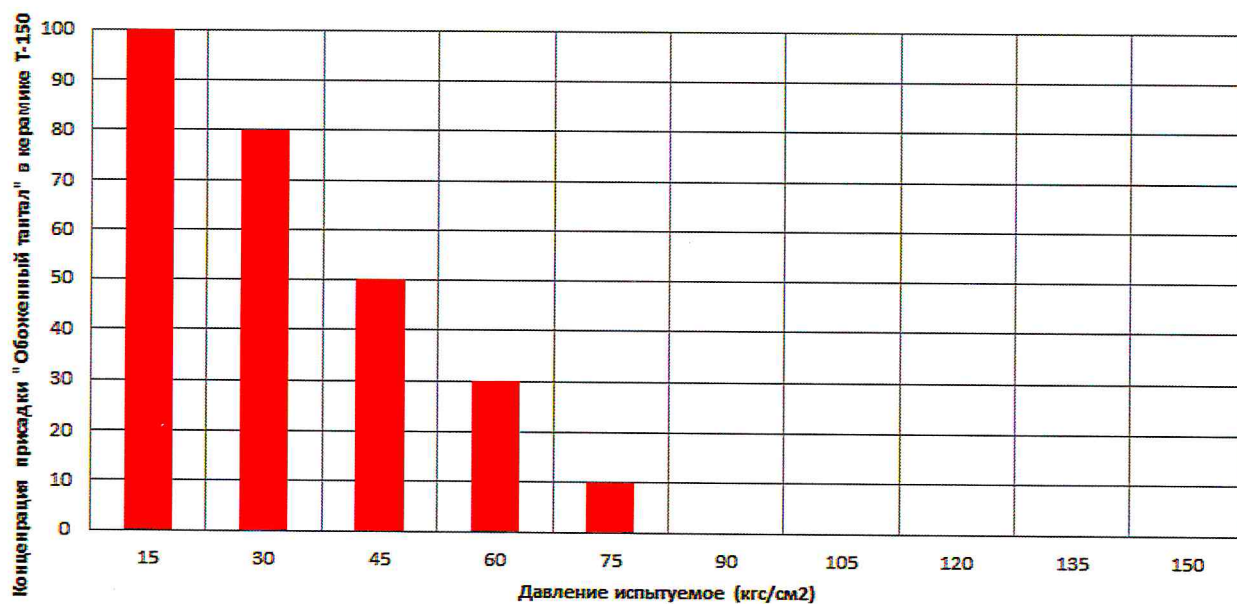


Рисунок 53 – Результаты испытаний сорбирующих слоев «керамика Т150+тантал» в пропорциях 1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9, 1/10



Рисунок 54 – Отпрессованные и обожжённые образцы керамики с различными присадками



Рисунок 55 – Пример забракованного керамического материала не прошедшего испытания на механическую прочность.



Рисунок 56 – Пример проведения монолитной опрессовки заготовки сорбирующего слоя.

По результатам проведенных испытаний на механическую прочность были определены минимальные/максимальные давления выдерживаемые сорбирующими слоями при различной концентрации присадок. Так как, эксплуатируемое давление участков МГ варьируется от 4,5 до 11,9 МПа, накладываются определённые требования к сорбирующим слоям по испытуемому давлению. В результате экспериментов получены следующие данные:

1. Связка «Алюминиевая пудра – Керамика Т150» в концентрациях свыше 70 % присадки показала себя не лучшим образом. Максимально допустимое давление испытания – 45 кгс/см^2 . При концентрации от 30 до 40 % (1/3, 1/4) сорбирующий слой выдержал

давление испытания до 15 МПа, что удовлетворяет нашим эксплуатационным требованиям;

2. Связка «Алюминиевые опилки – Керамика Т150» хорошо зарекомендовала себя в диапазоне концентрации от 60 до 30 % при давлении испытания от 75 до 105 кгс/см²;
3. Связка «Древесные опилки – Керамика Т150» за счет своей структуры и неравномерного гранулирования молекул опилок в диапазоне концентрации от 70 до 40 % разрушились при давлении испытания от 45 до 75 кгс/см². Наилучший показатель 40 % (1/4) концентрации присадки при давлении 75 кгс/см²;
4. Связка «Обожжённый тантал – Керамика Т150» показал себя хуже всех, даже несмотря на то что при концентрации 10 % присадки испытание давлением закончилось на отметке 75 кгс/см², сорбирующий слой выглядел механически не монолитным и рассыпчатым. По анализу и оценке полученных результатов, следует, что примененный пластификатор не обеспечивают необходимую связь и газовая среда при обжиге 1390 °С не дает плотную связку «тантал+керамика». Спекание требуется проводить в вакуумной или защитной среде при температурах от 2400 до 3000 °С.

Вывод: Изготовлены сорбирующие слои с присадками 4 типов. Определены диапазоны давлений для лучших механических свойств каждой присадки, и их наилучшие концентрации в составе керамической массы. На основании вышесказанного и условий эксплуатации ЧЭ влажности газа определяем следующие образцы для дальнейших исследований:

1. Связка «Алюминиевая пудра – Керамика Т150». Концентрация 1/3 (30 %). Давление испытания 150 кгс/см²;
2. Связка «Алюминиевые опилки – Керамика Т150». Концентрация 1/3 (30 %). Давление испытания 105 кгс/см²;

3. Связка «Древесные опилки – Керамика Т150». Концентрация 1/4 (40 %). Давление испытания 75 кгс/см²;
4. Связка «Обожжённый тантал – Керамика Т150». Не участвует в дальнейших исследованиях.

4.2.1.3 Травление обожженной керамической массы

Образцы, полученные отжигом порошка Т-150М с примесью древесных опилок, алюминиевых опилок и алюминиевой пудры были подвергнуты вымыванию в ультразвуковой ванне в растворе 24 % серной кислоты в течении 60 минут.



Рисунок 57 – Вымывание образцов в ультразвуковой ванне в кислоте

Вымыванию в ультразвуковой ванне были подвергнуты 3 образца, изготовленные с разным содержанием по массе древесных и алюминиевых опилок:

- порошок Т-150М 1 часть, алюминиевые пудра 3 части;
- порошок Т-150М 1 часть, алюминиевые опилки 3 части;

- порошок Т-150М 1 часть, деревянные опилки 4 часть;

Затем образцы проходили процесс сушки в сушильной камере при температуре 60 – 70 градусов Цельсия в течении суток.

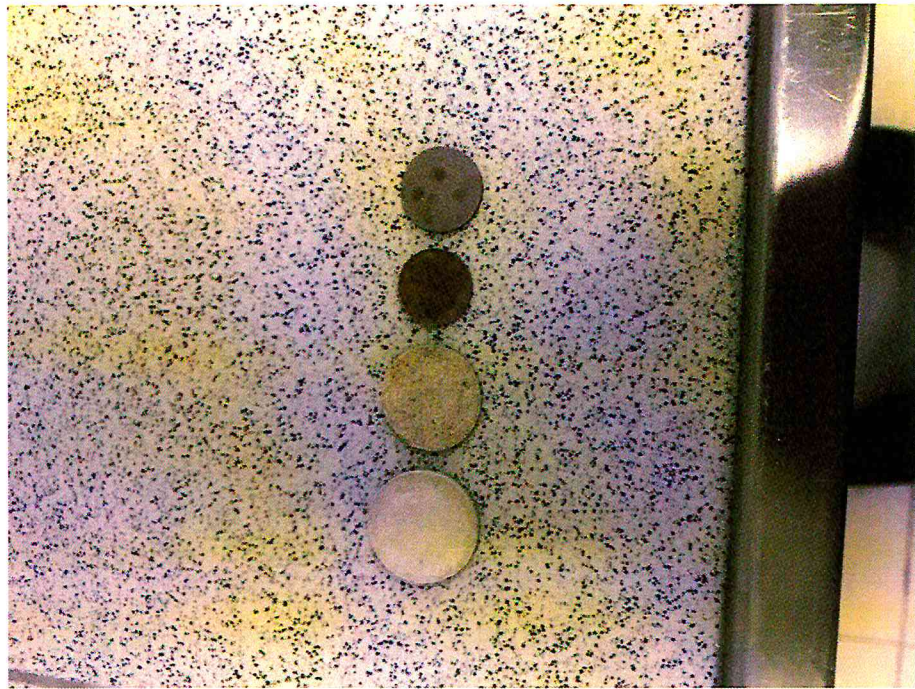


Рисунок 58 – Образцы после промывки в ультразвуковой ванной

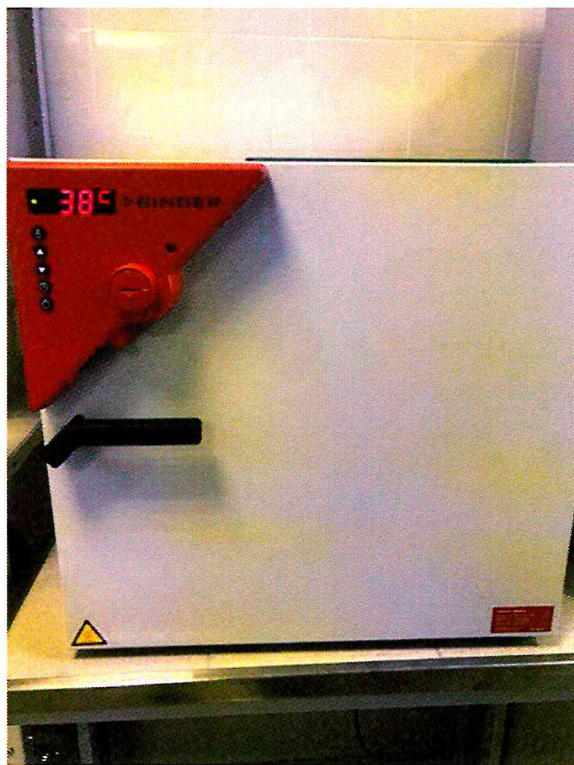


Рисунок 59 – Образцы на стадии сушки после промывки в ультразвуковой ванной

4.2.1.4 Проведение испытаний на пористость на базе лабораторий УГТУ

Образцы проходили исследование на пористость в газовом Поромере как до обработки в ультразвуковой ванной, так и после. Проверка на пористость проводилась двумя типами поромеров: давлением 0,3 МПа на одном и 10,3 МПа на другом.

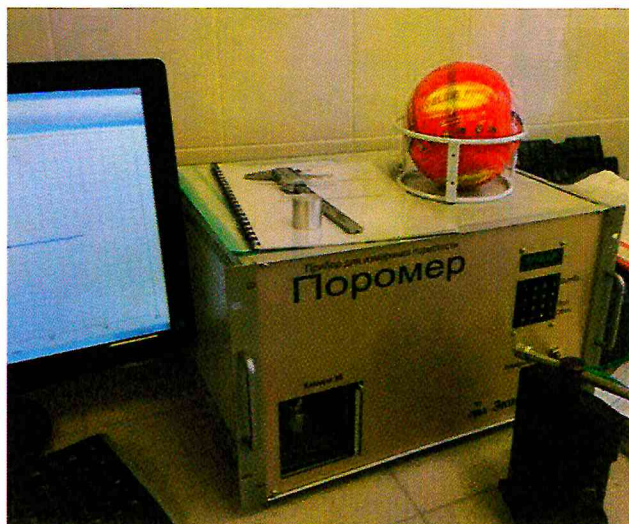


Рисунок 60 – Газовый Поромер на давление до 0,3 МПа

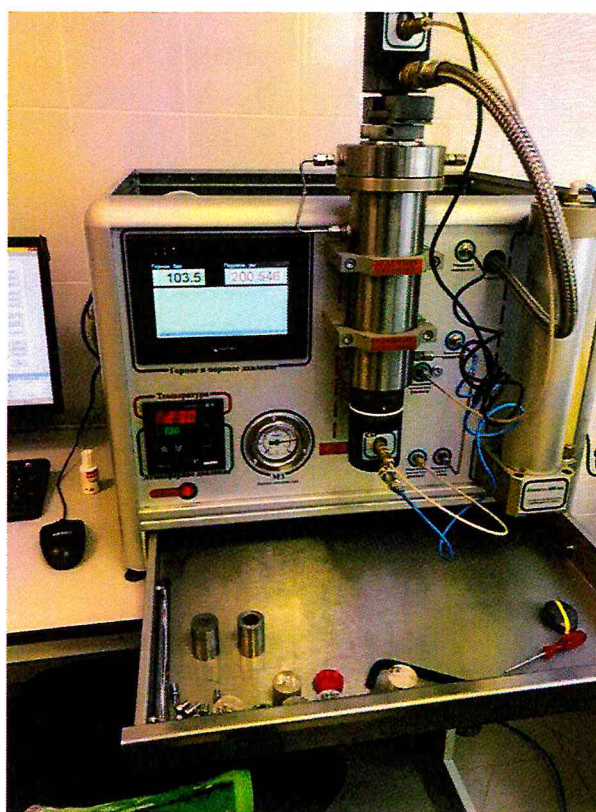


Рисунок 61 – Газовый Поромер (давление 10,35 МПа)

Результаты исследований до обработки ультразвуком образцов приведены в таблице 3. Результаты исследований после обработки ультразвуком образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследований до обработки ультразвуком образцов сорбирующих слоев

Образец	Номер исследования	Внешний объём, см ³	Объём твёрдой фазы, см ³	Пористость, %
Керамика Т150/алюминий пудра 1/3	1	0,672	0,173	54,672
	2	0,672	0,178	54,567
	3	0,672	0,18	54,145
	4	0,672	0,179	54,342
	5	0,672	0,183	54,765
Керамика Т150/алюминий опилки 1/3	1	1,169	0,403	42,488
	2	1,169	0,415	42,764
	3	1,169	0,418	42,766
	4	1,169	0,412	42,997
	5	1,169	0,412	42,456
Керамика Т150/деревянные опилки 1/4	1	0,365	0,204	29,258
	2	0,365	0,214	29,654
	3	0,365	0,212	29,432
	4	0,365	0,207	29,334
	5	0,365	0,201	29,565

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

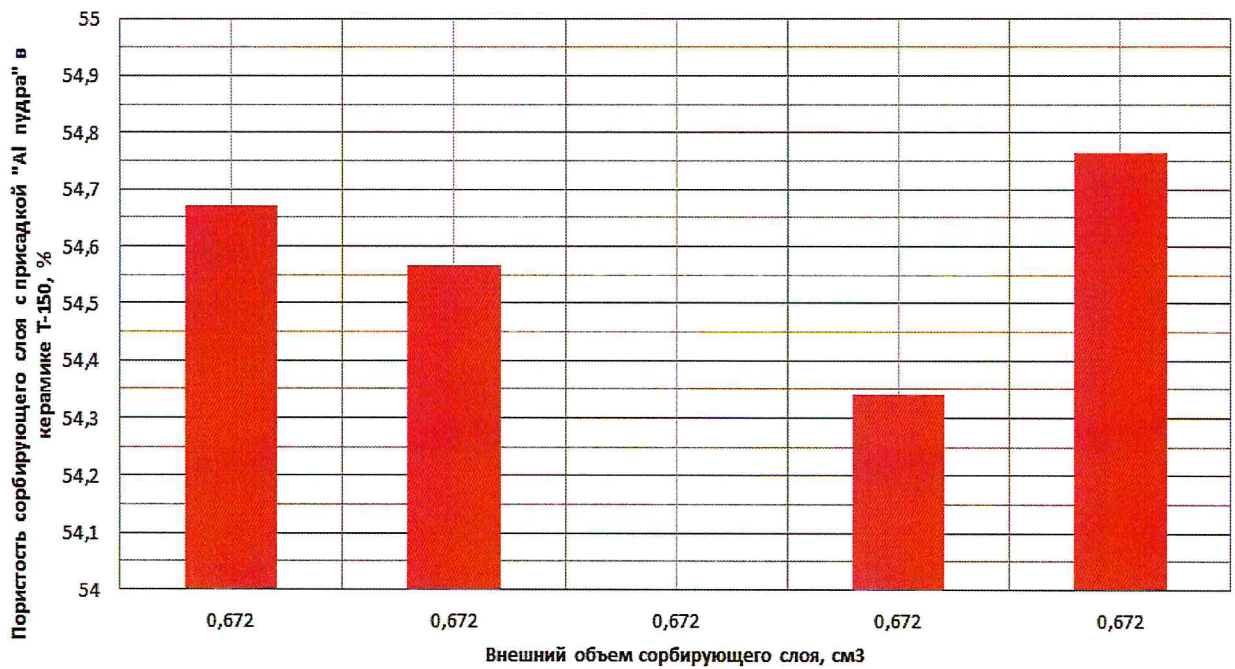


Рисунок 62 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Алюминиевая пудра» до обработки ультразвуком

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

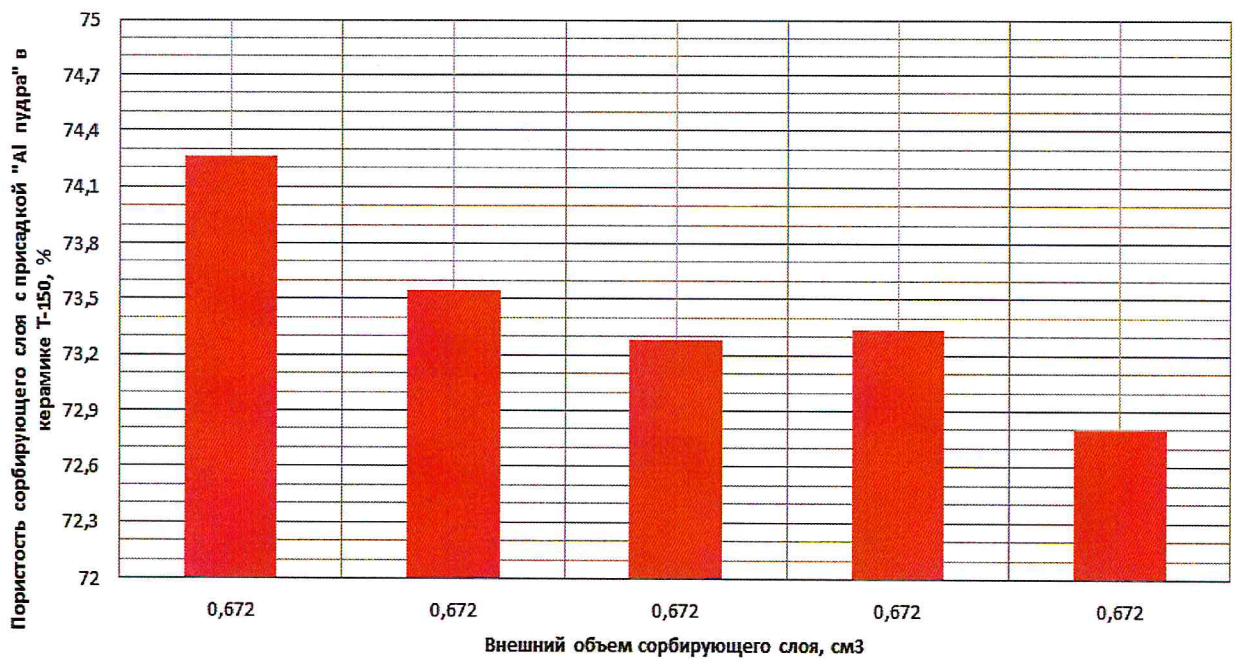


Рисунок 63 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Алюминиевая пудра» после обработки ультразвуком

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

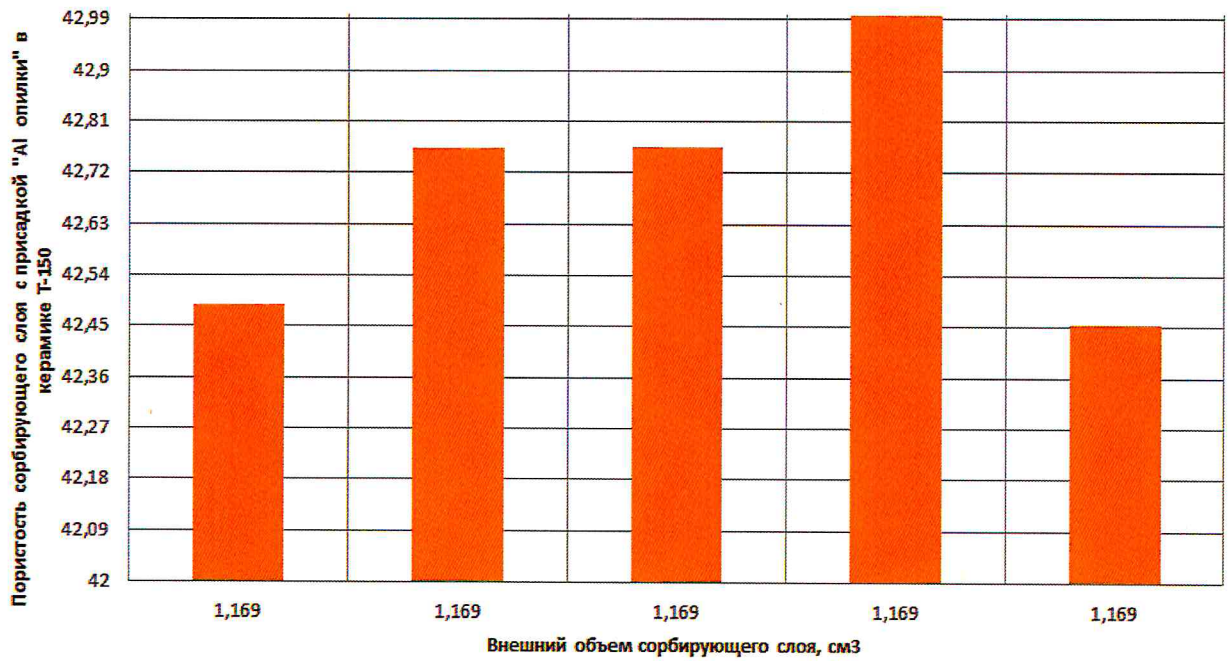


Рисунок 64 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Аллюминиевые опилки» до обработки ультразвуком

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

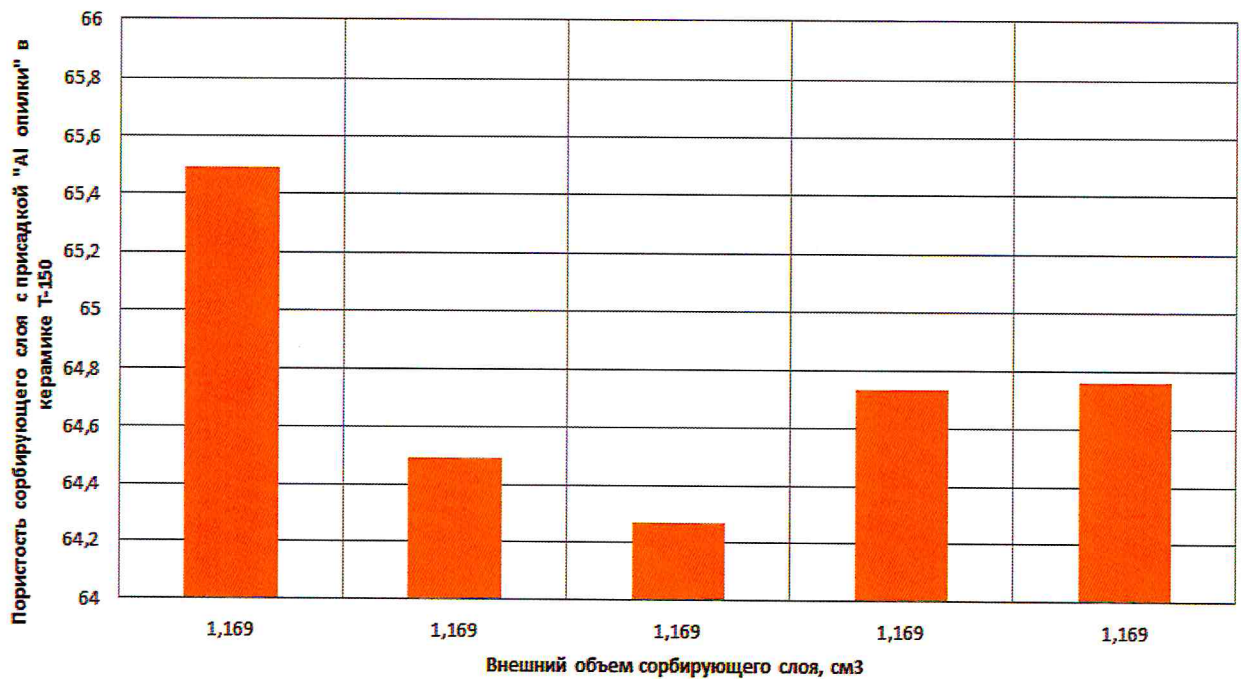


Рисунок 65 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Аллюминиевые опилки» после обработки ультразвуком

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

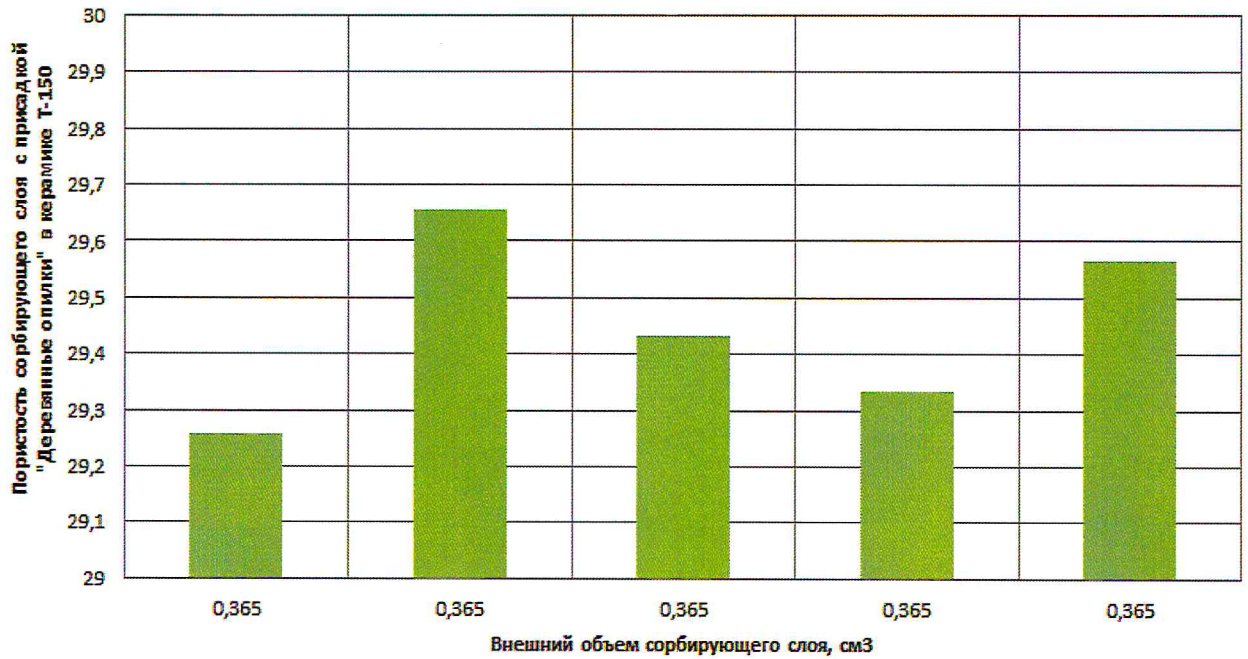


Рисунок 66 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Деревянные опилки» до обработки ультразвуком

**Определение пористости сорбирующих слоев пористого ЧЭ
на газовом поромере при давлении 103 кгс/см²**

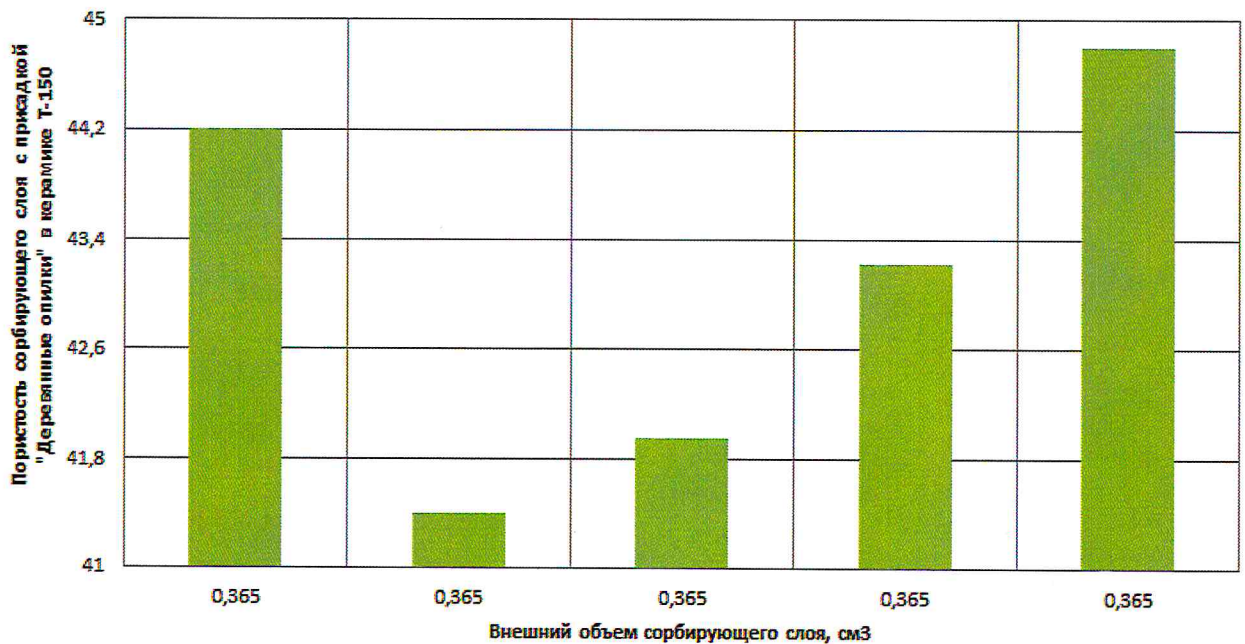


Рисунок 67 – Результаты проверки на пористость сорбирующего слоя связки «Керамика Т150 + Деревянные опилки» после обработки ультразвуком

Таблица 5 – Результаты исследований после обработки ультразвуком образцов сорбирующих слоев

Образец	Номер исследования	Внешний объём, см ³	Объём твёрдой фазы, см ³	Пористость, %
Керамика Т150/алюминий пудра 1/3	1	0,672	0,173	74,262
	2	0,672	0,178	73,545
	3	0,672	0,18	73,282
	4	0,672	0,179	73,338
	5	0,672	0,183	72,799
Керамика Т150/алюминий опилки 1/3	1	1,169	0,403	65,488
	2	1,169	0,415	64,492
	3	1,169	0,418	64,268
	4	1,169	0,412	64,736
	5	1,169	0,412	64,763
Керамика Т150/деревянные опилки 1/4	1	0,365	0,204	44,207
	2	0,365	0,214	41,404
	3	0,365	0,212	41,954
	4	0,365	0,207	43,229
	5	0,365	0,201	44,796

Вывод: Результаты исследований показали, что наилучшей пористостью обладает сорбирующий слой, изготовленный из смеси керамического порошка Т-150М и пудры алюминия в соотношении 1 часть к 3 частям. Также было определено, что обработка ультразвуковым сорбирующих слоев при вымывании

пор на протяжении 60 минут увеличило пористость каждого сорбирующего слоя на 20-25 %.

4.2.2 Изготовление и нанесение верхнего и нижнего электрода сорбирующего слоя чувствительного элемента

4.2.2.1 Применение серебряных и платиновых электродов

В рамках выполняемой работы были определены материалы верхних и нижних электродов ЧЭ. Для применения в среде щелочных и агрессивных сред применяются платиновые электроды. Для применения в среде неагрессивных сред природного газа применяются серебряные электроды.

Для образования электродов на сорбирующем слое, была применена технология послойного спекания серебра. Серебро наносилось в виде раствора на сорбирующий слой после чего производился обжиг заготовки при температуре 950 °С.



Рисунок 68 – Процесс нанесения первого слоя серебра толщиной 14 мкм (серебро нанесено, образцы в форме для обжига)

Серебро было нанесено в три слоя. Толщина каждого слоя серебрения составила 14-18 мкм. Общая толщина каждого электрода составила порядка 42-54 мкм.

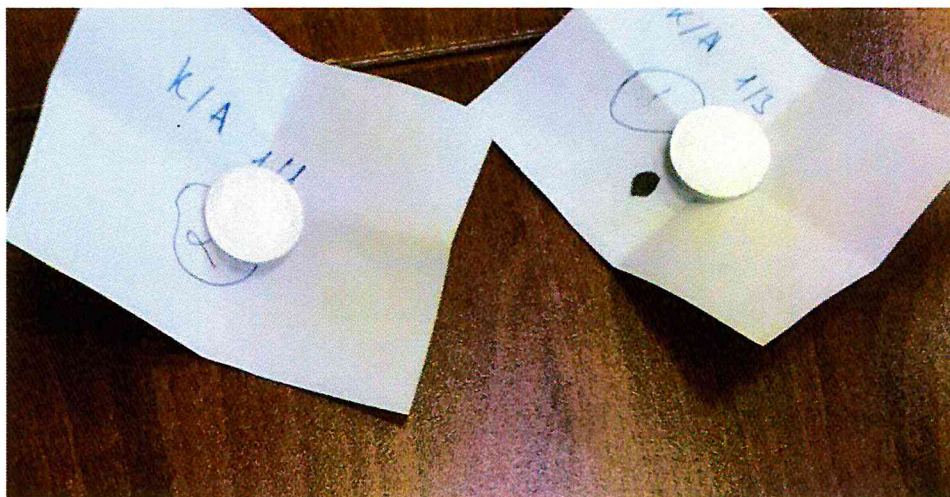


Рисунок 69 – Образцы после серебрения

4.2.2.2 Перфорирование электродов твердотельным лазером

После серебрения образцов, с целью получения на их поверхности сетчатой структуры для обеспечения условий сорбции влаги, было произведено перфорирование электродов твердотельным лазером.



Рисунок 70 – Образец ЧЭ с перфорированными электродами

На сорбцию электродов сорбирующего слоя влияет несколько параметров:

1. Площадь электрода
2. Площадь нанесенной перфорации
3. Мощность лазера

В рамках испытаний были определены оптимальные параметры лазера обеспечивающие необходимую сорбцию:

1. Площадь электрода $98,643 \text{ мм}^2$
2. Площадь нанесенной перфорации 84 мм^2
3. Мощность лазера 10 Вт

4.3 Исследование свойств полученных чувствительных элементов

Готовые образцы с наибольшей пористостью и перфорированными электродами были испытаны на импеданс в аттестованной камере холода, тепла и влаги (КХТВ-0,8) от 0 до 100 % абсолютной влажности прецизионным измерителем емкости и иммитанса.



Рисунок 71 – камера влаги (слева), измеритель импеданса (справа)

Целью измерения импеданса было установление:

- действительного значения емкости образцов;

- определение пределов изменения емкости образцов при изменении абсолютной влажности в измеряемом диапазоне;
- определение времени стабилизации показаний;
- определение гистерезиса показаний на установившемся значении влажности.

Испытания проводились для значений влажности в камере влаги от 0 до 100 %. В качестве настройки измерителя импеданса были приняты условия, приближенные к работе измерительной схемы преобразователя:

- схема включения ЧЭ параллельная;
- напряжение питания элемента 5 В;
- параметры усреднения показаний сняты.

Проведено исследование влияние частоты импульсов на выходной показатель емкости. Частота импульсов, подаваемых на ЧЭ была подобрана экспериментально исходя их значений емкости в диапазоне измерения (20 и 100 Hz).

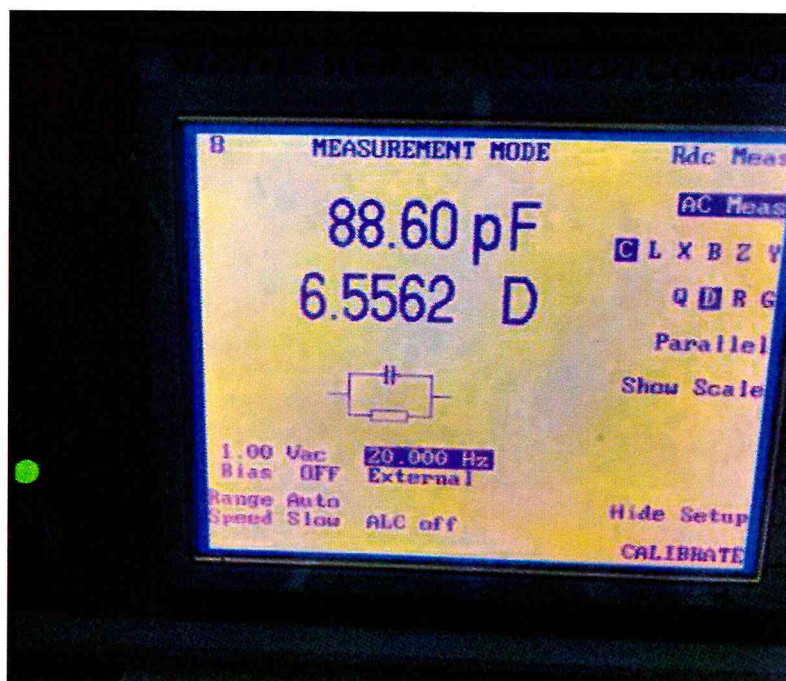
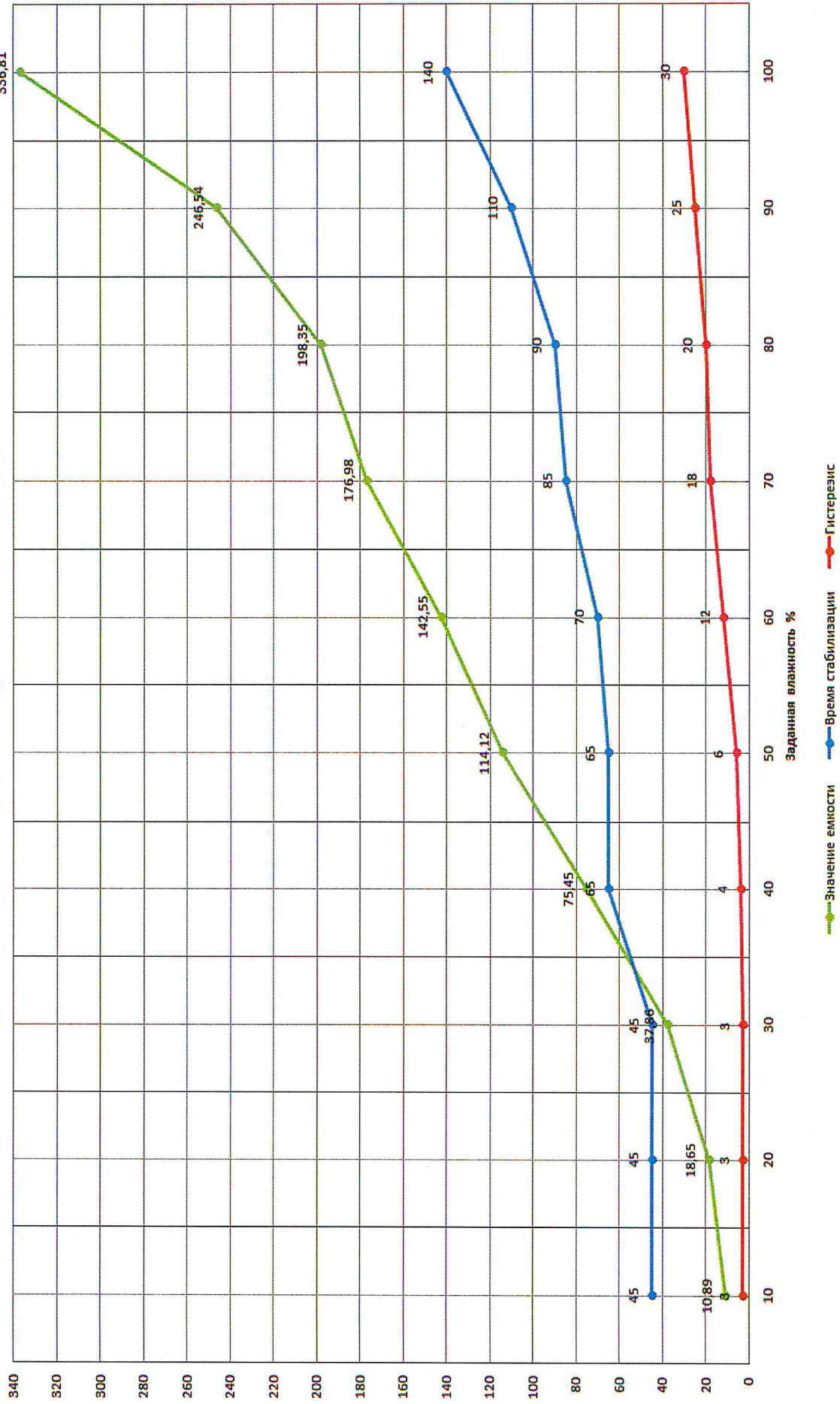


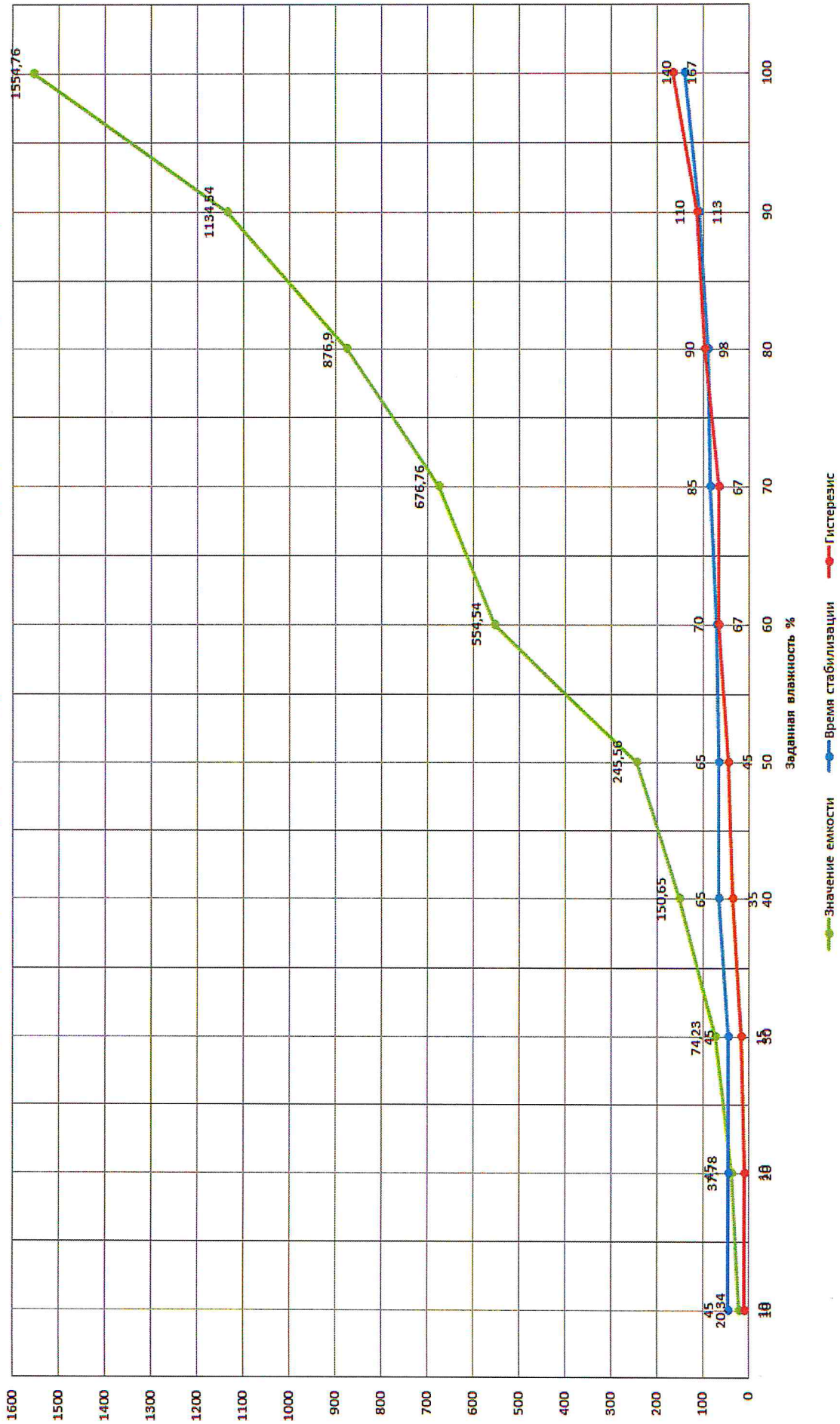
Рисунок 72 – проведение испытания на измерителе импеданса «Петроом»

Результаты испытаний в КХТВ-0,8 представлены ниже.

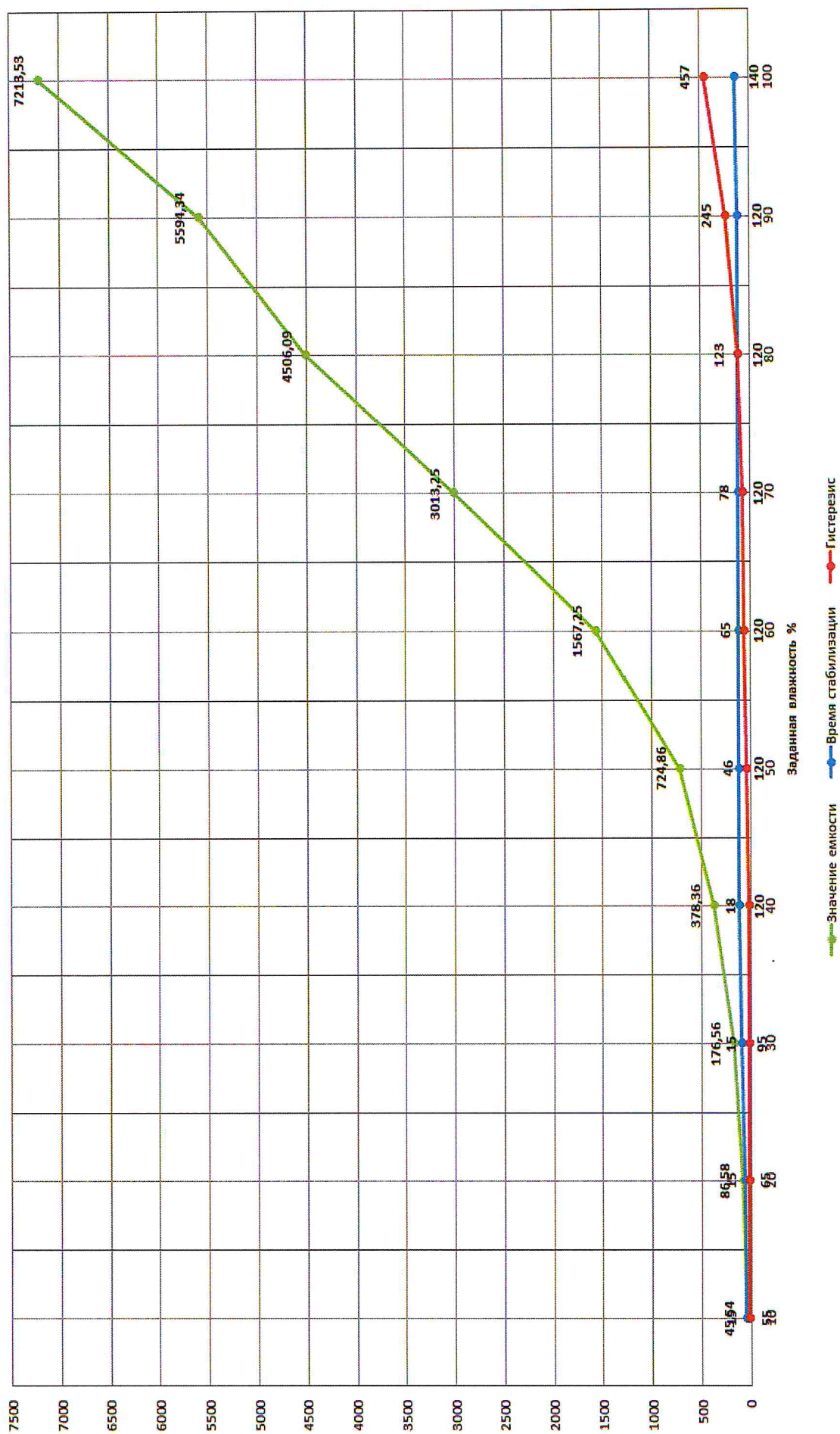
Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Древесные опилки 1/4) при частоте импульса 100 Гц.



Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Древесные опилки 1/4) при частоте импульса 20 Гц.



Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Алюминиевые опилки 1/3) при частоте импульса 100 Гц.



Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Алюминиевые опилки 1/3) при частоте импульса 20 Гц.

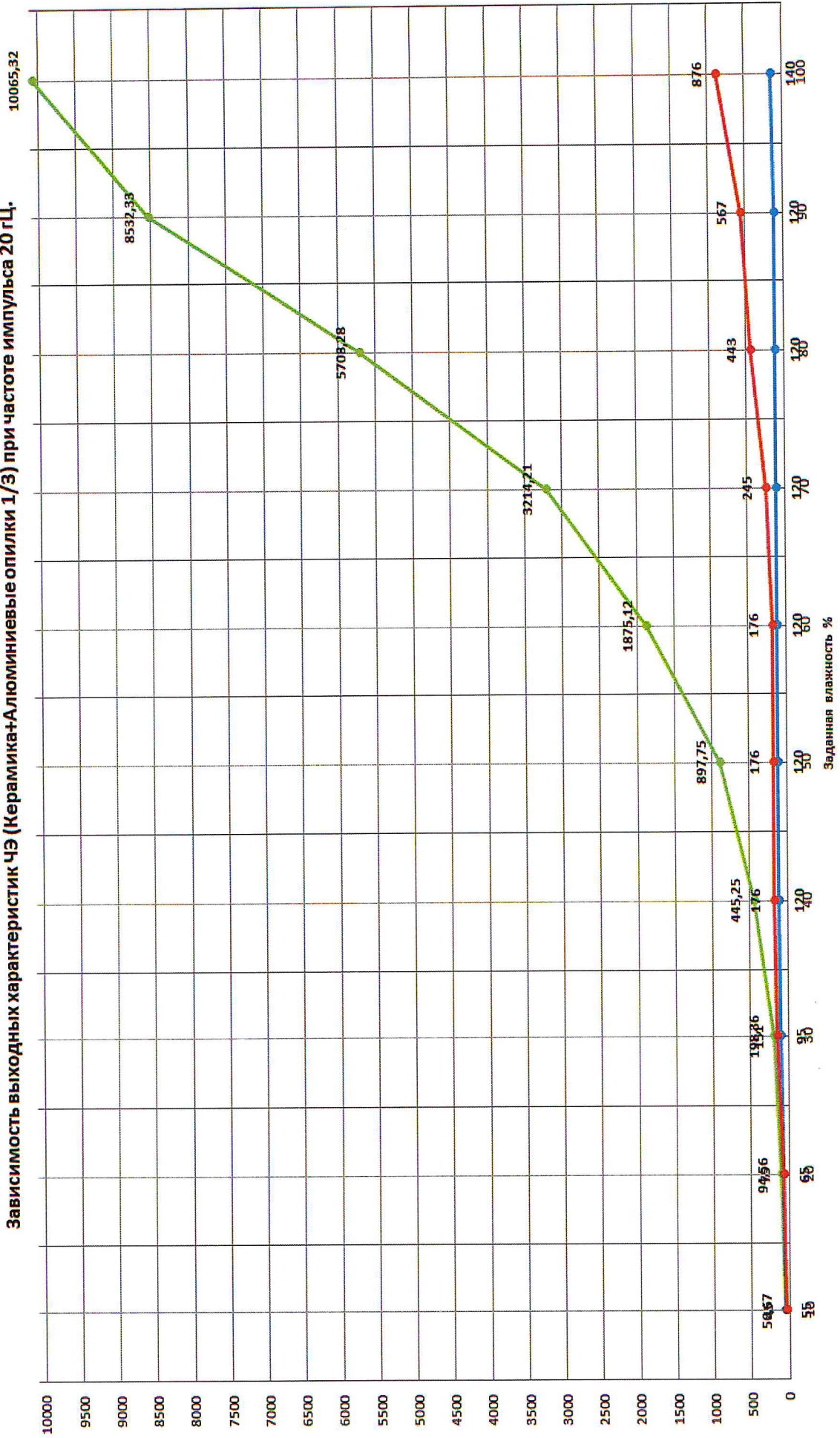
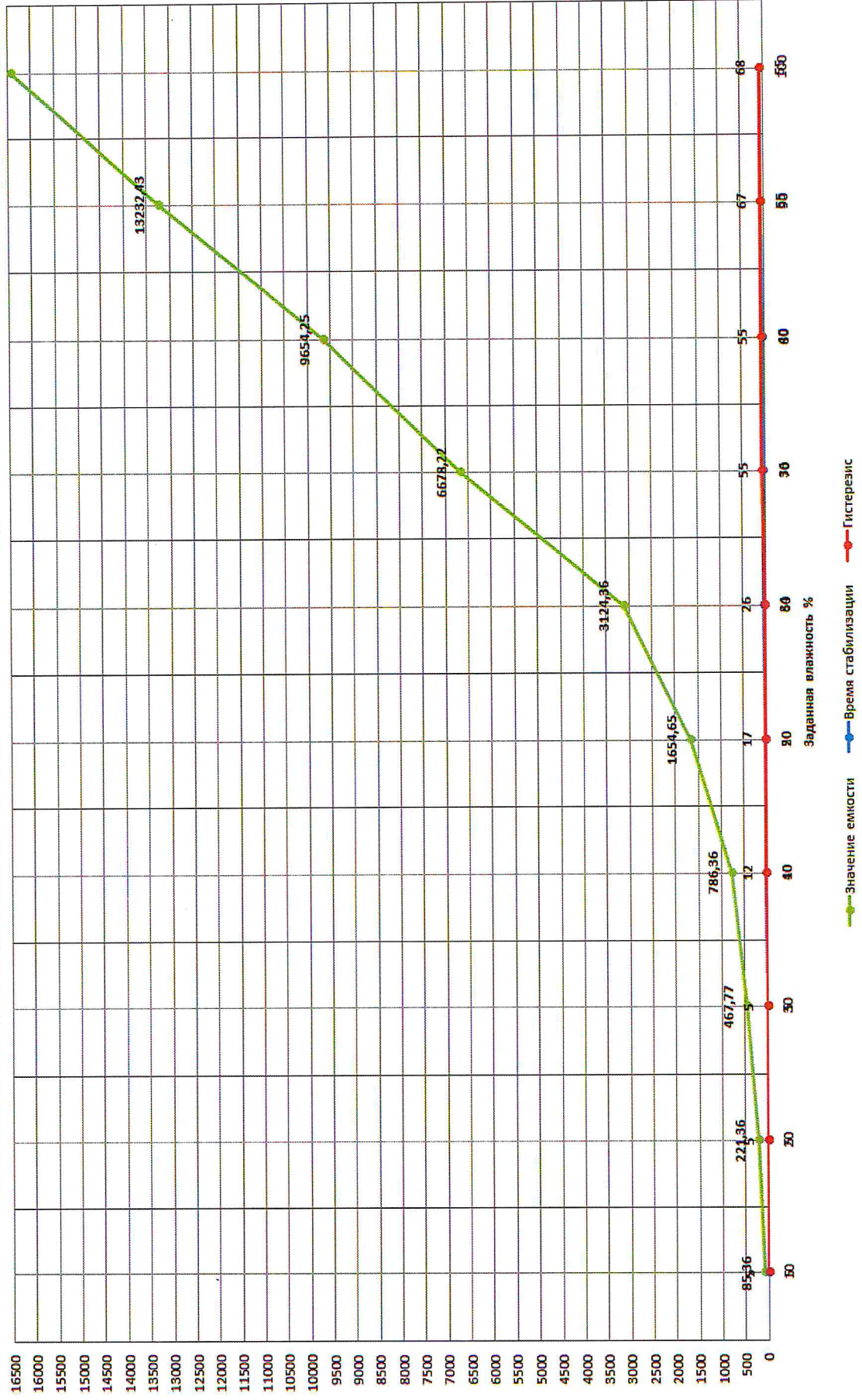


Таблица 8 - Результаты испытаний образца С (Т150 и алюминиевые пудра 1/3)

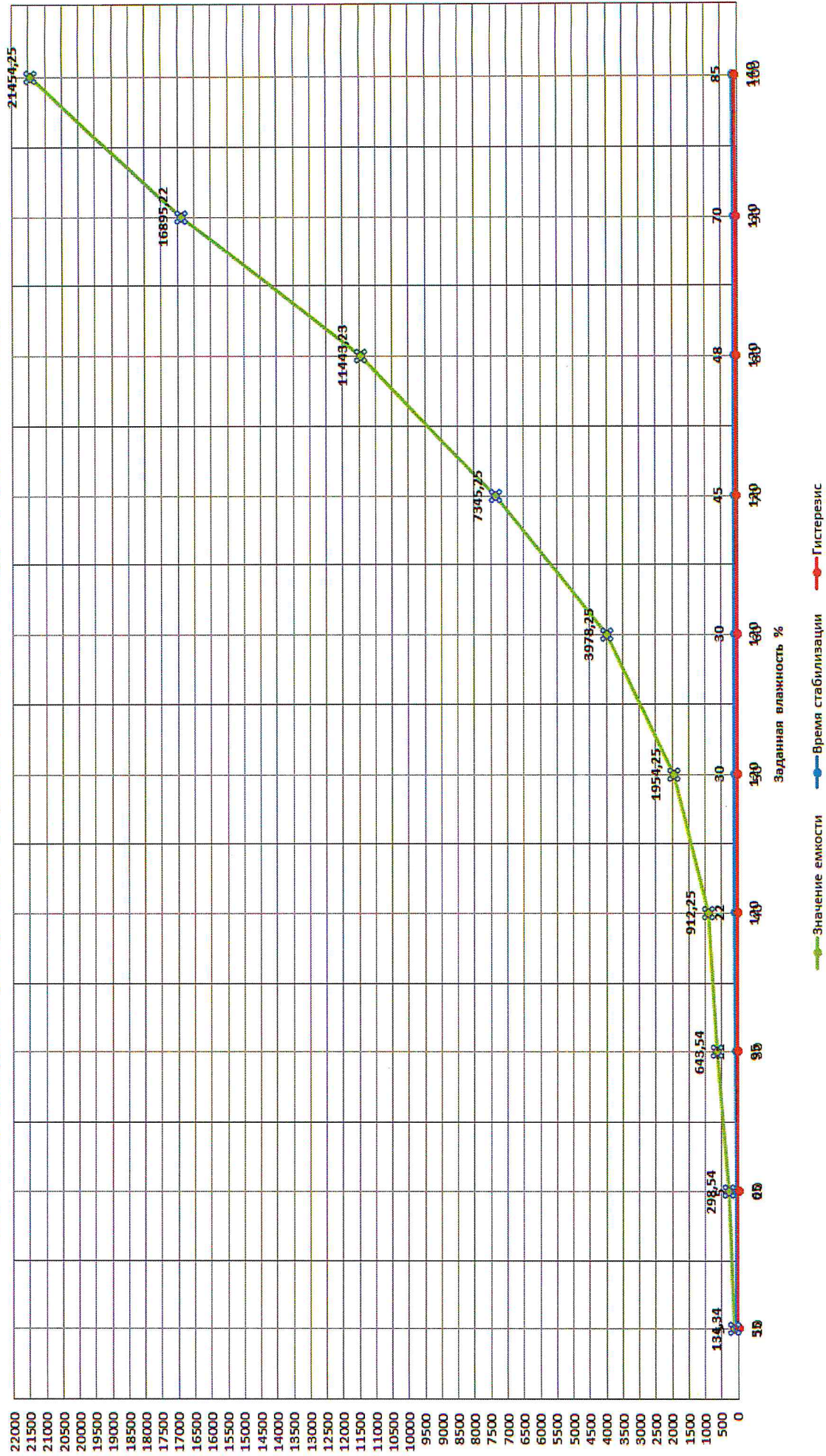
Температура (°C)	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Влажность (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
Емкость (pF)	85,36	221,36	467,77	786,36	1654,65	3124,36	6678,22	9654,25	13232,43	16433,43			
Время стабилизации (сек)	5	5	5	10	20	34	36	40	55	55			
Гистерезис	5	5	5	12	17	26	55	55	67	68			
Частота (Hz)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			

Температура (°C)	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
Влажность (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
Емкость (pF)	134,34	298,54	643,54	912,25	1954,25	3978,25	7345,25	11443,23	16895,22	21454,25			
Время стабилизации (сек)	5	5	5	10	20	34	36	40	55	55			
Гистерезис	5	5	11	22	30	30	45	48	70	85			
Частота (Hz)	20	20	20	20	8820	20	20	20	20	20			

Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Алюминиевая пудра 1/3) при частоте импульса 100 Гц.



Зависимость выходных характеристик ЧЭ (Керамика+Алюминиевая пудра 1/3) при частоте импульса 20 Гц.



Исследование проводилось на следующих образцах:

- проба А (Т150 и древесные опилки 1/4);
- проба Б (Т150 и алюминиевые опилки 1/3);
- проба С (Т150 и алюминиевая пудра 1/3);

Исходя из полученных результатов было установлено следующее:

- образцы, изготовленные из смеси керамики с древесными опилками, обладают стабильными характеристиками при включении в схему на 20 и 100 Hz. Время стабилизации слишком велико, при небольшом диапазоне емкости время меняется от 45 до 140 с. Также негативной стороной такого элемента из смеси керамики и древесных опилок является выраженная зернистая структура поверхности элемента и его не высокая механическая прочность;

- образцы, изготовленные из смеси керамики с алюминиевыми опилками, обладают стабильными характеристиками при включении схемы на 20 и 100 Hz. Во всем диапазоне влажности достаточно большой диапазон выходной электрической емкости. Негативной стороной явилось увеличение гистерезиса показаний до 876 пикофарад.

- образцы, изготовленные из смеси керамики с алюминиевой пудрой, обладают стабильными характеристиками при включении схемы на 20 и 100 Hz. Обладают широким диапазоном измерения емкости от 134,34 до 21454 пкФ от 0 до 100 %. Гистерезис показаний составляет от 5 до 85 пкФ при времени стабилизации от 5 до 55 сек.

Выводы по испытаниям:

По результатам испытаний образцов ЧЭ выполненных из смеси керамики и древесных опилок, керамики и алюминиевых опилок, керамики и алюминиевой пудры следует что наиболее подходящим материалом для целей изготовления ЧЭ является смесь керамики и алюминиевой пудры 1/3. Также результаты говорят о том, что чувствительный элемент, изготовленный по описанной выше технологии работает по сорбционно-емкостному принципу.

С целью расширения диапазона изменения емкости чувствительного элемента и повышения стабильности показаний в диапазоне изменения влажности была применена алюминиевая пудра. Алюминиевая пудра – имеет меньшую зернистость чем опилки алюминия, и не выделяет газов при спекании как древесные опилки.

В соответствии с описанной выше технологией образцы прошли обжиг, травление в ультразвуковой ванне в кислой среде и испытания в газовом поромере.

Образцы показавшие наивысшую пористость прошли процедуру серебрения и перфорирования электродов, после чего были испытаны в камере влаги измерителем импеданса.

Образец выполненный из смеси керамики с алюминиевой пудрой в объемных пропорциях 1/3 (проба С) показал широкий диапазон изменения емкости, низкий гистерезис емкости и малое время стабилизации показаний. В связи с этим за конечный материал для изготовления ЧЭ принимается смесь керамического порошка Т150 с алюминиевой пудрой в соотношении 1/3.

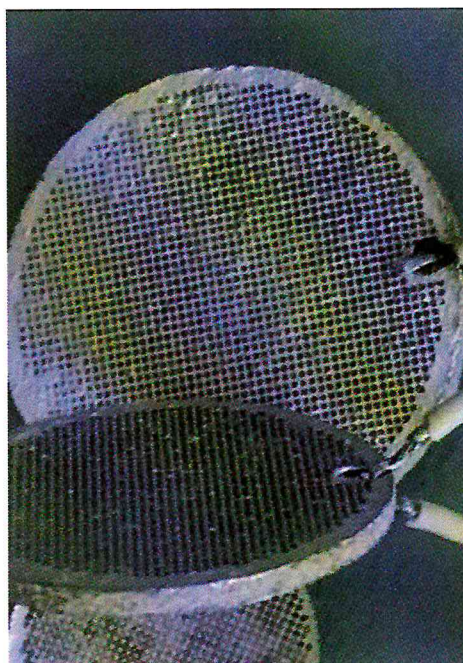


Рисунок 73 – Опытный образец ЧЭ (Т150 + алюминиевая пудра)

Полученный ЧЭ может быть применен как в полученном габарите, так и в составе прибора с защитным пеналом после опилования алмазной пилой. Пример чувствительного элемента, опиленного для монтажа в защитном пенале приведен на рисунке 17.

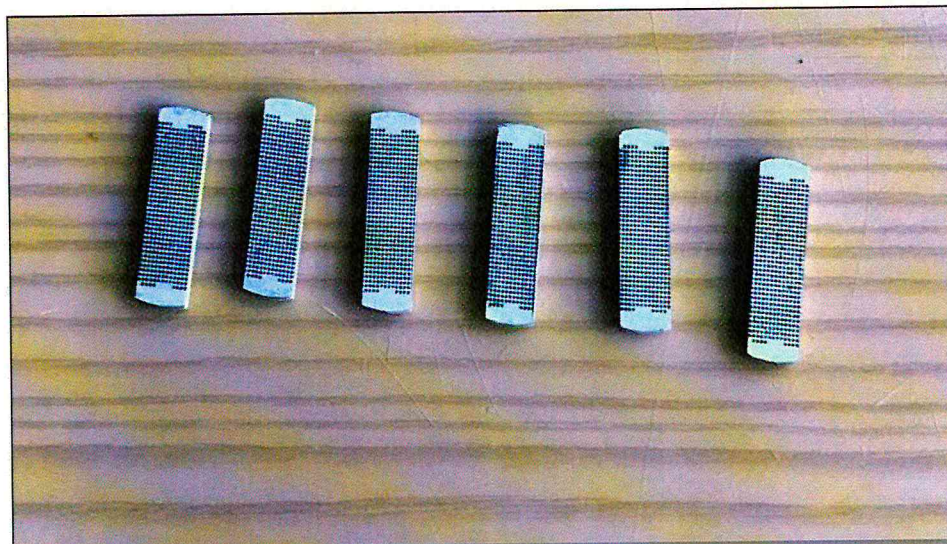


Рисунок 74 – ЧЭ предназначенный для установки в защитный чехол

ГЛАВА 5

Проведение ЗПСИ, сертификации

Заключительная глава содержит в себе проведение заводских приемосдаточных испытаний отечественного преобразователя. Проведение необходимой сертификации, внесению преобразователя ТТР в государственный реестр СИ. Проведение патентного поиска, определение объектов патентных прав и получению Патентов на полезные модели и изобретение. Результаты проведенных испытаний и протокола испытаний указаны в Приложении 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполняемой НКР были проведены исследования по разработке отечественного сорбционно-емкостного преобразователя ТТР по влаге в природном газе. Определена актуальность и научная новизна разработки, а также основные положения защищаемые на защите.

Основная часть НКР направлена на разработку принципиальной электрической схемы электронной платы и ее математическое моделирование в ППП «Mathlab&Simulink», также исследованиям и разработке технологии изготовления чувствительного элемента из пористой керамики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология тонких пленок, Справочник 1986. Л. Майсел, Р. Глэнк, Нью – Йорк 738 стр.
2. Керамические конденсаторные диэлектрики, 2012. Б. А. Ротенберг., 240 стр.
3. Каталог фирма Ametec (USA) "Анализаторы влажности газов", 2002.
4. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П., Физико-химические основы технологии микроэлектроники, -М.: Металлургия, 1979,408 с.
5. Бутурлин А.М., Крутоверцев С.А., Чистяков Ю.Д. Микроэлектронные датчики влажности, - Зарубежная электронная техника, -М.: 1984, № 9, с.3-54.
6. Берлинер М,А. Измерение влажности, -М.: Энергия, 1978,400 с.
7. Митчел Дж., Смит Д. Акватметрия. -М.: Химия, 1980, 600 с. (пер. с английского).
8. Бегунов А,А, Теоретические основы и технические средства гигрометрии.
9. Метрологические аспекты. - М.: Издательство стандартов, 1988.
10. Аналитическое приборостроение. Методы и средства для анализа жидких сред. - тезисы докладов Всесоюзной научно технической конференции, Тбилиси, 1980, с.63.
11. Humidity and Moisture Measurement and Control in Science and Industry, vol. 1-4, New York, 1965.
12. Соков И.А. Метрологическое обеспечение гигрометрии: Обзорная информ. - М., 1987, 56 с. - (Сер, "Информационное обеспечение общесоюзных научно-технических программ"; Вып. 1/ВНИИКИ).
13. ГОСТ 8.221-76. ГСИ. Влагометрия и гигрометрия. Термины и определения.
14. Wexler A., Vapor Pressure Formulation for Ice, Journal of Research of the National Bureau of Standards-A. Physics and Chemistry, January - February 1977, Vol. 81 A, No. 1, p. 5-19. Hardy B., ITS-90 formulations for vapor pressure, frostpoint temperature, factors in the range -100 to +100 °C, The Proceeding of the Third International Symposium on Humidity and Moisture, Teddington, London, England, April, 1998.

15. Соков И.А. Основные понятия и термины в гигрометрии - М., 1986, 52 с. — (Сер. "Метрологическое обеспечение измерений"; Вып. 5/ ВНИИКИ).
16. Pat. № 5460450 (USA). Cryogenic hygrometer, Arden L. Buck, 1995, (GOIN 25/02).
17. Pat. № 5299867 (USA). Low moisture cryogenic hygrometer, Arden L. Buck, 1994, (GOIN 25/02).
18. Pat. № 5052818 (USA). Method of and apparatus for measuring very low water content in gas, O. Nishizawa, T. Tagawa, T. Kijima, 1991, (GOIN 25/06).
19. Mastenbrook H.J. Water Vapor Distribution in the Stratosphere and Higher Troposphere. J Atm Sci, 1968, Vol. 25, p. 299-3111.
20. Mastenbrook H.J. and Oltmanns S.J. Stratospheric Water Vapor Variability for Washington, DC/ Boulder, CO. J Atm Sci, Vol .40, 1983, p. 2157-2165.
21. Spyers-Duran. P. An Airborne Cryogenic Frost Point Hygrometer. Proc 7th Symposium, Meteorological Observations and Instrumentation, American Meteorological Society, 1991.
22. Brown. G.S. A Balloon Borne Frost Point Hygrometer for High Altitude Low Water Vapor Concentration Measurements, Sandia National Laboratory Report SAND, 1988, p. 2458-2467. Pieter R. Wiederhold, The Principles of Chilled Mirror Hygrometry, Sensors Online.
23. Pat. № 4345455 (USA). Dew point hygrometer with continuous balancing system, Stanley B. Hayes, 1982, (GOIN 25/68).
24. Pat. № 2202941 (GB). Melting/freezing point apparatus, Washbourn D.W., Keene D.R., 1988, (GOIN 25/04).
25. Pat. № 2036339 (GB). Measuring dew point, Dadachaji F.M., 1980, (GOIN 25/68).
26. Pat. № 4629333 (USA). Chilled mirror hydrometer with performance monitoring, Dosoretz V.J., Ronchinsky S., 1986, (GOIN 25/02).
27. Pat. № 4826327 (USA), Dewpoint meter, Michell A.K., 1989, (COIN 25/02).
28. Pat. № 4946288 (USA). Dew point analyzer, Siska P., Vij K., Eisenbard G., 1990, (GOIN 25/02). Pat. № 5022045 (USA). Optical-type, phase transition humidity-responsive device, Elliott S.B., Hills W., 1991, (GOIN 25/12).

29. Data Sheet, The DEWCAP® Sensor for High Accuracy Dewpoint Measurement, Vaisala (Finland), April 2002.
30. Pat. K» 4216669 (USA), Contaminant error reduction system for dew point hygrometers, Harding J.C, 1980, (GOIN 25/02).
31. H. Leonard. Sherman. Sensor and condition circuits simplify humidity measurement, EDN, May 16, 1985, v.30, 11, 179p.
32. Pat. № 4948263 (USA). Dew-point sensor, Herrmann R., Funken D., 1990, (GOIN 25/68).
33. Dufor, Deflay R, Thermodynamics of clouds, N-Y-London, Academic Press, 1963.
34. Kovac M.G., Chleck D., Goodman P. A new Moisture Sensor for «In-Situ, Monitoring of Sealed Packages, Solid State Technology, February 1978, p. 35,36,39,53.
35. Пат. N 3819890 (ФРГ). Способ и устройство для измерения очень низких содержаний воды в газе, 1989, (GoIN 25/26).
36. Пат. N 231653 (ГДР). Устройство для обнаружения конденсата на зеркале точки росы, 1987, (GO IN 25/66).
37. Pat. № 2126350A (GB), Dew-point measuring device, Waldschmidt H.N., Takahashi N, 1983, (GOIN 25/68),
38. Desmarais R., Breuer J. Select and Use the Right Temperature Sensor, Sensors, January 2001.
39. Garvey D., So, What Is An RTD, Sensors, August, 1999.
40. Volbrecht A., Gordon W. Temperature Measurement: Making Sense of It All, Sensors, June 1998.
41. Pat. № 2830945 (USA). Apparatus for water determination, F.A. Keidel, 1958, (GOIN 27/46).
42. Pat. № 2900317 (USA). Coulometric reagent generation, F.A. Keidel, 1959, (GOIN 27/46).
43. Pat, № 3969210 (USA). Apparatus for water determination, Bergson G., 1976, (GOIN 27/46),

44. Pat. № 4514278 (USA), Trace water sensor, Straphens J.B., Yang M.M, Lane E.G., 1985, (GOIN 27/46),
45. Pat. № 4083765 (USA). Polymeric electrolytic hygrometer, Lawson D.D., 1978, (GOIN 27/46).
46. Pat. № 4800000 (USA). Low level moisture measurement system and method, Zatzko D.A., Maguire J.F., 1989, (GOIN 27/42).
47. Pat. № 3954590 (USA). Iridium thin ribbon electrodes for electrochemical cells, Czuhra M., 1976, (GOIN 27/46).
48. Pat. № 4210508 (USA). Electrolytic hygrometer improvement, Bergson G., 1980, (GOIN 27/46).
49. Pat. № 4213578 (USA). Method of and apparatus for active electro-chemical water and similar environmental contaminant elimination in semi-conductor and other electronic and electrical devices and the like, Savery J.W., 1981, (C25B 1/02).
50. Pat. № 5958200 (USA). Electrochemical gas sensor, Kessel R., 1999, (GOIN 27/404).
51. Pat. № 4967295 (USA). Humidity regulating apparatus for magnetic disk drive, Yamauchi S., Rito N., Takahashi N., 1990, (G1 IB 5/012).
52. ГСП. Гигрометры кулонометрические "Байкал-1", "Байкал-2", "Байкал-3".
53. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Паспорт. ДДИ1.550.056 ТО.
54. Pat. № 3926745 (USA). Deposition of P₂O₅ an electrolytic moisture cell, Czuhra M., 1975, (HOIM 4/86).
55. Агасян П.К., Хамракулов Т.К. Кулонометрический метод анализа, - М.: Химия, 1984, 168с.
56. Data Sheet, Trace Moisture Analyzer: The DewTrace[™] Electrolytic Hygrometer, AdgeTech, USA, 2002.
57. Анализатор влажности газов, модель 303 В Каталог продукции фирмы АМТЕК, USA, 2000.
58. Смолянинова В.А., Соков И.А., Хицкий В.Н. Метрологические возможности кулонометрического метода. Тезисы докладов 8-й Всесоюзной научно-

- технической конференции "Современное состояние и задачи гигрометрии", Иркутск, 5-9 сентября 1988г., с. 27-28.
- 59.Sauerbrey G. Verwendung von Schwinquarsen zur Wagung dunner Schichten und zur Microwagung.- Z. Fur Physic, 1956, Bd. 155, h. 206-222.
- 60.Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. — М.: Машиностроение, 1982,95 с.
- 61.Малов В.В. Пьезорезонансные датчики.- М.: Энергоатомиздат, 1989,272 с.
- 62.Zelenka J. Piezoelectric resonators and their applications. Electrical and Electronic Engineering, vol. 24 Elsevier, Amsterdam, 1986, p.211.
- 63.Lu C, Czandema A.W. Applications of Piezoelectric Quartz Crystal Microbalance, Elsevier, Amsterdam, 1984.
- 64.Chiarello R.P., Krim J., Thompson C.T. Quartz crystal microbalance and synchrotron X-ray reflectivity study of water and liquid xenon adsorbed on gold and quartz. Surf. Sci. 306, 1994, p.359-366.
- 65.Behrndt K.H. Long-time operation of crystal oscillation in thin-film deposition, J. Vac. Sci. Technol., 1981, V. 8, № 5, p. 622-626.
- 66.Пецев Н., Коцев Н. Справочник по газовой хроматографии. М.: Мир, 1987,256 с.
- 67.Guilbault G.C., Jordan J.M. Analytical uses of piezoelectric crystal: A Rev, CRC critical Reviews in Anal. Chem., 1988, v. 19, is. 1, p. 1-28.
- 68.Schuit W.W., King W.H. A universal mass detector for in chromatography, J. Chromatog. Sci., 1973, V. 11, p. 343-348.
- 69.Konash P.L., Bastiaans G.J. Piezoelectric crystal as detectors in liquid chromatography. Anal. Chem., 1980, v. 52, p. 1929-1931.
- 70.Oda S., Sawada T. Laser-induced photoacoustic detector for high-performance liquid chromatography, Anal. Chem., 1981, v. 53, p. 471-474.
- 71.Guilbault G.C. Analytical uses of piezoelectric crystal for air pollution monitoring, Anal. Proc, 1982,v. 19,p.68-70.
- 72.McCallum J.J. Piezoelectric devices for mass and chemical measurements: an update. A Rev., Analyst, 1989, v. 114, p. 1173-1189.

73. Николаев Т.В. 0 погрешности микровзвешивания кварцевым резонатором.-
Электронная техника: Микроэлектроника.- М.: ЦНИИ «Электроника», 1973,
выш.8(48), с. 74-78.
74. Бутурлин А.И., Дикевич А.Я., Чахунашвили Г.Б. и др. Гигрометр «Ива-4».
Электронная промышленность. Вып.10(178), 1988, с.52.
75. А.С. № 1067934 (СССР). А.И. Бутурлин, С.А. Крутоверцев, А.Я. Дикевич и др.,
заявл. 1982.
76. Бутурлин А.И., Дикевич А.Я., Крутоверцев С.А., Овчинников Е.Н. Индикатор
микровлажности и концентрации кислорода в водороде. Электронная
промышленность., выш. 9 (115), 1982, с.63.
77. А.С. № 1409889. Сорбционно- частотный гигрометр. Рудых И.А., Иващенко
В.Е., Бутурлин А.И., 1988, (GO IN 5/02).
78. А.С. № 1341543. Сорбционно- частотный гигрометр. Рудых И.А., Дрянов А.Н.,
Лобанов Г.Н., Иващенко И.Е., 1987, (G01N 5/02).
79. Pat. № 3431770 (USA) Analyzer for determining hydrogen — to carbon ratio in
material, Sanford R.F., Ayers B.C., 1970, p. 23-27.
80. Tahara S., Kobayashi J., Oka S. Piezoelectric crystal moisture sensor coated with
plasma polymerization film, in T. Seiyama (ed), Chemical Sensors, Anal. Chem.
Serier, Vol. 17, 1983, p. 405-409.
81. Анализаторы влажности газов на основе пьезокристалла. Законодательная и
прикладная метрология, №1,1997, с 38.
82. Горшков А.В. Промышленные анализаторы АМЕТЕК на предприятиях СНГ.
Химическое и нефтегазовое машиностроение, № 6,1998, с. 18
83. Pat. № 5616827 (USA). Flow manifold for high pshity analyzers, Simmermon J.C,
Dell CO., Peterson D., Blakemore CB., Remaley J., Golod A., Bear R., 1997, (GOIN
7/00).
84. Новое поколение анализаторы влажности газов на основе пьезокристалла.
85. Законодательная и прикладная метрология, № 1, 2001, с. 42.
86. Сатановский В.Р, Анализаторы влажности АМЕТЕК, Узбекский журнал нефти
и газа, №4,1998, с. 48

87. Дикевич А.Я., Бутурлин А.И., Копейкин А.Н. Анализ изотерм сорбции влагочувствительных слоев пористого оксида кремния и их математическая обработка с использованием метода пьезокварцевого микровзвешивания. "Научные основы технологий, материалов, приборов и систем электронной техники." МИЭТ (ТУ), М. 2002, с. 88-94.
88. Pat. № 4167725 (USA), Dew-sensing hygroscopic element, Shimizu H., Tamura H., Makino Y., 1977, (HOIL 7/00).
89. Pat. № 4263576 (USA), Humidity sensitive device, Murata M., Okabe S., 1981, (HOIL 7/00).
90. Pat. № 4386336 (USA), Humidity sensor and a humidity detection circuit using the humidity sensor, Shinichi K., Masato K., Susumu K., 1983, (HOIL 7/00).
91. Pat. № 4393434 (USA), Capacitance humidity sensor, Imai Y., Nabeta Y., Inuzuka T., 1983, (HOIG 7/00).
92. Pat. № 4429343 (USA), Humidity sensing element, Freud, Paul J., 1984, (HOIG 5/20).
93. Pat. № 4442422 (USA), Humidity sensitive resistor, Murata M., Kitao Shoichi., Okabe S., 1984, (HOIL 7/00).
94. Pat. № 4528543 (USA), Moisture permeable electrode in a moisture sensor, Miyoshi S., Sugihara T., Hijikigawa M., 1985, (HOIL 7/00).
- 95.11 O.Pat. № 3522732 (USA), Sensing element for hygrometers, H. Bauer, 1970, (GOIN 27/26).
96. Pat. № 3550439 (USA), Clothing hygrometer, Hollies N., Penoyer J.A., 1970, (GOIN 27/56).
97. Pat. № 3559456 (USA), Sensor for measuring humidity, Lomker F., Schmieder P., Rieber M., 1971, (COIN 31/00).
98. Pat. № 3983527 (USA), Humidity-sensitive sensor, Nobuyoshi O., Kenzo S., Keihachiro N., 1976, (HOI C 13/00).
99. Pat. № 4438480 (USA), Capacitive hygrometer, Chambaz B., Delapierre G., Destarmes L., 1984, (HOIG 7/00).

100. Pat. № 4632879 (USA), Moisture sensor, Tanaka J., Watanabe V., Furubayashi H., Hijikigawa M., 1986, (B32B 27/30).
101. Pat. № 4893214 (USA), Capacitance type sensitive element and a manufacturing method thereof, Nishiwaki S., Takahashi Y., Murakami K., Fukuda N., 1984, (HOIG 7/00).
102. А.С. № 1119445 (СССР). Датчик влажности. Бутурлин А.И., Дикевич А.Я., Крутоверцев С.А. заявл. 1982 г.
103. W.H. King. Piezoelectric sorption detector. Anal. Chem., N36,1964, p. 1735-1739.
104. W.H. King. Using quartz crystals as ϕ 11оп detectors. Res. Develop., 20(4), 1969, p. 28-34,
105. Гребенщиков И.В., Власова А.Г., Непорент В.С., Суйковская Н.В. Просветление оптики, Гостехиздат, 1946,
106. Аверичкин П.А, Бутурлин А.И., Дикевич А.Я., Копейкин А.Н. Исследование адсорбционных свойств тонких влагочувствительных слоев, полученных гидролитической поликонденсацией кремний-органических соединений, - тезисы докладов всероссийской научно-технической конференция "Микро- и нано- электроника 2001", Звенигород, 2001, т.2, P1-34,2 ст.
107. Гейст Б., Кетцир Дж., Шуйц Г., Химия каталитических процессов, -М.: Мир, 1981, 551 с.
108. Shiba T., Sato V., Hattori H., Yoshida K., Shokubai (Tokyo), 6 (2), 80,1964.
109. Sato M., Aonuma T., Proc, 3d, Inc, Cong. Catal., p. 396, North-Holland, Amsterdam, 1965.
110. Pat. № 4652467 (USA). Inorganic-polymer-derived dielectric films, 1987, (B05/D).
111. Pat. № 4203087 (USA). Absolute humidity sensor and methods of manufacturing humidity sensors, Kovac M,G., Chleck D,J., Goodman P., 1980 (338/35).

112. Пат. 2242329 РФ, В 22 F 9/18. Способ получения порошка тантала / Ю.Е. Маркушкин, В.Д. Азаров, Н.М. Ермолаев, А.Л. Небера. - Опубл. 20.12.04 с приоритетом от 16.07.02.
113. Орлов В.М. Исследование и разработка материалов на основе тантала и ниобия для электронной техники. – Автореферат дис. на соиск. уч.ст. д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2000 г.
114. Н. В. Исаева, Ю. В. Благовещенский, Ю. И. Мельник, Н. В. Благовещенская. Танталовые и ниобиевые нанопорошки для создания пористых материалов. – Тезисы доклада. Международный форум по нанотехнологиям, Москва, 2009 г.
115. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ: Учеб. пособие для вузов.- Изд.3-е, - М.:МИСИС, 1994. - 328с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

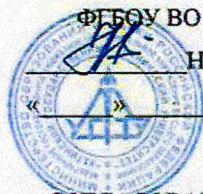
ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЗАВОДСКИХ ИСПЫТАНИЙ
сорбционно-емкостного преобразователя температуры точки росы по воде в
природном газе

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

ФГБОУ ВО УГТУ

Н.Д. Цхадая



«__» 2018 г.

СОГЛАСОВАНО:

И.о. заместителя главного инженера по
автоматизации, метрологическому
обеспечению и связи

ООО «Газпром трансгаз Ухта»

В.И. Которобай

«__» 2018 г.

СОГЛАСОВАНО:

Генеральный Директор

ЗВЭК «Прогресс»

О.Н. Кошкур

«__» 2018 г.

И.о. главного метролога – начальника

ПО МО

ООО «Газпром трансгаз Ухта»

В.Ю. Артеев

«__» 2018 г.

Зам. начальника

ПО А

ООО «Газпром трансгаз Ухта»

Е.В. Нестеренко

«__» 2018 г.

Ухта, 2018 г.

Рисунок 75 – Утвержденная ПМЗИ

АКТ
заводских испытаний ПТТР ПГ

«26» октября 2018 г.

Комиссия в составе:

От ЗВЭК «Прогресс»:

Кошкур Олег Николаевич – генеральный директор

От ООО «Газпром трансгаз Ухта»:

Адаменко Станислав Владимирович – главный инженер, первый заместитель генерального директора

Меркурьева Ирина Анатольевна – начальник технического отдела

Нестеренко Евгений Викторович – заместитель начальника производственного отдела автоматизации

Артеев Вячеслав Ювиальевич – заместитель начальника производственного отдела метрологического обеспечения

Иванюк Алексей Сергеевич – ведущий инженер отдела АСУТП САиМО

От ФГБОУ ВО УГТУ:

Копчиков Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник, аспирант, ответственный исполнитель

Михин Сергей Олегович – младший научный сотрудник, аспирант, ответственный исполнитель

Провела заводские испытания сорбционно-емкостного преобразователя температуры точки росы по воде в природном газе.

Испытания проводились на производственных площадях ЗВЭК «Прогресс» по утвержденной ФГБОУ ВО УГТУ и согласованной с ООО «Газпром трансгаз Ухта» программе и методике заводских испытаний ПТТР ПГ, с проверкой полного объема функционирования преобразователя в диапазонах изменения физической величины и давления доступных на стендовом оборудовании ЗВЭК «Прогресс». Результаты работы комиссии отражены в протоколе заводских испытаний ПТТР ПГ и таблицах результатов испытаний.

1. Комиссии на испытания представлены:

1.1. Комплект документации, предусмотренной «Программой и методикой заводских испытаний ПТТР ПГ».

1.2. Единичный опытный образец сорбционно-емкостного преобразователя ТТР в составе: чувствительный элемент, опытный образец электронной платы, герметичный электропровод, корпус преобразователя, кабельный ввод.

2. Проведение испытаний:

Испытания были проведены по-компонентно и для преобразователя в сборе. В ходе испытаний были применены: поверенная камера холода, тепла и влаги, прецизионный измеритель емкости и иммитанса, мультиметр, микрометр, набор калибровочных резьб и другое вспомогательное оборудование.

В процессе работы выполнены:

Проверка наличия полного комплекта технической и разрешительной документации.

Проверка соответствия ПТТР ПГ эксплуатационной документации, рабочему проекту и спецификации.

Проверка функционирования ПТТР ПГ.

Проверка готовности ПТТР ПГ к отправке в ООО «Алира» для проведения калибровки в камере температуры точки росы по воде и испытаний с целью утверждения типа средства измерения и для подтверждения соответствия требованиям по электромагнитной совместимости.

3. Выводы комиссии:

ПТТР ПГ соответствует проектной, технической и эксплуатационной документации.

Преобразователь ТТР прошел заводские приемочные испытания положительно и готов к направлению на калибровку в камере температуры точки росы и проведению испытаний в ООО «Алира».

Приложение:

1. Протокол заводских испытаний ПТТР ПГ – 9 листов.

Подписи сторон:

От ЗВЭК «Прогресс»:

Генеральный директор

О.Н. Кошкур


Ф.И.О.

От ООО «Газпром трансгаз Ухта»:


Главный инженер, первый заместитель генерального директора


С.В. Адаменко

Ф.И.О.


Начальник технического отдела
И.А. Меркурьева
Ф.И.О.  Подпись

Заместитель производственного отдела автоматизации
Е.В. Нестеренко
Ф.И.О.  Подпись

Заместитель начальника производственного отдела метрологического обеспечения
В.Ю. Артеев
Ф.И.О.  Подпись

Ведущий инженер отдела АСУТП САНМО
А.С. Иванов
Ф.И.О.  Подпись

От ФГБОУ ВО УГТУ:

Младший научный сотрудник, аспирант, ответственный исполнитель
А.Е. Копчиков
Ф.И.О.  Подпись

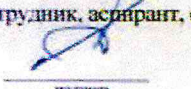
Младший научный сотрудник, аспирант, ответственный исполнитель
С.О. Михин
Ф.И.О.  Подпись

Рисунок 76 – Утвержденная ПМЗИ. Акты результата заводских испытаний.

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «АЛИРА»

Руководитель ИЦ
ФГУН «ВНИИМС»



А.А. Батишев



Н.В. Иванникова

«15» *января* 2019 г.

«15» *января* 2019 г.

**Преобразователь сорбционно-емкостной температуры точки росы по
влаге в природном газе «Гигросенс»**

Программа испытаний в целях утверждения типа

**г. Москва
2019 г.**

Рисунок 77 – Утвержденная ПИ в целях утверждения типа СИ.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по производственной метрологии
ФГУП «ВНИИМС»



Н.В. Иванникова

02 сентября 2019 г.

Преобразователь сорбционно-емкостной
температуры точки росы по влаге
в природном газе «Гигросенс»

Методика поверки

МП 205-14-2019

г. Москва
2019 г.

Рисунок 78 – Утвержденная МП в целях утверждения типа СИ.



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ИЦ ФГУП «ВНИИМС»

Н.В. Иванникова
Н.В. Иванникова

" 25 " сентября 2019 г.

Отчет

об испытаниях в целях утверждения типа средств измерений

Наименование типа средства измерения: Преобразователь сорбционно-емкостной температуры точки росы по влаге в природном газе «Гигросенс»

Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью «АЛИРА» (ООО «АЛИРА»)
Адрес: 119313, Россия, г. Москва, ул. Ленинский проспект, д. 95

Изготовитель: Общество с ограниченной ответственностью «Завод высоковольтных электронных компонентов «ПРОГРЕСС» (ООО «ЗВЭК «ПРОГРЕСС»)
Адрес: 169336, Россия, г. Ухта, пгт. Водный, ул. Советская, д. 1

Заводские номера: № 001

Протоколов 2
Всего листов 10

Начальник отдела 205
ФГУП «ВНИИМС»
С.В. Вихрова
" 25 " сентября 2019 г.

Испытатель отдела 205
ФГУП «ВНИИМС»
О.Л. Рутенберг
" 25 " сентября 2019 г.

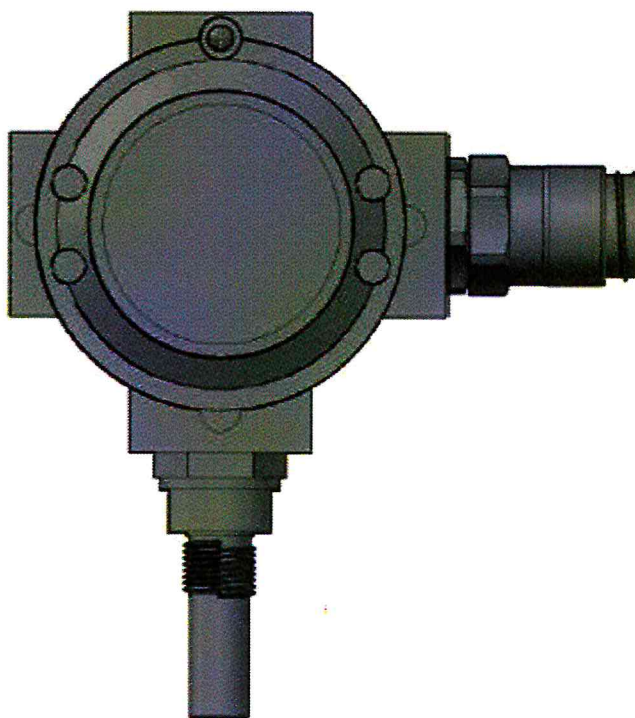
г. Москва
2019 г.

Лист 1
Листов 10

Руководство по эксплуатации

преобразователя сорбционно – емкостного температуры точки росы по влаге
в природном газе «Гигросенс»

РЭ.КМ.ПГТР ПГ.2019.



Ухта 2019 г.

Рисунок 80 – Руководство по эксплуатации на «Гигросенс».