

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт кибернетики  
Направление 27.04.04 Управление в технических системах  
Кафедра систем управления и мехатроники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Программно-алгоритмическое обеспечение системы автоматизированного управления газораспределительной станции

УДК 622.691.5:681.51:004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5Б	Окунев Алексей Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. СУМ	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Петухов Олег Николаевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Извеков Владимир Николаевич	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

	Результаты
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики  
 Специальность 27.04.04 Управление в технических системах  
 Кафедра систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой СУМ  
 \_\_\_\_\_ Губин В.Е.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ5Б	Окуневу Алексею Вячеславовичу

Тема работы:

Программно-алгоритмическое обеспечение системы автоматизированного управления газораспределительной станции
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.02.2017 № 1398/с
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: система автоматизированного управления газораспределительной станции</p> <p>Режим работы – непрерывный</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Расширение динамического диапазона измерения расхода на нитке малого расхода газа;  Модернизация инструментальной части узла редуцирования малого расхода газа;  Выбор измерительных средств и исполнительных механизмов с сохранением преемственности к существующему контроллерному оборудованию;  Разработка модели системы в пакете Matlab Simulink</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема узла учета газа;  ФСА узла редуцирования газа;  ФСА узла учета газа.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Петухов Олег Николаевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Извеков Владимир Николаевич</p>
<p>Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке</p>	<p>Пичугова Инна Леонидовна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>1. Расширение диапазона измерения расхода газа с помощью фильтра Калмана  2. Разработка математической модели технологического процесса редуцирования газа</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент кафедры ИКСУ</p>	<p>Громаков Евгений Иванович</p>	<p>к.т.н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8АМ5Б</p>	<p>Окунев Алексей Вячеславович</p>		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 125 с., 32 рис., 31 табл., 25 источников.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, газораспределительная станция, узел учета газа, узел редуцирования газа.

Объектом исследования является автоматизированная система управления ГРС.

Цель работы – модернизация автоматизированной системы управления ГРС.

Методы исследования: анализ и исследование технологического процесса, сравнительный анализ датчиков и исполнительных механизмов, расчет и разработка математической модели.

Основные результаты: проведена модернизация инструментальной части узла редуцирования газа; система смоделирована, оценена ее устойчивость и точность регулирования; разработаны проектные решения по расширению динамического диапазона измерения расхода на нитке малого расхода газа, предполагающие использование фильтра Калмана.

Для анализа точности и быстродействия системы проведено математическое моделирование в пакете MatLAB.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В работе использовались следующие обозначения и сокращения:

САУ – система автоматического управления;

ГРС – газораспределительная станция;

ДКД – дроссель-клапан дискретный;

ЭПТ – электропневмотриггер;

УСБ – устройство сужающее быстросъемное;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition;

АРМ – автоматизированное рабочее место.

## Оглавление

Введение.....	10
1 Техническое задание на модернизацию САУ ГРС.....	11
1.1 Назначение и состав ГРС .....	11
1.2 Общие положения .....	12
1.3 Требования к САУ ГРС .....	12
1.4 Требования к технологии .....	13
1.5 Требования к техническому обеспечению .....	13
1.6 Требования к метрологическому обеспечению .....	14
1.7 Требования к программному обеспечению.....	15
1.8 Требования к математическому обеспечению.....	15
1.9 Описание технологического оборудования .....	16
1.9.1 Узел редуцирования газа.....	16
1.9.2 Узел редуцирования малого расхода газа .....	20
1.9.3 Узел учета газа .....	24
1.9.4 Управление кранами.....	30
1.10 Описание текущего состояния на ГРС-1 Арзамасского ЛПУ МГ .....	32
1.10.1 Узел учета газа .....	33
1.10.2 Узел редуцирования газа малого расхода .....	34
2 Разработка решений по модернизации САУ ГРС.....	35
2.1 Обзор систем автоматизированного управления ГРС .....	35
2.2 Модернизация системы учета газа.....	37
2.2.1 Цели и задачи .....	37
2.2.2 Требования к системе учета.....	37
2.2.3 Анализ методов измерения расхода.....	38
2.2.4 Расширение диапазона измерения расхода газа с помощью фильтра Калмана .....	43
2.2.5 Разработка функциональной схемы автоматизации узла учета газа....	50
2.3 Модернизация узла редуцирования газа малого расхода.....	50

2.3.1 Цели, задачи и ожидаемый результат .....	50
2.3.2 Требования к системе .....	51
2.3.3 Разработка функциональной схемы автоматизации .....	51
2.3.4 Выбор средств измерения .....	51
2.3.5 Нормирование погрешности канала измерения .....	54
2.3.6 Выбор исполнительного механизма .....	55
3 Разработка математической модели технологического процесса редуцирования газа .....	59
3.1 Расчет параметров объекта регулирования .....	59
3.2 Расчет параметров регулятора .....	62
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
4.1 Планирование научно-исследовательских работ .....	69
4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	69
4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	70
4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	71
4.2 Бюджет научно-технического исследования .....	74
4.2.1 Расчет затрат на материалы .....	74
4.2.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	74
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог .....	76
4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию .....	76
4.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	76
4.2.6 Расчет прочих расходов .....	77
4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	77
4.2.8 Расчет затрат на модернизацию .....	77
4.2.9 Расчет условно – годовой экономии от автоматизации.....	79
4.3 Расчет экономического эффекта, коэффициента эффективности и срока окупаемости капитальных затрат .....	80
5 Социальная ответственность.....	84
5.1 Производственная безопасность .....	85
5.2 Экологическая безопасность.....	96
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	97



5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	101
Заключение .....	104
Список публикаций студента.....	105
Список использованных источников .....	106
Приложение А. Раздел, выполненный на иностранном языке.....	109

## Введение

Автоматизированные системы управления технологическими процессами являются высшим этапом комплексной автоматизации и призваны обеспечить существенное увеличение производительности труда, улучшения качества выпускаемой продукции и других технико-экономических показателей производства, а также защиту окружающей среды [1].

Целью магистерской диссертации является модернизация автоматизированной системы управления ГРС, обеспечивающей улучшение качества работы системы управления и, как следствие, большую экономическую эффективность из-за устранения проблемных мест в работе станции. Модернизация системы управления ГРС предполагает модернизацию узла учета газа и модернизацию узла редуцирования.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследовать текущую проблему;
- расширить динамический диапазон измерения расхода газа;
- провести обновление инструментальной части узла редуцирования газа малого расхода;
- смоделировать систему для проверки соответствия значений регулируемых параметров требуемым по процессу.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что модернизация автоматизированной системы управления ГРС позволит устранить проблему учета газа, что снизит экономические потери от неучтенного объема газа, переданного потребителям. Магистерская диссертация содержит рекомендации для ГРС-1 Арзамасского ЛПУМГ, ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород".

# **1 Техническое задание на модернизацию САУ ГРС**

## **1.1 Назначение и состав ГРС**

Природный газ передается по газовым сетям на большие расстояния под высоким давлением. Тем не менее, это давление не подходит для местных газораспределительных сетей для подачи газа в коммунальные предприятия, жилые, общественные и промышленные здания.

Газ из магистральных газопроводов поступает потребителям через газораспределительные станции ГРС.

ГРС предназначена для снижения высокого давления природного, попутного нефтяного, предварительно очищенного от тяжёлых углеводородов, или искусственного газа до заданного низкого давления и поддержания его с заданной точностью, а также для измерения расхода газа и одоризации его перед подачей потребителю. Также, при необходимости, газ подогревается для предотвращения гидратообразования [3].

Все оборудование ГРС размещается в двух капитальных зданиях и на площадке ГРС. Каждое здание разделено на отдельные помещения:

Здание ГРС:

- технологические помещения;
- котельная;
- помещение управления;
- санузел;
- мастерская;
- кладовая;
- помещение отдыха.

Здание узла переключений:

- помещение переключений;
- помещение одоризации;
- топочная.

На площадке ГРС размещаются:

- узел замера расхода газа выхода 1;
- узел замера расхода газа выхода 2.

Источником газоснабжения ГРС является трубопровод Ду700, Ру=5,5 МПа. ГРС имеет четыре выхода: выход 1 (НКМК), выход 2 (КЦЗ), выход 3 (ГРС-2), выход 4 (собственные нужды).

## **1.2 Общие положения**

Основными целями модернизации САУ ГРС являются:

- Повышение оперативности контроля и управления технологическим процессом редуцирования газа (малый расход) – достигается путем разработки автоматической системы регулирования давления газа на нитке малого расхода.
  - Достижение высоких технико-экономических показателей работы ГРС – реализуется за счет модернизации узла учета газа;
  - Обеспечение максимальной безопасности эксплуатации объектов и сохранения условий окружающей среды – достигается за счет автоматического контроля выхода параметров за технологические и аварийные границы.

## **1.3 Требования к САУ ГРС**

Функционирование САУ ГРС осуществляется в непрерывном режиме без постоянного обслуживания с проведением регламентных работ в период плановых остановок и ревизии технологического оборудования [1].

САУ ГРС после модернизации дополнительно должна осуществлять:

Измерение:

- давление газа после регулятора давления малого расхода (основной, резервной нитки);
- давление газа на нитке малого расхода узла учета газа;
- расход газа на нитке малого расхода узла учета газа;

- температура газа на нитке малого расхода узла учета газа;

Сигнализация:

- предельно-высокое значение давления газа после регулятора давления малого расхода (основной, резервной нитки);
- предельно-низкое значение давления газа после регулятора давления малого расхода (основной, резервной нитки);
- предельно-высокое значение расхода газа на нитке малого расхода узла учета газа;
- предельно-низкое значение расхода газа на нитке малого расхода узла учета газа;

Регулирование:

- давление газа после регулятора давления малого расхода (основной, резервной нитки);
- рабочего диапазона измерения расхода газа.

#### **1.4 Требования к технологии**

САУ ГРС должна выполняться как единая, законченная, управляющая и информационная система для технологических объектов ГРС.

Поскольку в существующую систему будут интегрированы дополнительные элементы, необходимо обеспечить преемственность, одновременную работу существующих систем с новыми, без снижения надежности и безопасности эксплуатации ГРС [1].

Система регулирования давления должна обеспечить выход на установившееся значение не более чем за 8 секунд с перерегулированием не более 15%.

#### **1.5 Требования к техническому обеспечению**

- Оборудование, устанавливаемое на открытых площадках, в зависимости от зоны расположения объекта должно быть устойчивым к воздействию температур от -50 °С до +50 °С и влажности не менее 80 % при температуре 35 °С.

- Программно-технический комплекс АС должен допускать возможность наращивания, модернизации и развития системы, а также иметь резерв по каналам ввода/вывода не менее 20 %.

Датчики, используемые в системе, должны отвечать требованиям взрывобезопасности. При выборе датчиков следует использовать аппаратуру с искробезопасными цепями. Чувствительные элементы датчиков, соприкасающиеся с сероводородсодержащей или другой агрессивной средой, должны быть выполнены из коррозионностойких материалов либо для их защиты необходимо использовать разделители сред.

Показатели надежности датчиков общепромышленного назначения рекомендуется выбирать, ориентируясь на показатели мирового уровня и лучшие образцы отечественных изделий, а именно:

- 1) время наработки на отказ не менее 50 тыс. час;
- 2) срок службы не менее 10 лет.

Контроллеры должны иметь модульную архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода/вывода. При необходимости ввода сигналов с датчиков, находящихся во взрывоопасной среде, допускается использовать как модули с искробезопасными входными цепями, так и внешние барьеры искробезопасности, размещаемые в отдельном конструктиве.

### **1.6 Требования к метрологическому обеспечению**

Для измерения давления газа в трубопроводе использовать манометр избыточного давления. Основная относительная погрешность измерения давления должна составлять не более 1%.

Основная относительная погрешность датчиков давления, расхода должна составлять не более 0,1%.

## **1.7 Требования к программному обеспечению**

Программное обеспечение (ПО) АС включает в себя:

- системное ПО (операционные системы);
- инструментальное ПО;
- общее (базовое) прикладное ПО;
- специальное прикладное ПО.

## **1.8 Требования к математическому обеспечению**

Математическое обеспечение АС должно представлять собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при создании и эксплуатации АС и позволять реализовывать различные компоненты АС средствами единого математического аппарата.

## 1.9 Описание технологического оборудования

### 1.9.1 Узел редуцирования газа

Узел редуцирования газа построен по схеме: кран управляемый, дискретный кран-дроссель, кран ручной.

Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики

Наименование показателя (характеристики), единица измерения	Значение
Рабочее тело	Природный газ
Температура рабочей среды, °С	-10...75
Максимальное рабочее давление, МПа	7,64
Минимальное рабочее давление, МПа	0,51
Относительная влажность воздуха при 35°С, %	98
Температура окружающей среды ДКД, блока пневмоуправления, °С	-55...60
Температура окружающей среды блок дистанционного управления, °С	-10...50
Время перехода на любой дискретный уровень, сек	0,2-05
Допустимый перепад давлений, МПа	7,64
Непрерывное время эксплуатации, час	8000

Система состоит из датчиков давления до и после клапана, блока пневмоуправления, блока дистанционного управления, предназначенного для поддержания давления в установленных пределах, за счет передачи команд управления на клапан. Регулирующим органом в такой системе является дроссель-клапан.

В ДКД реализована многопоточная схема течения рабочей среды и импульсный способ управления, при котором изменение площади проходного сечения происходит при подаче электрического импульса. В каждом потоке расположены калиброванная расходная шайба определенного диаметра и



двухпозиционный запорный клапан поршневого типа, который при подаче импульса обеспечивает проток рабочей среды через шайбу – состояние открыто, или отсекает его – состояние закрыто.

Величина площади сечения обеспечивается переводом требуемого числа клапанов в состояние открыто.

Подача управляющего сигнала на одновременное открытие всех запорных клапанов приводит к быстрому (за 0,2-0,5сек) изменению во времени площади проходного сечения ДКД, а при последовательном их открытии – величина площади сечения изменяется дискретно с заданным градиентом.

Реализация в ДКД принципа двухпозиционности подвижных механических органов приводит к тому, что они находятся во взвешенном состоянии в потоке только кратковременно на переходных режимах, а остальное время прижаты к упорам и имеют избыточное перестановочное усилие при страгивании с них. Состав ДКД приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Состав ДКД-47

Конструкция ДКД состоит из двух частей: клапана-дросселя ДКД и блока электропневмоуправления. Клапан-дроссель ДКД представляет собой устройство многопоточной схемы с запорными органами поршневого типа. Он не содержит электрических контактов и цепей и не требует взрывозащищенного исполнения. С клапаном-дросселем пневмомагистралями связан блок электропневмоуправления, изготовленный в виде стального шкафа,

в котором расположены клеммная коробка и до 8-ми электропневмотриггеров (ЭПТ) в виде моноблока, смонтированного на стойке.

Закрытие клапанов производится подачей рабочей среды в камеру управления, где поршень перемещается поступательно перекрывая клапан.

Открытие производится отсечением рабочей среды и сбросом газа из полости управления. В результате пружина вернет поршень в исходное положение и клапан будет полностью открыт.

Конструктивно ДКД-47 представлен на рисунке 2, где 1 – трубопровод, 2 – упор, 3 – стяжка, 4 – корпус, 5 – противоударная масса, 6 – гильза, 7 – поршень, 8 – торцевое уплотнение, 9,12 – перегородки, 10 – расходная шайба, 11 – шумогаситель, 13 – демфирующая полость, 14 – уплотнение управляющей полости, 15 – пружина, 16 – жиклер, 17 – уплотнение демпфирующей полости, 18 – штуцер, 19 – управляющая полость, 20 – пружина Бельвиля.

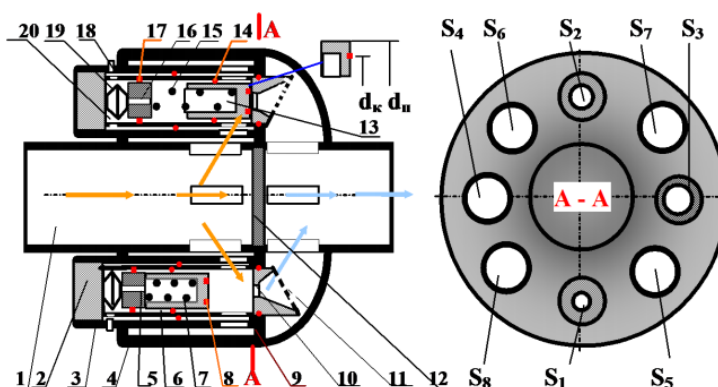


Рисунок 2 – Схема проточной части ДКД

Минимальное значение перепада давлений для страгивания поршней 0,5 МПа.

Управление запорными клапанами производится электропневмотриггерами (ЭПТ), расположенными в БПУ.

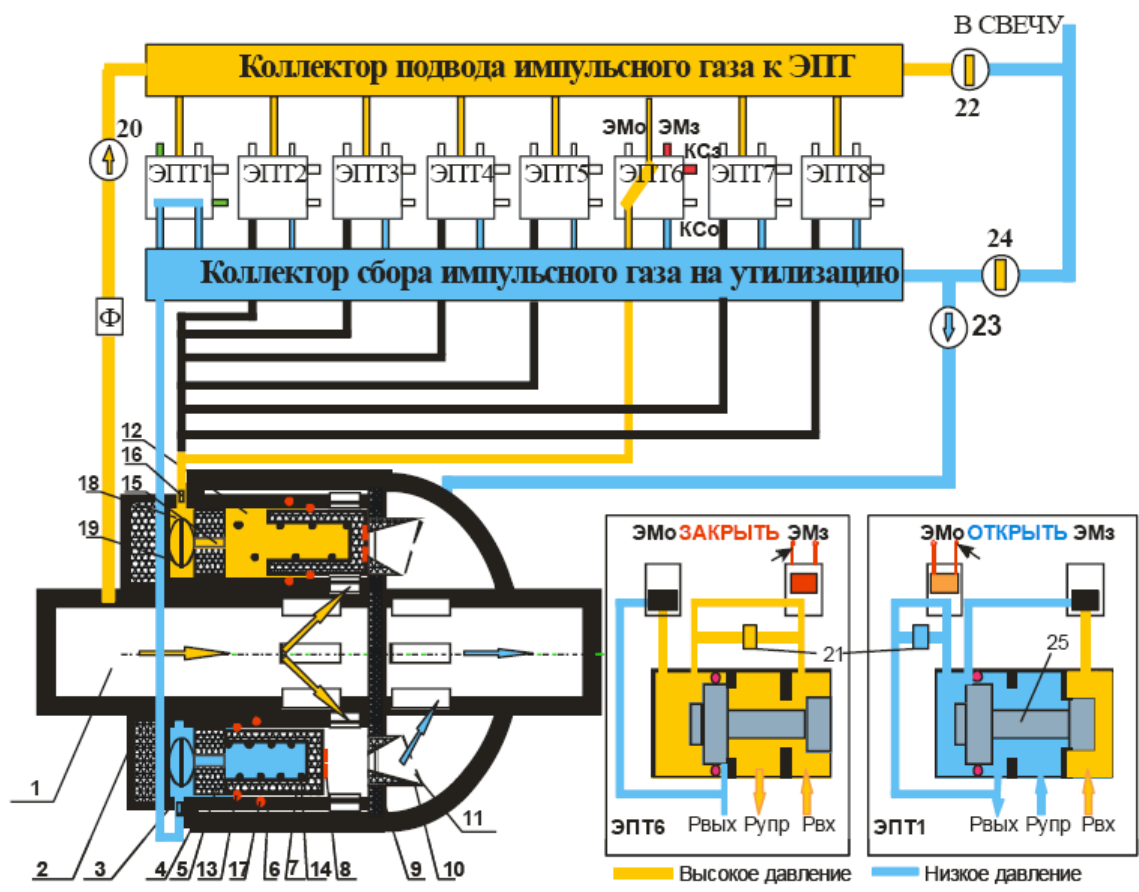


Рисунок 3 – Схема коммуникации ГКД с блоком пневмоуправления

Каждый ЭПТ - это двухпозиционный трехпроходный кран с электропневмоуправлением, вход которого связан с коллектором подвода импульсного газа (входом ГКД - Рвх), первый выход - с управляющей полостью 19 (Рупр), а второй - с коллектором утилизации газа (Рвых - выход ГКД или Свеча). ЭПТ содержит исполнительный орган (золотник 27), электромагнитные клапаны управления – ЭМо для открытия сечения, а ЭМз - для его закрытия, и соответствующие ручки ручного управления 22, а также концевые сигнализаторы КСо и КСз положения золотника 27.

Для открытия потока через расходную шайбу 10 на электромагнит ЭМо соответствующего ЭПТ подается напряжение питания и замыкается электрическая цепь. После срабатывания электромагнита полость управления соединяется с коллектором утилизации газа.

Для закрытия потока через шайбу подается напряжение на электромагнит ЭМз соответствующего ЭПТ. После срабатывания

электромагнита полость управления соединяется с коллектором подвода импульсного газа.

При "обратном" перепаде давлений на ДКД (давление на выходе выше, чем на входе) и при утилизации газа на выход ДКД все поршни 7 перемещаются вправо и сечение ДКД закрывается, т.е. он срабатывает как обратный клапан. Если же утилизация газа производится в свечу, то при обратном перепаде сечение откроется.

Система управления построена по блочно-модульному принципу и имеет в своем составе: модуль аналоговых преобразователей, посредством которых выполняется предварительная обработка сигналов датчиков и сигнализаторов положения; вычислительный модуль на базе микроконтроллера; модуль формирования сигналов силового управления; модуль блока вторичного электропитания.

Вычислительный модуль обеспечивает аналого-цифровое преобразование сигналов датчиков, формирование управляющих сигналов по заданному закону регулирования, оперативную диагностику измерительных и управляющих цепей, отображение оперативной информации на встроенном дисплее блока управления, коммуникационные функции системы внешнего управления.

Принципы работы вычислительного модуля и его рабочие характеристики определяются программным обеспечением, записанным во FLASH - память микроконтроллера.

Модуль формирования сигналов силового управления (плата силовых ключей) обеспечивает повышение уровня выходных командных сигналов до уровня, необходимого для работы электромагнитных клапанов триггеров.

### **1.9.2 Узел редуцирования малого расхода газа**

Узел построен по схеме: кран управляемый, регулятор давления РДМ, кран ручной. Регуляторы давления типа РДМ предназначены для редуцирования

газа высокого давления до заданного, автоматического поддержания выходного давления в заданных пределах независимо от изменений входного давления и расхода, автоматического отключения подачи газа при аварийном повышении выходного давления сверх заданных значений.

Технические характеристики регулятора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики

<b>Наименование показателя (характеристики), единица измерения</b>	<b>Значение</b>
Рабочая среда	Природный газ по ГОСТ 5542-87
Давление на входе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1...8 (10...80)
Давление на выходе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,3...1,2 (3...12)
Точность поддержания выходного давления %: - при расходе - в момент полного закрытия	2,5 не более 10
Пропускная способность при входном давлении 4,5 МПа, нм <sup>3</sup> /час	30000
Температура наружного воздуха °С	-40...+40
Относительная влажность, %	90
Полный срок службы	не менее 12 лет

Система работает автоматически и состоит только из регулятора давления, который настраивается вручную на определенное давление и поддерживает его на заданном уровне. Ввод в работу регулятора осуществляется подачей на него газа путем открытия кранов. Датчик давления используется в данной схеме исключительно для контроля давления на выходе регулятора и никак не участвует в управлении.

Регулятор состоит из двух независимых устройств: клапана РДМ, являющегося регулятором давления и защитного устройства ЗУ, соединенных друг с другом с помощью гайки 4. Управление регулятором осуществляется с помощью клапана управления КУМ, а задатчиком срабатывания защитного устройства служит мембранное устройство МУ.

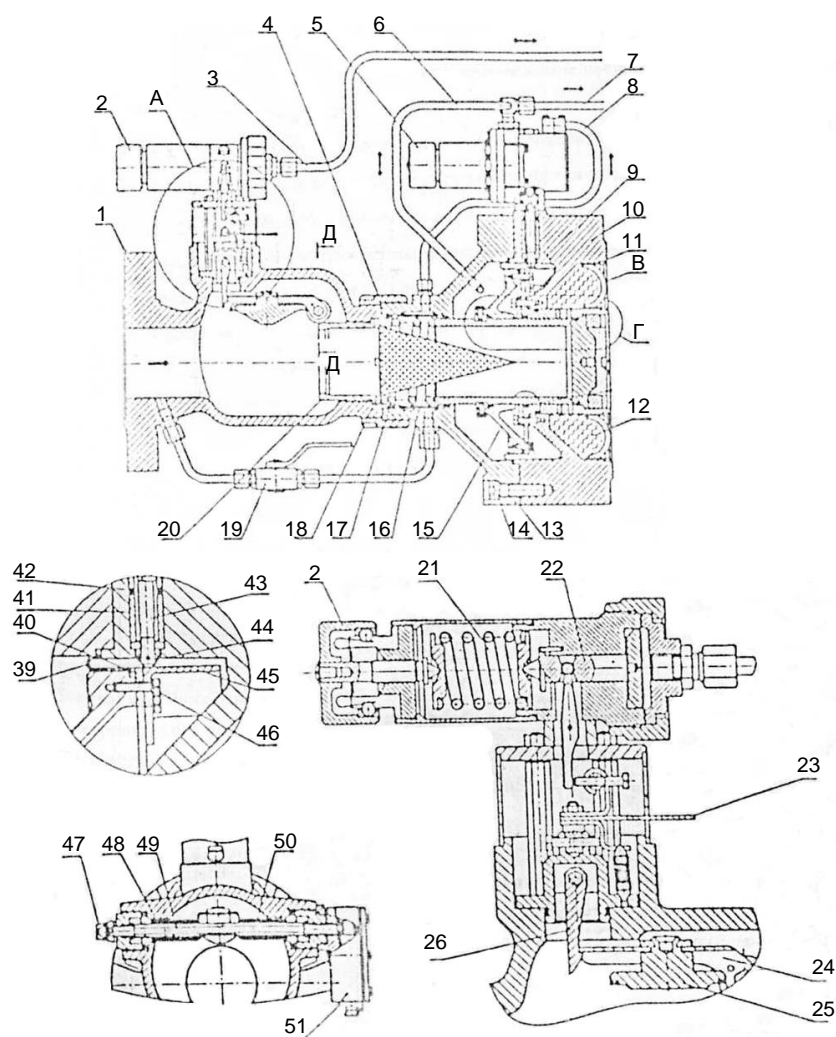


Рисунок 4 – Регулятор давления РДМ 80/200-К04

Защитное устройство работает следующим образом: импульс от выходного давления передается в подмембранную полость мембранного устройства по импульсной трубке 3. В случае повышения давления на выходе регулятора до давления, равного давлению настройки мембранного устройства, толкатель 22, преодолевая сопротивление пружины 21, перемещается влево и, через систему рычагов освобождает рычаг 24 отсечного клапана. Клапан под действием пружин перекрывает вход газа в регулятор.

Регулятор работает следующим образом: подаваемый к регулятору газ высокого давления поступает через входной патрубок корпуса и, проходя через открытые штоком в данный момент отверстия Е втулки 34, редуцируется до заданного выходного давления и через сетчатую набивку шумоглушителя поступает в выходной трубопровод.

Высокое входное давление по трубе 8 подается в штуцер 1 клапана управления и поступает в клапан 1, где дросселируется до давления, необходимого для поддержания клапана регулятора в равновесии, после чего через полую втулку 41 подается в подмембранную полость регулятора.

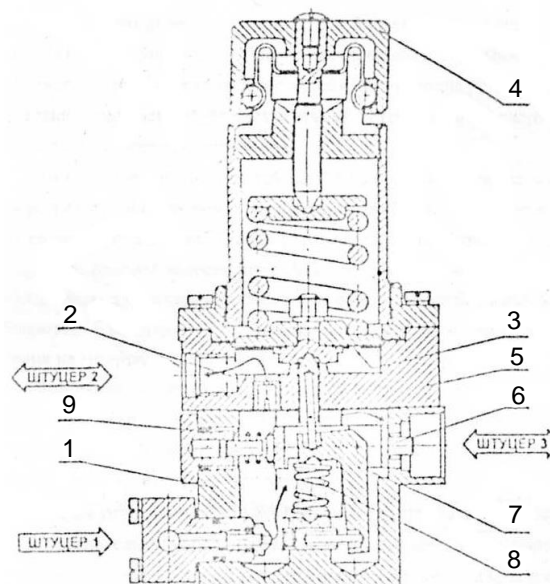


Рисунок 5 – Защитное устройство

Импульсное давление по трубке 7 подается в надмембранную полость регулятора и одновременно через штуцер 2 под мембрану клапана управления. Клапан управления имеет встроенный дроссель 2, соединяющий полости штуцеров 2 и 3, который обеспечивает постоянный расход газа через клапан 1 и импульсную трубку в выходной трубопровод, благодаря чему поддерживается необходимый перепад давления на мембране регулятора.

Изменение давления в выходном трубопроводе вызывает изменение величины открытия клапана 1, что приводит к изменению расхода газа через дроссель и перепада давления на мембране регулятора и, как следствие его прикрытие или открытие.

Клапан управления КУМ имеет устройство, осуществляющее отрицательную обратную связь по положению штока поршня регулятора. Устройство обратной связи состоит из ползуна 6, поджатого пружиной 9, на

котором размещен рычаг 7, поджатый пружиной 8. На конце ползуна имеется шток, связанный толкателем 43 через полую втулку с копиром 45 поршня клапана регулятора.

Устройство обратной связи предназначено для предотвращения автоколебаний регулятора при резком изменении расхода газа и, кроме того обеспечивает плавную диаграмму суточного расхода газа.

### **1.9.3 Узел учета газа**

Узел измерения расхода и количества природного газа предназначен для измерения, регистрации результатов измерений и расчетов объема газа, приведенного к стандартным условиям, а также при необходимости определения его показателей качества, включая компонентный состав, плотность, влажность, удельную теплоту сгорания.

Узел замера расхода газа построен по схеме: кран управляемый, струевыпрямитель, устройство сужающее быстросъемное, кран ручной.

На всех семи нитках реализован один и тот же способ измерения расхода газа, основанный на методе переменного перепада, т.е. измерительным устройством является комплект, состоящий из сужающего устройства быстросъемного и многопараметрического преобразователя типа MVS205P. Сигнал с преобразователя передается на вычислитель FloBoss-407, предназначенный для преобразования измерительных сигналов в вычисления расхода и количества измеряемой среды. Все вычислители подключены по последовательному интерфейсу RS-485, используя протокол Modbus к центральному контроллеру концентратору ROC 809. К ROC 809 так же по данному протоколу подключен газовый хроматограф M700. Структурная схема узла учета газа приведена на рисунке 6.



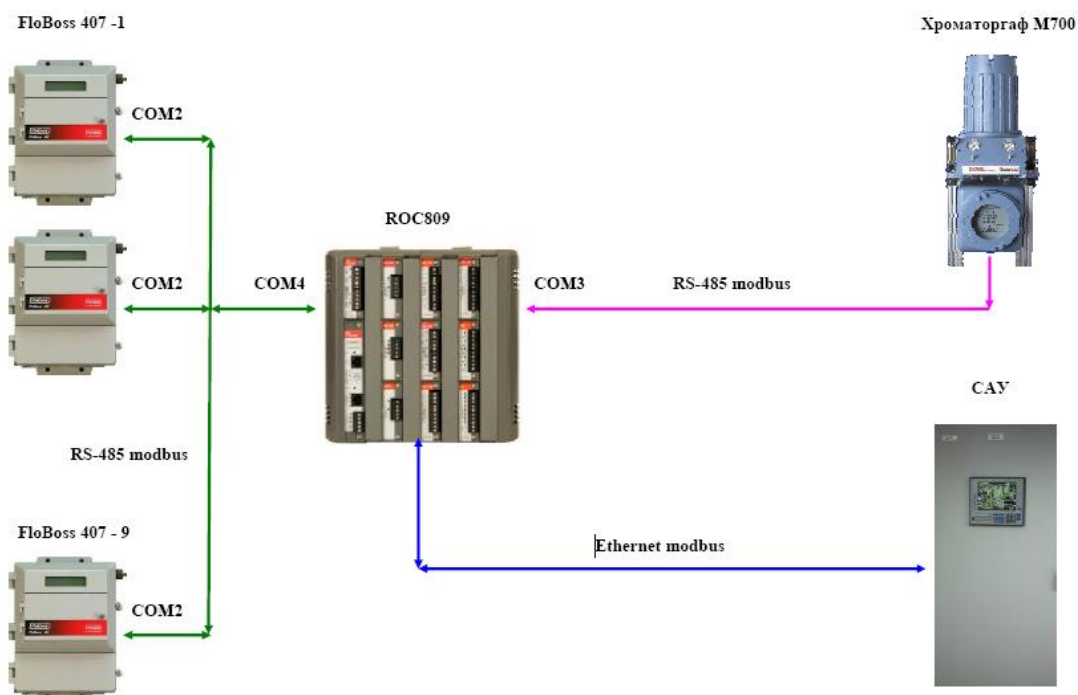


Рисунок 6 – Структурная схема узла учета газа

Контроллер ROC 809 по Ethernet, используя протокол Modbus подключен к CAУ. ROC 809 производит сбор данных о расходе газа на каждой нитке, корректировку в зависимости от состава газа (данные с хроматографа) и передает собранную информацию на CAУ.

Карта регистров протокола Modbus между ROC 809 и CAУ представлена на рисунке 7.

№	Наименование	Адрес Modbus FB407 с 1...9		Тип данных
1	Перепад давления, кПа / Нескорректированный расход тыс.м3/день (для 801 и 901)	101	901	32bit Float
2	Давление, кПа	103	903	32bit Float
3	Температура, град С	105	905	32bit Float
4	Плотность газа, кг/м3	107	907	32bit Float
5	Содержание N2, мол %	109	909	32bit Float
6	Содержание CO2, мол %	111	911	32bit Float
7	Расход Q, м3/час	113	913	32bit Float
8	Объем за текущие сутки, тыс.м3	115	915	32bit Float
9	Объем за прошедшие сутки, тыс.м3	117	917	32bit Float
10	Объем за текущий месяц, тыс.м3	119	919	32bit Float
11	Объем за прошедший месяц, тыс.м3	121	921	32bit Float
12	Объем за текущий год, тыс.м3	123	923	32bit Float
13	Объем за прошедший год, тыс.м3	125	925	32bit Float
14	Время, секунды	127	927	8bit Integer
15	Время, минуты	128	928	8bit Integer
16	Время, часы	129	929	8bit Integer
17	Время, день	130	930	8bit Integer
18	Время, месяц	131	931	8bit Integer
19	Время, год	132	932	8bit Integer

Рисунок 7 – Карта регистров протокола Modbus

Преобразователь MVS205P производит измерения рабочего давления и перепада давления, создаваемого на сужающем устройстве, а так же температуры измеряемой среды при помощи отдельного термопреобразователя сопротивления Pt100.

Электроника преобразователя переводит сигнал от переменной давления непосредственно в цифровую форму, что позволяет осуществлять точную коррекцию и компенсацию. Необработанный сигнал температуры преобразуется в цифровой формат интерфейсной платой. Микропроцессор осуществляет линеаризацию и коррекцию необработанных сигналов давления (поступающих от сенсора) с использованием данных характеристики, хранящихся в энергонезависимой памяти.

Схема интерфейса позволяет многопараметрическому сенсору соединяться и осуществлять цифровую обмен информации с контроллером FloBoss по последовательному интерфейсу EIA-485 (RS-485) с использованием протокола Modbus.

В выносном многопараметрическом сенсоре MVS эта интерфейсная печатная плата помещена во взрывозащищенную головку блока электроники.

Технические характеристики преобразователя приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики MVS205R

<b>Наименование показателя (характеристики), единица измерения</b>	<b>Значение</b>
Диапазон измерения давления, кПа	0...5516
Диапазон измерения разности давлений, кПа	0...62,2
Диапазон измерений температуры, °С	-40...400
Выходной сигнал преобразователя, В	0...20
Температура окружающей среды, °С	-40...75
Относительная влажность, %	5...95
Коммуникационный интерфейс	RS-485
Погрешность, % диапазона	+/-0,075
Уровень взрывозащиты	1ExdIIBT5

Технические характеристики сужающего устройства УСБ 200 на нитке 7 узла учета газа приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики УСБ 200

<b>Наименование показателя (характеристики), единица измерения</b>	<b>Значение</b>
Диаметр условного прохода, мм	53
Диапазон объемного расхода газа, тыс.м <sup>3</sup> /ч	1...5
Диапазон температуры, °С	-40...65
Диапазон давления, МПа	1,0...1,2
Диапазон перепада давления, кПа	0...62,2
Границы прогнозируемых изменений плотности при стандартных условиях, кг/м <sup>3</sup>	0,6942...0,7570

Технические характеристики сужающего устройства УСБ 300 на нитке 4, 5, 6 узла учета газа приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики УСБ 300

Наименование показателя (характеристики), единица измерения	Значение
Диаметр условного прохода, мм	95
Диапазон объемного расхода газа, тыс.м <sup>3</sup> /ч	10...100
Диапазон температуры, °С	-40...65
Диапазон давления, МПа	1,0...1,2
Диапазон перепада давления, кПа	0...62,2
Границы прогнозируемых изменений плотности при стандартных условиях, кг/м <sup>3</sup>	0,6942...0,7570

Вычислитель расхода Floboss-407 (рисунок 8) является микропроцессорным устройством для определения и коммерческого учета расхода газа.



Рисунок 8 – Floboss-407

Таблица 6 – Технические характеристики Floboss-407

Наименование показателя (характеристики), единица измерения	Значение
Количество одновременно подключенных датчиков расхода	4
Входное напряжение, В	11-30
Потребляемая мощность, Вт	0,8
Рабочий диапазон температур, °С	-40...75
Относительная влажность при 35 <sup>0</sup> С, %	95
Порты	E1A-232, E1A-422/485, радио модем
Протокол	Modbus
Напряжение вход/выход, В	0/1...5
Ток вход/выход, мА	0/4...20
Относительная погрешность, %	+/-0,01

Данное устройство имеет два встроенных аналоговых входа, четыре настраиваемых канала ввода/вывода в любой комбинации следующих типов: дискретные входы и выходы; аналоговые входы и выходы; импульсные входы; интерфейс HART, RS-485.

Данное устройство производит сбор информации с преобразователей о текущем значении давления, перепада давлений и температуры, вычисление расхода газа, архивирование данных и передача на контроллер ROC 809. Так же вычислитель обеспечивает возможность дистанционного мониторинга.

Основными аппаратными элементами контроллера FloBoss 407 являются две печатные платы, клавиатура и дисплей, размещенные в корпусе, который обеспечивает работу компонентов в любых погодных условиях. Одна из печатных плат называется платой процессора, другая – платой ввода/вывода.

На плате ввода/вывода имеются два встроенных канала для ввода аналоговых сигналов (Analog Input, AI). С помощью переключки на плате один из каналов может быть преобразован в канал для ввода импульсного сигнала (Pulse Input, PI). Импульсный сигнал может поступать как от устройства, имеющего независимый источник питания (счетчик со средней скоростью

счета), так и от устройства, питающегося от контроллера. Схема платы обеспечивает оптронную гальваническую развязку входного сигнала.

Кроме того, на плате ввода/вывода имеется четыре гнезда для установки модулей ввода/вывода (называемых также модульными входами/выходами). Встроенный жидкокристаллический дисплей и мембранная клавиатура обеспечивают возможность просмотра данных и конфигурационных параметров непосредственно на месте установки контроллера. С помощью клавиатуры можно также редактировать некоторые значения параметров.

Контроллер FloBoss-407 для каждой из архивных точек ведет минутный журнал архива. Минутный журнал архива содержит данные для 60 минут, предшествующих текущей минуте. Каждой архивной точке соответствует запись в минутном журнале архива.

Контроллер FloBoss-407 для каждой из архивных точек имеет до 840 часовых архивных записей. Часовой архивный журнал называется также периодическим журналом. Обычно запись в часовой журнал производится каждый час при смене часа. Контроллер FloBoss-407 для каждой из архивных точек имеет до 35 суточных архивных записей. Запись в суточный журнал производится каждый день при наступлении сконфигурированного контрактного часа, при этом отметка времени такая же, как и для часового архива. Каждой архивной точке соответствует запись в суточном журнале архива.

#### **1.9.4 Управление кранами**

Для цели управления кранами используется узел управления ЭПУУ-6.

Узел предназначен для дистанционного и местного (ручного) управления операциями по открытию и закрытию кранов. Узел применяется на объектах добычи и транспортировки газа. Имеет взрывобезопасный уровень защиты - "взрывонепроницаемая оболочка" IExdIIAT3.

Таблица 7 – Технические характеристики

Наименование показателя (характеристики), единица измерения	Значение
Давление газа питания, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,0-10,0 (10-100)
Мощность, потребляемая одним электромагнитом при нормальном напряжении входного сигнала и температуре окружающей среды (20±5) <sup>0</sup> С, Вт	20
Диаметр условного прохода клапана, мм	9
Напряжение постоянного тока управляющего сигнала, В	24
Тип выключателя	Герконовый

Узел состоит из двух герконов, двух электромагнитов, установленных во взрывонепроницаемой оболочке. В корпусе установлены два клапана. Клапаны связаны каналами, размещены в плате.

Для ручного управления потоками газа предусмотрен рычаг.

Для переключения герконов предусмотрен поводок с магнитами, соединенный с поршнем привода крана.

Принципиальная схема узла управления ЭПУУ-6 приведена на рисунке 9.

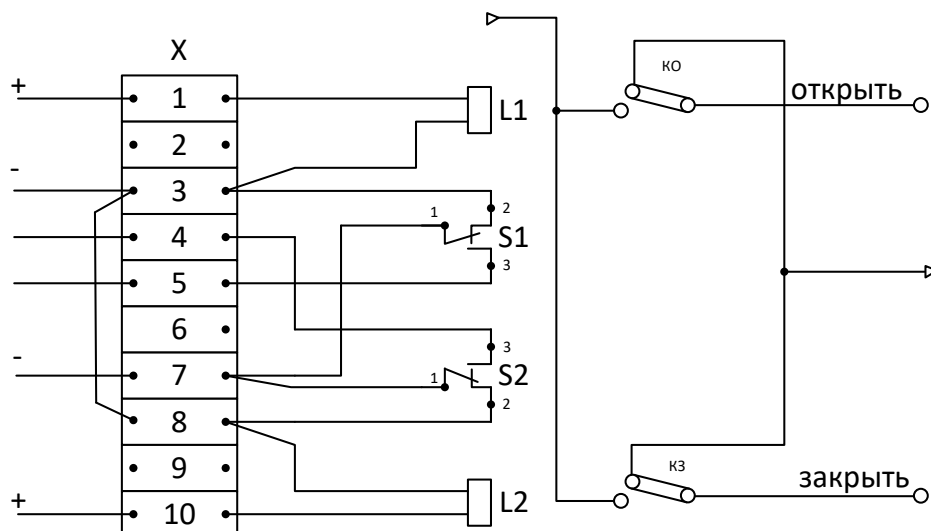


Рисунок 9 – Принципиальная электропневматическая схема узла управления ЭПУУ-6

Здесь X - блок зажимов, L1 - катушка открытия, L2 - катушка закрытия, КО - клапан открытия, КЗ - клапан закрытия, S1, S2 - герконы.

Узел работает следующим образом:

К штуцеру с маркировкой ">—" подводится газ под рабочим давлением в трубопроводе 1,0-10,0 МПа, штуцер с маркировкой " -> " служит для отвода отработанного газа.

При подаче напряжения на клеммы 1 и 6 или 6 и 10, замкнутый контакт геркона обеспечивает срабатывание соответствующего электромагнита, толкатель которого соединяет камеру питания крана с полость привода крана. Поршень привода крана, перемещаясь, увлекает закрепленный на нем поводок с магнитами, размыкает нормально замкнутый контакт, обесточивает электромагнит и полость привода соединяется с атмосферой.

Электромагнит состоит из катушки, внутри которой размещен якорь. При подаче электрического сигнала на катушку якорь втягивается и через толкатель нажимает на рычаг. В результате происходит срабатывание клапана. При снятии электрического сигнала с катушки якорь возвращается в верхнее положение.

### **1.10 Описание текущего состояния на ГРС-1 Арзамасского ЛПУ МГ**

ГРС-1 Арзамасского ЛПУ МГ ООО «Газпром Трансгаз Нижний Новгород» имеет высокий уровень автоматизации, однако в ходе преддипломной практики были замечены недостатки автоматизированной системы:

- 1) На узле учета газа фиксируются неверные показания расхода. Дело в том, что потребитель должен был стабильно расходовать газ по заранее предусмотренному плану и летом, и зимой. Но вышло так, что заказчик летом практически не потреблял газ. Из-за этого расход часто выходил за установленные нижние пределы, что приводило к неучтенному количеству газа, а, следовательно, к экономическим потерям.



- 2) На узле редуцирования газа установлен устаревший регулятор, не управляемый дистанционно. Для настройки заданного значения требуется ручная настройка по месту.

### 1.10.1 Узел учета газа

Узел учета состоит из четырех ниток. На каждой нитке имеется кран управляемый, струевыпрямитель, устройство сужающее быстросъемное, кран ручной (рисунок 10).

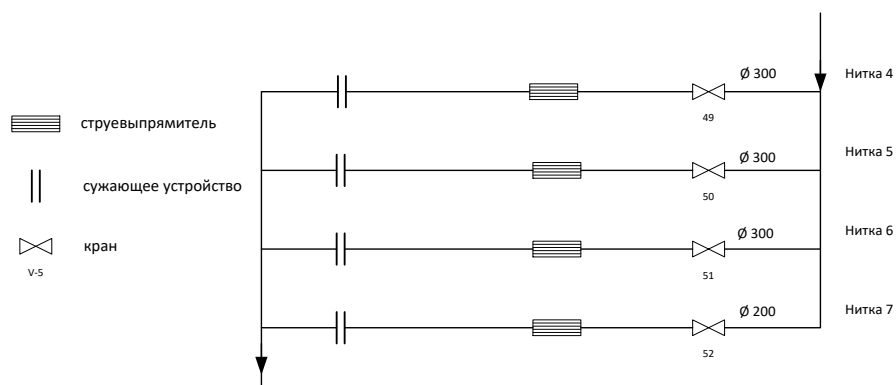


Рисунок 10 – Схема узла учета газа

Технические характеристики каждой нитки приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Расход по ниткам

Нитки "потребитель 2"	Диаметр, мм	Расход, м <sup>3</sup> /ч	
		Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>
4-я нитка	300	5100	16400
5-я нитка	300	5100	16400
6-я нитка	300	5100	16400
7-я нитка	200	1600	5100

Как можно убедиться из таблицы, узел учета газа содержит три нитки с одинаковыми характеристиками и нитку малого расхода.

При проектировании ГРС узел учета на данного потребителя рассчитывался по номинальному потреблению завода и отдельных

потребителей, подключенных к нитке. Однако на практике завод летом работал не на полную мощность, и практически не потреблял газ.

При уменьшении потребления, когда расход является сверхмалым и выходит за нижний предел, чувствительности датчика не достаточно для определения расхода. Так, при потреблении газа менее 1600 м<sup>3</sup>/ч показания недостоверны, в отдельных случаях фиксируется нулевой расход.

Все это приводит к тому, что фактический и учтенный расход сильно разнятся, отсюда экономические потери и убытки.

### **1.10.2 Узел редуцирования газа малого расхода**

На ГРС-1 для редуцирования газа и поддержания его давления на установленном уровне используется регулятор давления типа РДМ. Ввод в работу осуществляется открытием крана перед регулятором. Регулятор полностью механический, не имеет никаких электронных схем и плат, с САУ и SCADA не соединен. Это приводит к возникновению проблемы дистанционной настройки данного регулятора.

Настройка производится вручную путем изменения степени сжатия пружины системы управления регулятора, за счет подстройки регулировочного винта. Для определения правильности настройки регулятора используется показывающий манометр. Датчик давления используется только для контроля выходного давления, передает информацию о давлении на АРМ оператора и никак не участвует в процессе управления. Очевидно, что такой регулятор не соответствует существующему уровню автоматизации станции, включающему в себя современную САУ и прочие исполнительные устройства и устройства измерения, а длительность и проблематичность настройки делает его неприемлемым и недопустимым для работы в условиях предприятия нефтегазового комплекса.

## **2 Разработка решений по модернизации САУ ГРС**

### **2.1 Обзор систем автоматизированного управления ГРС**

В современной нефтегазовой отрасли большое внимание уделяется автоматизации производства, в том числе автоматизации газораспределительных станций. Результатом такого подхода является экономическая эффективность от автоматизации. Предприятия используют точно настроенные автоматы для более быстрого и качественного выполнения задач. Это позволяет свести к минимуму количество людей в технологическом процессе и достигнуть точности, которая не свойственна человеку, полностью возлагая контроль на систему автоматизированного управления.

Обозревая системы автоматизированного управления газораспределительной станцией, можно прийти к выводу, что несомненными лидерами на российском рынке являются САУ ГРС «Газавтоматика» и «Калининградгазприборавтоматика», которые осуществляют разработку и внедрение САУ.

САУ ГРС – система автоматизированного контроля технологических параметров, защиты системы управления ГРС и управления оборудованием, обеспечивающим подачу газа потребителям.

Функции САУ ГРС можно разделить на три типа:

- 1) информационные (сбор данных от датчиков, сбор информации о режимах работы, состоянии оборудования, формирование сигнализации об аварийных ситуациях, интеграция с вычислителями расхода)
- 2) управляющие (дистанционное управление запорной арматурой с АРМ оператора, реализация алгоритмов управления исполнительными механизмами, автоматическое управление по защитам)

3) диагностирования (контроль исправности исполнительных механизмов по обратной связи, контроль целостности цепей аналоговых датчиков, контроль работоспособности локальной сети)

Для обмена со смежными и вышестоящими системами используются протоколы Modbus RTU или Open Modbus на основе TCP/IP.

САУ ГРС может сопрягаться с вычислителями различных расходомерных комплексов: Floboss, SuperFlow, GVC-2010, Текон-10, СПГ-761.

Контролируемые параметры:

- температура и давление газа на входе и выходе ГРС
- давление газа в линиях редуцирования
- учет расхода газа, подаваемого потребителю
- температура газа после подогревателя
- загазованность помещений
- уровень конденсата в пылеуловителях
- положение всех кранов.

Состав САУ ГРС:

Основные составляющие одинаковы для всех САУ ГРС, это контроллер, организующий работу всех модулей, источники питания, платы управления кранами, реле управления, дискретные и аналоговые платы.

Аналоговые модули предназначены для преобразования сигналов от датчиков, гальванической развязки и нормирование сигналов датчиков.

Дискретные платы – входные и выходные. Платы входных дискретных сигналов преобразуют входные сигналы и отправляют их на контроллер. Платы

выходных дискретных сигналов получают сигналы с контроллера и подают их на реле управления световой и звуковой индикацией.

Платы управления кранами предназначены для подачи команд от контроллера на закрытие/открытие кранов.

Источник питания преобразует сетевое напряжение 220 В в напряжение 24 В постоянного тока.

Во избежание аварийных ситуаций предусмотрен набор алгоритмов защит САУ ГРС, запрограммированных в контроллер:

- алгоритмы включения вентиляции
- алгоритмы защиты при повышении/понижении давления на узле редуцирования
- алгоритмы останова ГРС и подогревателя газа.

## **2.2 Модернизация системы учета газа**

### **2.2.1 Цели и задачи**

Целью модернизации на узле учета является устранение проблемы получения некорректных данных о расходе газа.

Необходимо выполнить следующую задачу: расширение динамического диапазона измерения расхода на нитке малого расхода узла учета. Для этой задачи потребуется проанализировать ряд подходов и выбрать наиболее целесообразный и экономически обоснованный.

### **2.2.2 Требования к системе учета**

Главным требованием к системе учета является диапазон измерения расхода газа.

В ходе анализа архивных данных по расходу за 2016 год для нитки малого расхода были установлены предельные значения расхода, занесенные в таблицу 9.

Так же была установлена рабочая скорость потока, требования к точности измерения. Все требования к системе учета приведены в таблице.

Таблица 9 – Технические характеристики

Характеристики	Значение
Диапазон рабочего давления, кгс/см <sup>2</sup>	0...6
Диапазон измерения расхода, м <sup>3</sup> /ч	0...5100
Диаметр трубопровода, мм	200
Температура окружающей среды, °С	-40...50

### 2.2.3 Анализ методов измерения расхода

На данный момент на всех нитках измерение расхода газа производится по принципу переменного перепада.

В результате изучения способов коммерческого учета газа можно выделить следующие методы:

1) Установка ультразвукового расходомера;

Существует большое многообразие приборов для измерения расхода. Однако наиболее эффективно данная задача решается с использованием ультразвуковых расходомеров, т. к., во-первых, не нарушается целостность трубопровода (при использовании накладных датчиков), а во-вторых, в газовый поток не вносится никакое препятствие.

В настоящее время наибольшее распространение получили ультразвуковые расходомеры двух типов:

- расходомеры, в которых используется тот факт, что скорость распространения ультразвуковой волны  $C$  в движущейся среде является векторной суммой, зависящей от скорости потока;

- расходомеры, основанные на эффекте Доплера, имеющем место при отражении ультразвуковой волны от некоторого отражателя или группы отражателей, движущихся в потоке жидкости.

В расходомерах, относящихся к первой группе, отклонения величины  $C$  определяются путем косвенных измерений следующих величин: разности времен  $\Delta t$  (временнй импульсный метод) прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против него;

Ультразвуковой временнй импульсный расходомер включает в себя два электроакустических преобразователя (ЭП), монтируемых с внешней стороны трубопровода по Z-схеме или V-схеме, и электронный блок, выполненный на базе микропроцессора.

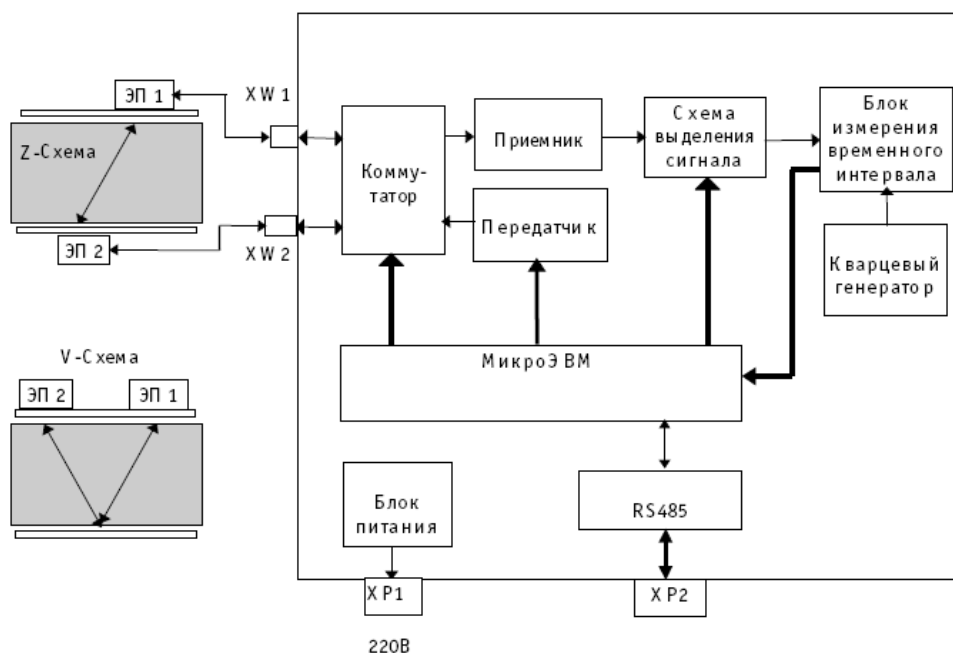


Рисунок 11 – Структурная схема ультразвукового расходомера

Цикл измерения, инициируемый микроЭВМ, начинается с выбора одного из направлений излучения ультразвукового импульса (например, по потоку), что достигается установкой коммутатора прием-передача в соответствующее положение. При этом ЭП2 излучает сигнал, а ЭП1 принимает его. Принятый сигнал через коммутатор поступает на схему выделения полезного сигнала, где усиливается и фильтруется от помех. Здесь же

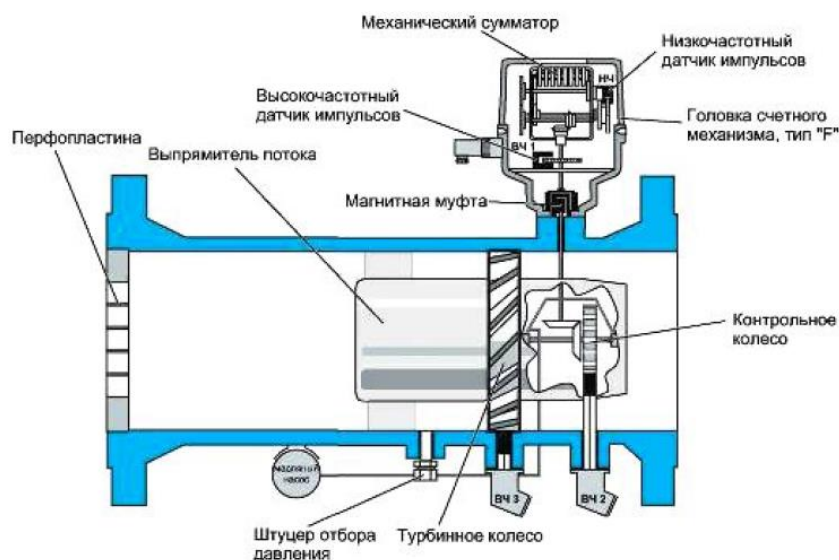
принимается решение о наличии или отсутствии сигнала, что позволяет избежать ошибочных измерений при пропадании ультразвуковых колебаний, например при опустошении трубопровода. Определение времени распространения сигнала осуществляется в блоке измерения временных интервалов, с выхода которого оценка поступает в микроЭВМ. Далее по команде микроЭВМ направление излучения меняется на противоположное и повторяется описанная процедура измерения времени распространения сигнала теперь уже против потока.

На этом цикл измерения завершается, и микроЭВМ осуществляет расчет текущего значения расхода в соответствии с выражением.

Преимуществом таких расходомеров является широкий динамический диапазон 100:1, обеспечивают измерение расхода газа без существенных потерь давления. На данный момент такие расходомеры нашли широкое применение на предприятиях нефтегазового комплекса и хорошо зарекомендовали себя, как надежные и точные устройства. Однако, точность таких расходомеров зависит от скорости газового потока. Так же они имеют серьезные требования по характеру потока газа. Самым существенным ограничением по использованию таких расходомеров является высокая стоимость (5-6 млн.руб).

## 2) Установка турбинного расходомера;

Турбинные расходомеры предназначены для измерения объема газа прошедшего через них при рабочих условиях в единицах объема.





## Рисунок 12 – Турбинный расходомер

Поток газа вращает крыльчатку турбины, угловая скорость которой линейно зависит от расхода газа. Вращение турбины через магнитную муфту передается на отсчетное устройство, которое суммирует число оборотов турбины и показывает количество прошедшего газа.

Преимуществом расходомера являются малые габариты и вес, относительно невысокая стоимость, относительно низкая чувствительность к пневмоударам, значительный диапазон измерения расхода (20:1), стабильность коэффициента преобразования.

К недостаткам можно отнести чувствительность к искажениям потока на входе и выходе расходомера, неработоспособность при малых расходах, повышенная погрешность при измерении пульсирующих потоков измеряемой среды.

Так же существенным недостатком такого расходомера является высокая чувствительность к запыленности газа, в результате чего возможен преждевременный отказ расходомера.

По монтажу данный расходомер требует врезки в технологический трубопровод.

### 3) Установка ротационного расходомера;

Широкое распространение в практике трубопроводного транспорта нефти и газа при небольшой производительности имеют ротационные расходомеры. В них поток транспортируемой среды разделяется на порции при помощи механического способа. Разделение на порции осуществляется при помощи эксцентрично укрепленных вращающихся лопастей или шестерен, движимых ротором. В процессе движения в определенные моменты времени образуются измерительные камеры, размер которых выведен с высокой степенью точности. Количество порций в единицу времени, пропущенных через камеры, определяется частотой вращения ротора. Недостатком такого

расходомера является высокая чувствительность к запыленности газа, в результате чего возможен преждевременный отказ расходомера.

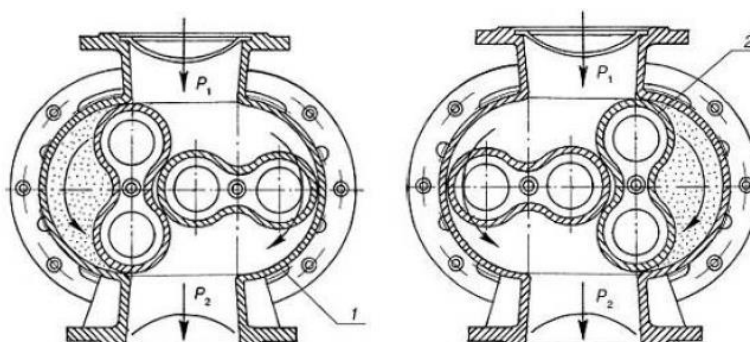


Рисунок 13 – Принципиальная схема работы ротационного расходомера

За один оборот роторов (2), расположенных в корпусе (1) вытесняется четыре заштрихованных объема. В процессе работы измерительная камера, образованная пространством между ротором и корпусом, периодически наполняется газом и опорожняется. Вращение роторов через коробку передач редуцируется и через магнитную муфту передается на электронный блок.

Данный расходомер имеет достаточный динамический диапазон. Недостатком такого расходомера является высокая чувствительность к запыленности газа (даже по сравнению с турбинным расходомером), в результате чего возможен преждевременный отказ расходомера.

Ввиду малого диапазона измерения расхода, монтаж требует внесение дополнительной байпасной линии (линии отвода) с нитки малого расхода. Это позволит при низком расходе переходить на ротационный расходомер, при увеличении расхода - на сужающее устройство. Таким образом, помимо стоимости расходомера появится необходимость закупки и монтажа дополнительных труб и запорной арматуры.

Следует отметить, что Арзамасское ЛПУМГ получает газ с недопустимо высоким содержанием пыли, что не позволяет использовать данный расходомер.

Проанализировав вышеперечисленные методы, можно прийти к выводу, что все они имеют свои недостатки, которые не позволяют устанавливать данные расходомеры. Поэтому для решения поставленной задачи предлагается использование фильтра Калмана.

На нитке малого расхода расход снижается до предельно низкого уровня, зачастую выпадая за пределы измерения. Так при потреблении газа менее 1600 м<sup>3</sup>/ч показания недостоверны, в отдельных случаях фиксируется нулевой расход. Поэтому имея некорректные показания вычислителя о расходе газа, мы можем использовать фильтр Калмана для обработки данных и получения истинной характеристики изменения расхода.

#### **2.2.4 Расширение диапазона измерения расхода газа с помощью фильтра Калмана**

Так как в процессе поставки газа потребление может изменяться из-за климатических и рабочих условий, то перед владельцами газораспределительной станции встает задача расширения динамического диапазона измерителя расхода газа на ГРС.

При уменьшении потребления газа, когда расход достигает нижнего предельного значения, чувствительности датчика бывает недостаточно для правильного определения давления газа. Это приводит к неучтенному количеству газа, и, следовательно, к экономическим потерям. Поэтому из-за снижения точности измерения, а также для фильтрация шумовых составляющих измерения ставится и решается задача использовать фильтр Калмана для оценки технологических показаний расхода.

Фильтр Калмана - это эффективный рекурсивный фильтр, который оценивает состояние динамической системы по серии неточных измерений [2].

Он использует известную математическую модель динамики объекта. Математическая модель описывает, какие изменения состояния объекта возможны во время эксплуатации.

Фильтр Калмана использует информацию о погрешности измерений и о том, каким правилам подчиняется динамическая система, для минимизации погрешности измерений и предоставления максимально точной информации о состоянии системы.

Рассмотрим математическую модель узла учета. Объектом управления является участок трубопровода от точки измерения давления до коллектора сети потребителя. Длина этого участка достигает порядка 100 метров. Динамика объекта управления  $W(p)$ , выраженная передаточной функцией, может быть описана двойным апериодическим звеном:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{(Tp+1)(Tp+1)}, \quad (1)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad (2)$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q}, \quad (3)$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \quad (4)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

где  $Q = 5500 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$  – измеряемый расход,

$\gamma = 0,72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – удельный вес газа;

$L = 100 \text{ м}$  – длина участка трубопровода;

$d = 200 \text{ мм}$  – диаметр трубы;

$f$  – площадь сечения трубы;

$\Delta p = 0,0125 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$  – перепад давления на трубопроводе;

$\tau_0$  – запаздывание;

$T$  – постоянная времени.

Подстановка исходных данных в приведенные выше формулы позволяет рассчитать параметры передаточной функции.

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,031 \text{ м}^2,$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}} = \frac{1,528}{0,031} \cdot \sqrt{\frac{0,72}{2 \cdot 0,0125 \cdot 0,098 \cdot 10^6}} = 0,838,$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 0,031 \cdot 0,838^2}{1,528} = 2,849 \text{ с},$$

$$W(p) = \frac{1}{(Tp+1)(Tp+1)} = \frac{1}{(2,849p+1)(2,849p+1)}.$$

По передаточной функции построим структурную схему объекта управления. Поскольку передаточная функция – это отношение выходного сигнала к входному сигналу системы, имеем:

$$W(p) = \frac{1}{(2,849p+1)(2,849p+1)} = \frac{y(t)}{u(t)},$$

$$W(s) = \frac{1}{8,12s^2 + 5,69s + 1} = \frac{y(t)}{u(t)},$$

$$u(t) = 8,12s^2 \cdot y(t) + 5,69s \cdot y(t) + y(t),$$

$$s^2 = -0,7s - 0,12 + 0,12 \frac{u(t)}{y(t)}.$$

Далее по проведенным расчетам строим структурную схему объекта управления (рис. 14) и получим переходную характеристику системы (рис. 15):

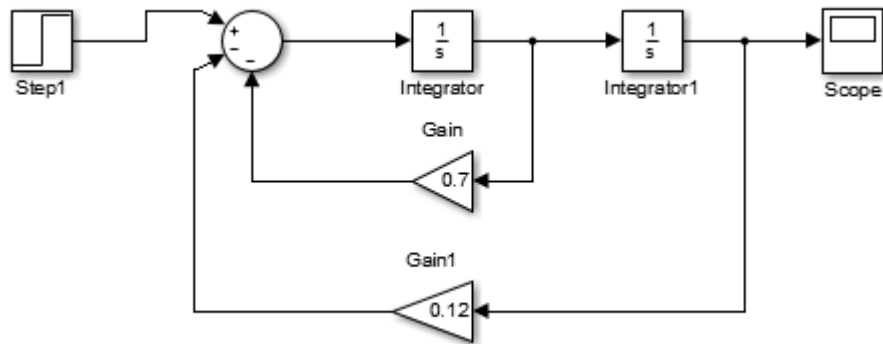


Рисунок 14 – Структурная схема объекта управления

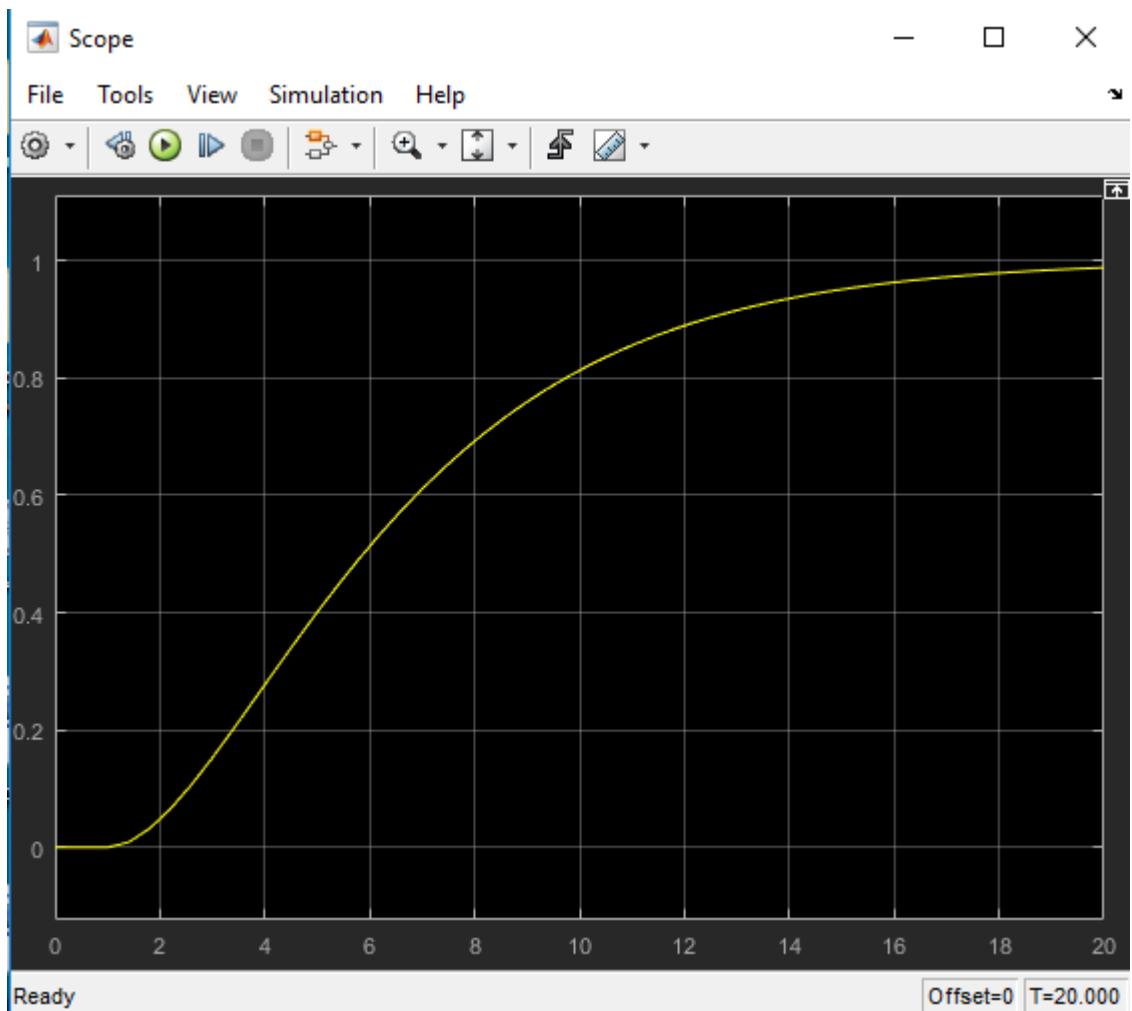


Рисунок 15 – Переходная характеристика объекта управления

Синтезируем стационарный оптимальный наблюдатель для задачи оптимального наблюдения при некоррелированных шуме, возмущающем состояние, и шуме наблюдения, для динамического объекта второго порядка:

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + g(t)$$

Наблюдаемая переменная определяется выражением:

$$y(t) = Cx(t) + p(t)$$

Рассчитаем оптимальный наблюдатель для нашего объекта управления [2].

Для этого решим алгебраическое уравнение Риккати:

$$0 = A \cdot Q + Q \cdot A^T + V_1 - Q \cdot C^T \cdot V_2^{-1} \cdot C \cdot Q \quad (6)$$

$$-\frac{1}{V_2} Q^2 - 2 \cdot a \cdot Q + V_1^2 = 0 \quad (7)$$

Здесь  $V_1$  – интенсивность шума  $g(t)$ , возмущающего состояние,  $V_2$  – интенсивность шума измерений  $p(t)$ .

Приняв значения  $a = 0,7$ ;  $V_1 = 1,2$ ;  $V_2 = 0,8$ , получим:

$$\bar{Q}_{1,2} = [-a \pm \sqrt{a^2 + V_1^2 / V_2}] \cdot V_2 \quad (8)$$

$$Q_1 = (-a + \sqrt{a^2 + \frac{V_1^2}{V_2}}) \cdot V_2 = (-0,7 + \sqrt{0,49 + \frac{1,2^2}{0,8}}) \cdot 0,8 = 0,65$$

$$Q_2 = (-a - \sqrt{a^2 + \frac{V_1^2}{V_2}}) \cdot V_2 = (-0,7 - \sqrt{0,49 + \frac{1,2^2}{0,8}}) \cdot 0,8 = -1,77$$

Отсюда следуют два варианта для установившегося коэффициента усиления наблюдателя:

$$\bar{K}_1 = \bar{Q}_1 \cdot C^T \cdot V_2^{-1}, \quad (9)$$

$$\bar{K}_2 = \bar{Q}_2 \cdot C^T \cdot V_2^{-1} \quad (10)$$

$$K_1 = 0,65 \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,8} = 0,81,$$

$$K_2 = -1,77 \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,8} = -2,21.$$

Учитывая, что  $\bar{K} \geq 0$ , примем коэффициент усиления наблюдателя, равный 0,81.

Шум, который присутствует в трубопроводе, появляется из-за неравномерности потребления газа клиентами, в результате которого давление газа в трубе резко изменяется. Также шум появляется из-за изменения направления потока газа вследствие появления загрязнений и примесей в трубе.

В данной работе учитываются два вида шума: шум, возмущающий состояние объекта, и шум измерений. Оба шума отображены на структурной схеме объекта управления с наблюдателем, собранной в Matlab Simulink (рис. 16):



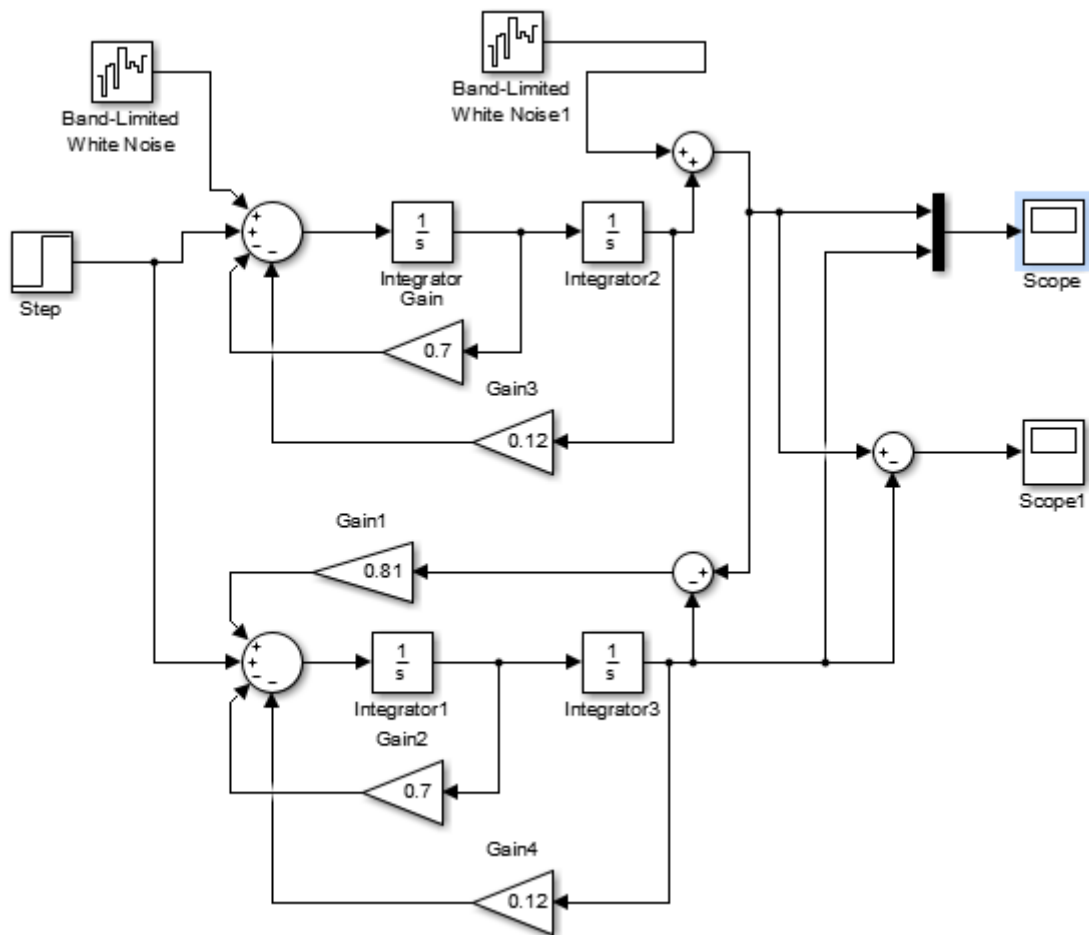
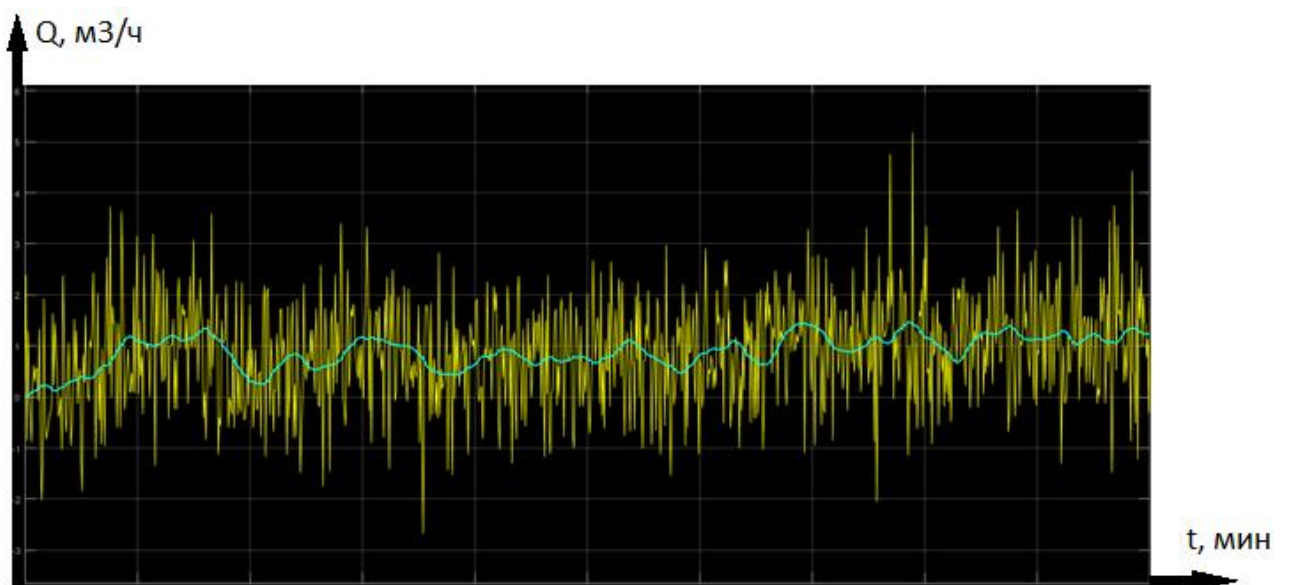


Рисунок 16 – Структурная схема объекта управления и наблюдателя

Проведем моделирование системы и получим график зашумленного и отфильтрованного показаний расхода за время 1 час (3600 сек.):



## Рисунок 17 – Показания зашумленного и отфильтрованного расхода

По данному графику можно сделать вывод, что имея искаженные показания расхода (желтый цвет), фильтр Калмана снижает влияние шума расхода газа на узле учета, а также по некорректным показаниям расхода показывает оценку технологических значений потребления газа на узле учета ГРС. Тем самым, фильтр Калмана расширяет диапазон измерения расхода и предотвращает экономические убытки от неучтенного количества газа.

Фильтрацию по Калману нужно настроить в том случае, когда значение расхода достигнет предельного уровня на нитке малого расхода (1600 м<sup>3</sup>/ч). В контроллер записывается программа на соответствующем языке, и контроллер использует фильтрацию значений расхода, полученных от вычислителя.

### **2.2.5 Разработка функциональной схемы автоматизации узла учета газа**

Функциональная схема автоматизации узла учета газа, поставляемого на потребителя, выполнена в соответствии с ГОСТ и приведена в альбоме схем ФЮРА.425280.001.АТХ.01.

## **2.3 Модернизация узла редуцирования газа малого расхода**

### **2.3.1 Цели, задачи и ожидаемый результат**

Целью модернизации узла редуцирования является создание эффективной системы регулирования давления газа, обеспечивающей возможность дистанционной настройки регулятора, установки пороговых значений с пульта оператора.

Реализация данной цели предполагает выполнение следующих задач:

1. Выбор средств измерения.
2. Выбор исполнительных механизмов и силовой части.
3. Расчет параметров регулятора с учетом требований.

### 2.3.2 Требования к системе

Все требования к системе приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики

Наименование показателя (характеристики), единица измерения	Значение
Рабочая среда	Природный газ по ГОСТ 5542-87
Давление на входе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1...4,5 (10...45)
Давление на выходе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,3...1,2 (3...12)
Пропускная способность при входном давлении 4,5 МПа, нм <sup>3</sup> /час	30000
Температура наружного воздуха °С	-40...+40
Диаметр трубопровода, мм	80

### 2.3.3 Разработка функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации узла редуцирования газа малого расхода выполнена в соответствии с ГОСТ и приведена в альбоме схем ФЮРА.425280.001.АТХ.03.

### 2.3.4 Выбор средств измерения

Измерение давления производится после регулирующего клапана для обеспечения подачи газа при стабильном давлении 0,6 МПа. Для измерения давления после клапана подходят датчики Метран 100, Метран 150 и датчики фирмы Honeywell. Датчики Метран серии 100 сильно устарели и их использование нецелесообразно для целей контроля состояния технологического процесса. Датчики Honeywell являются передовыми и обладают хорошими техническими характеристиками, однако их недостатком является высокая цена по сравнению с датчиками Метран. Таким образом, были выбраны интеллектуальные датчики Метран 150, не уступающие

датчикам Honeywell и имеющие значительно меньшую цену, что делает их экономически более целесообразными к использованию.

Интеллектуальные датчики давления серии Метран 150 предназначены для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART входных измеряемых величин: избыточного давления, абсолютного давления, разности давлений, давления-разрежения, гидростатического давления (уровня).

Датчик состоит из сенсорного модуля и электронного преобразователя. Сенсор состоит из измерительного блока и платы аналогоцифрового преобразователя (АЦП). Давление подается в камеру измерительного блока, преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сигнала.

Учитывая диапазон измерения давления газа на выходе из агрегата (6 кгс/см<sup>2</sup>) целесообразно использование датчика избыточного давления Метран 150 CG4. Технические характеристики представлены в таблице 11.

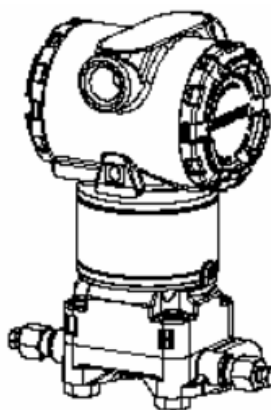


Рисунок 18 – Метран 150CG4

Таблица 11 – Технические характеристики Метран 150CG4

Техническая характеристика	Значение
Измеряемые среды	Жидкость, газ, пар
Верхний предел измерения, $P_{\max}$ , кПа	1600
Диаметр условного прохода трубопровода, Ду, мм	80
Основная относительная погрешность измерений расхода %, не более	$\pm 0,05$
Температура окружающего воздуха, °С	-55...80
Выходной сигнал	4...20 мА/HART
Расстояние передачи токового сигнала	до 1 км
Физические интерфейсы связи с компьютерной средой	HART
Протоколы связи с компьютерной средой	HART
Взрывозащищенное исполнение	Есть
Средний срок службы расходомера	12 лет
Средняя наработка на отказ	150000 часов
Межповерочный интервал	4 года

Рекомендуется применять для монтажа кабели контрольные с резиновой изоляцией, кабели для сигнализации и блокировки с полиэтиленовой изоляцией (кроме монтажа датчиков взрывозащищенного исполнения с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» во взрывоопасных зонах всех классов). Допускается применение других кабелей с сечением жилы не более  $1,5 \text{ мм}^2$  [11].

Монтаж датчика приведен на рисунке 19.

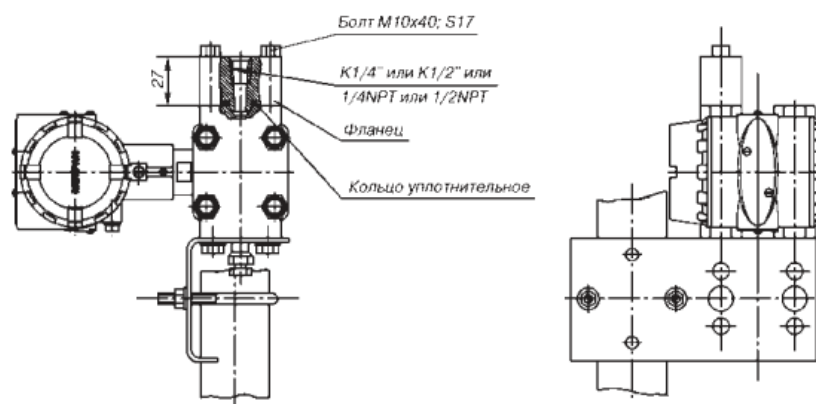


Рисунок 19 – Датчики мод.150CG с установленным монтажным фланцем с резьбовым отверстием и монтажным кронштейном для установки на трубе Ø80 мм

Допускается совместная прокладка в одном кабеле цепей питания датчика и выходного сигнала с использованием изолированных жил с сопротивлением изоляции не менее 50 МОм. Экранировка цепей выходного сигнала от цепей питания не требуется. При прокладке линии связи вблизи электроустановок мощностью более 0,5 кВт рекомендуется применение экранированного кабеля с изолирующей оболочкой.

### 2.3.5 Нормирование погрешности канала измерения

Нормирование погрешности канала измерения выполняется в соответствии с РМГ 62-2003 «Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации ВНИИМС Госстандарта».

При разработке проекта необходимо обосновать погрешность измерения. Для этого рекомендуется использовать методику оценивания погрешности измерительных каналов автоматизированных систем управления технологическими процессами расчетным способом.

В качестве канала измерения выбираем канал измерения давления. Требование к погрешности канала измерения не более 1 % [27].

Расчет допустимой погрешности измерения манометра осуществляется по формуле:

$$\delta_1 \leq \sqrt{1 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2)}, \quad (11)$$

где  $\delta = 1\%$  – требуемая суммарная погрешность измерения канала измерений при доверительной вероятности 0,95;

$\delta_2$  – погрешность передачи по каналу измерений;

$\delta_3$  – погрешность, вносимая АЦП, разрядность АЦП составляет 16 разрядов,

$\delta_4, \delta_5, \delta_6$  – дополнительные погрешности, вносимые соответственно окружающей температурой, температурой измеряемой среды, электропроводностью измеряемой среды [27].

Погрешность, вносимая АЦП, рассчитывается следующим образом:

$$\delta_3 = \frac{1 \cdot 100}{2^{16}} = 0,00153\% . \quad (12)$$

Погрешность передачи по каналу измерений устанавливается рекомендациями:

$$\delta_2 = \frac{1 \cdot 13}{100} = 0,13\% . \quad (13)$$

Дополнительная погрешность, вызванная температурой окружающего воздуха, устанавливается согласно рекомендации:

$$\delta_4 = \frac{1 \cdot 34}{100} = 0,34\% . \quad (14)$$

Следовательно, допускаемая основная погрешность датчика давления должна не превышать

$$\delta_1 \leq \sqrt{1 - (0,13^2 + 0,00153^2 + 0,34^2)} = 0,93 .$$

В результате убедились, что основная погрешность выбранного датчика давления не превышает допустимой расчетной погрешности. Следовательно, прибор пригоден для использования.

### **2.3.6 Выбор исполнительного механизма**

Исполнительным устройством называется устройство в системе управления, непосредственно реализующее управляющее воздействие со

стороны регулятора на объект управления путем механического перемещения регулирующего органа.

Регулирующее воздействие от исполнительного устройства должно изменять процесс в требуемом направлении для достижения поставленной задачи – стабилизации регулируемой величины.

В качестве способа регулирования давления будем использовать метод дросселирования [1].

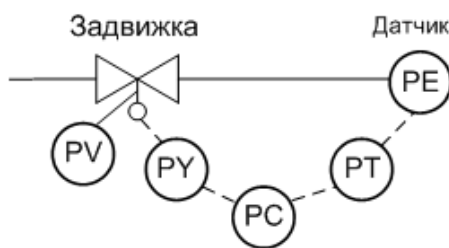


Рисунок 20 – Управление давлением посредством дросселирования

Здесь PE-PT-PC-PY – контур регулирования давления.

Для быстрого и плавного изменения величины давления в настоящее время наибольшее распространение получил метод дросселирования потока. Дросселирующим устройством может служить задвижка (кран, вентиль) или специальная шайба. Применяются также дроссельные втулки.

Использование шиберной задвижки возможно для целей регулирования давления, однако данный регулирующий орган обладает рядом существенных недостатков: большую строительную высоту, значительное время открытия и закрытия, изнашивание уплотнительных поверхностей в корпусе и в затворе, сложность их ремонта в процессе эксплуатации.

Таким образом, выбран конструкционный тип клапана – клеточно-плунжерный регулирующий типа КМР.

В качестве исполнительного устройства выбран регулирующий клеточно-плунжерный клапан типа КМР.





Рисунок 21 – Регулирующий клапан КМР

Условные обозначения клапана при заказе:

1. Тип клапана (КМР, КМРО, КМО);
2. Условное давление  $P_u$  ("1" - 1,6 МПа, "2" - 2,5 МПа; "3" - 4,0 МПа; "4" - 6,3 МПа; "5" - 10 МПа; "6" - 16 МПа);
3. Тип корпуса ("0" - прямой проходной, "1" - угловой);
4. Температура регулируемой среды ("1" - от -40/-60 до +225 °С; "2" - от -40/-60 до +450 °С);
5. Материал корпуса ("С" - сталь углеродистая; "НЖ" - сталь 12Х18Н10Т; "М" - сталь 10Х17Н13М2Т; "Т" - сплавы титана);
6. Условный проход Ду;
7. Пропускная характеристика ("Л" - линейная, "Р" - равнопроцентная, "С" - специальная);
8. Исходное положение клапана ("НО" - нормально открытое, "НЗ" - нормально закрытое);
9. Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 (У - от -40 до +70 °С; УХЛ1 - от -50 до +70 °С; УХЛ2 - от -60 до +70 °С);
10. Если в шифр-коде не указаны требования к температуре окружающей среды, то клапан изготавливается в исполнении от -40 до +70 °С.

Таким образом, выбранный клапан будет иметь следующее обозначение:

КМР 401 НЖ 80 Л НО.

Таблица 12 – Технические характеристики КМР

Техническая характеристика	Значение
Условное давление $P_u$ , МПа	6,3
Условный проход $D_u$ , мм	80
Пропускная характеристика	Линейная
Пропускная способность при входном давлении 4,5 МПа, $m^3 / ч$	5500
Температура регулируемой среды, °С	-40...+ 225
Температура окружающей среды, °С	-40...+ 70
Исходное положение плунжера клапана	Нормально открытое
Присоединение к трубопроводу	Фланцевое
Материалы корпуса	Углеродистые низкотемпературные стали 12Х18Н10Т
Материалы дроссельной пары	12Х18Н10Т

### 3 Разработка математической модели технологического процесса редуцирования газа

При редуцировании газа необходимо, чтобы газ, поставляемый потребителю, имел заданное давление, превышение которого может явиться причиной аварии. Поэтому в качестве регулируемого параметра технологического процесса выбираем давление газа после клапана.

Определим передаточные функции основных элементов структурной схемы регулирования.

#### 3.1 Расчет параметров объекта регулирования

Объектом управления является участок трубопровода между точкой измерения давления и регулирующим органом. Длина этого участка составляет 1 метр. Динамика объекта управления  $W(p)$ , выраженная передаточной функцией будет:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{Tp+1} e^{-\tau_0 p}, \quad (15)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad (16)$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q}, \quad (17)$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \quad (18)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (19)$$

где  $Q_k(p)$  – объемный расход газа после клапана;

$Q(p) = 5500 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$  – измеряемый объемный расход;

$$\gamma = 0,72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{удельный вес газа};$$

$L = 1 \text{ м}$  – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования;

$d = 80 \text{ мм}$  – диаметр трубы;

$f$  – площадь сечения трубы;

$$\Delta p = 0,0125 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} - \text{перепад давления на трубопроводе};$$

$\tau_0$  – запаздывание;

$T$  – постоянная времени.

Подстановка данных исходных данных в приведенные выше формулы позволит рассчитать параметры передаточной функции [5].

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ м}^2,$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}} = \frac{1,528}{0,00502} \cdot \sqrt{\frac{0,72}{2 \cdot 0,0125 \cdot 0,098 \cdot 10^6}} = 5,218,$$

$$T = \frac{2Lf c^2}{Q} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,00502 \cdot 5,218^2}{1,528} = 0,179 \text{ с},$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q} = \frac{1 \cdot 0,00502}{1,528} = 0,00329 \text{ с},$$

$$W(p) = \frac{1}{Tp+1} \cdot e^{-\tau_0 p} = \frac{1}{0,179 \cdot p+1} \cdot e^{-0,00329 p}.$$

Исполнительными механизмами в системе являются регулирующие пневматические клапаны с электропневматическими позиционерами. Характеристика клапана является линейной. Кроме того, позиционер также

обладает линейной характеристикой преобразования аналогового токового сигнала в пневматический сигнал.

В данной математической модели предполагается, что клапан реагирует на разность задающего значения давления и текущего значения, преобразованную в В. При рассогласовании этих значений клапан незамедлительно реагирует на изменения и открывается/закрывается на некоторый процент с целью компенсации ошибки.

Необходимо перевести значение задающего значения давления в соответствующий токовый сигнал.

$$I_3 = \frac{6 - 0}{16 - 0} \cdot 16 + 4 = 10 \text{ мА.}$$

Далее установим звено, отвечающее за преобразование тока в процент открытия. Для определения этого коэффициента необходимо рассчитать, сколько процентов приходится на 1 В ошибки регулирования из диапазона от -5 В до 5 В.

$$K_{\text{кл}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ \%}/\text{В}$$

Далее, при условии, что клапаны имеют линейную характеристику преобразования процента открытия в расход, рассчитаем коэффициент усиления в зависимости от максимальной пропускной способности каждого клапана.

Согласно процессу, регулирующий клапан обеспечивает максимальное выходное давление  $P_{\text{Вых}} = 16 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .

Таким образом, на каждый процент открытия клапана будут приходиться следующее значение давления:

$$K_{\text{н}} = \frac{16}{100} = 0,16 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} / \%$$

Коэффициент передачи датчика давления примем 0,98

Путем моделирования в пакете Simulink была получена схема, приведенная на рисунке 22.

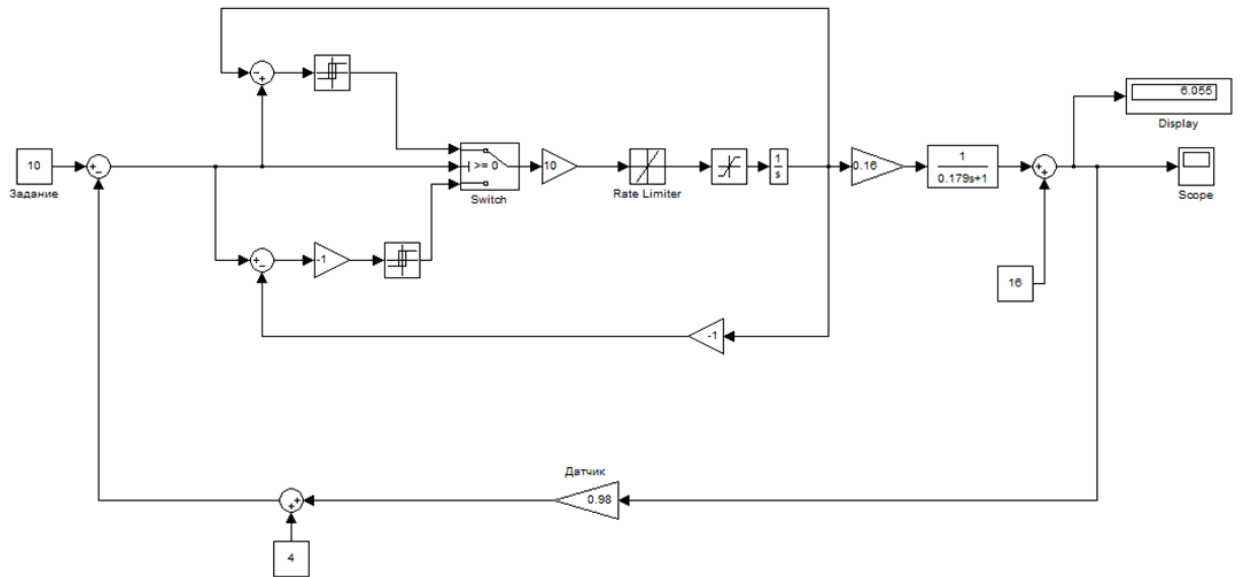


Рисунок 22 – Модель Simulink

### 3.2 Расчет параметров регулятора

Переходная характеристика замкнутой системы без регулятора приведена на рисунке 23.

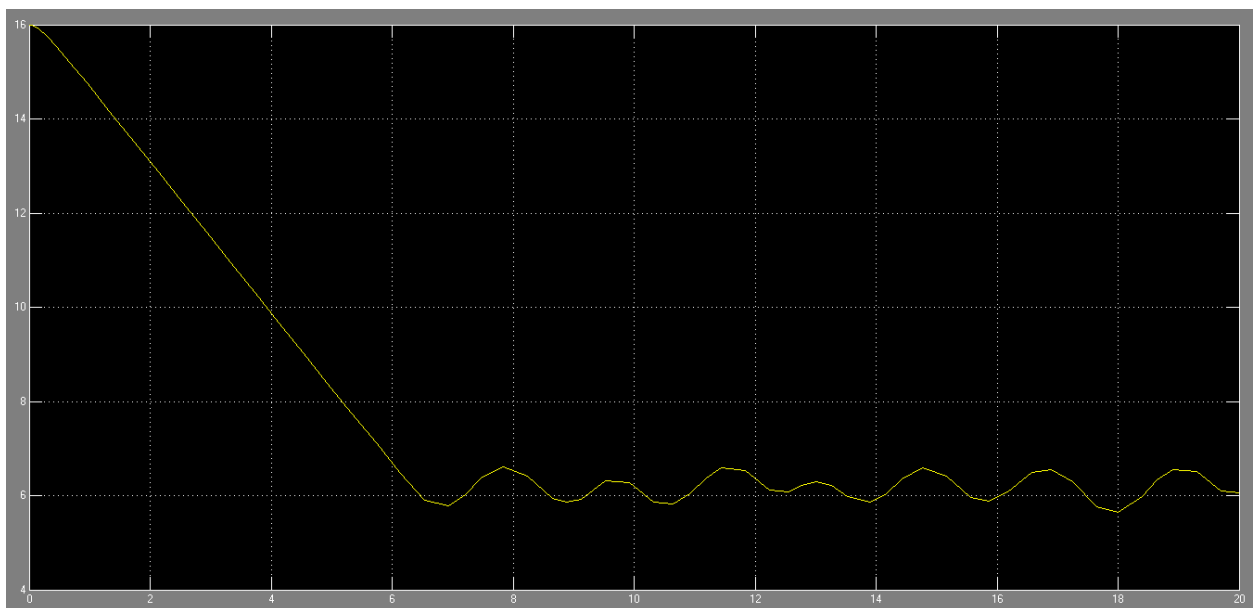


Рисунок 23 – Переходная характеристика замкнутой системы

Как видно по переходной характеристике система выходит на заданный уровень за приемлемое время. Это обусловлено замкнутым контуром позиционера. Однако наблюдаются незатухающие гармонические колебания в зоне установившегося значения.

Для устранения автоколебаний целесообразно использование ПД - регулятора.

Структурная схема автоматического регулирования давлением приведена на рисунке 24. Данная схема состоит из следующих основных элементов: задание, ПД-регулятор, регулирующий орган, объект управления.



Рисунок 24 – Структурная схема автоматического регулирования давлением

Передаточная функция ПД-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K + T_d s, \quad (20)$$

где  $K=0,8$  и  $T_d=0,3$  - коэффициенты, которые были получены опытным путем.

Модель системы с включенным ПД - регулятором приведена на рисунке 25.

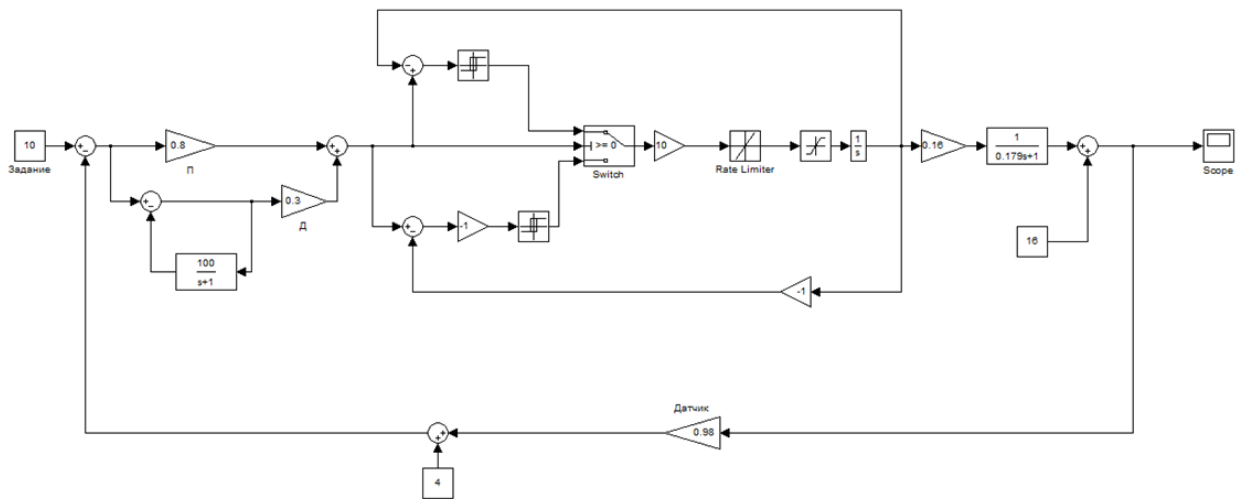


Рисунок 25 – Модель Simulink с ПД-регулятором

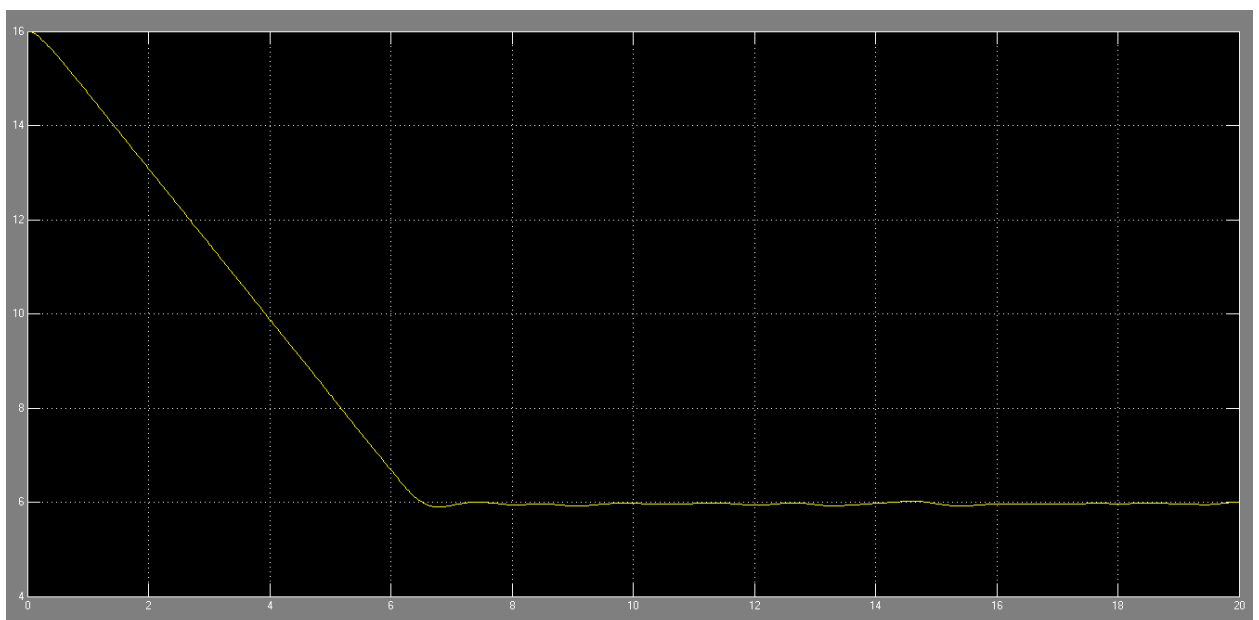


Рисунок 26 – Переходная характеристика системы с ПД - регулятором

Как видно из рисунка, кривая переходного процесса с включенным ПД - регулятором имеет незначительное перерегулирование, однако автоколебания сглажены практически полностью и время переходного процесса составило 7 секунд, перерегулирование 1%.

Далее необходимо проверить реакцию системы на различные возмущающие воздействия.

Главным возмущающим воздействием является изменение давления в газопроводе.



При снижении давления в газопроводе с  $16 \text{ кгс/см}^2$  до  $10 \text{ кгс/см}^2$  система должна сохранить стабильное выходное давление  $6 \text{ кгс/см}^2$ .

При моделировании такой ситуации была получена переходная характеристика, приведенная на рисунке 28.

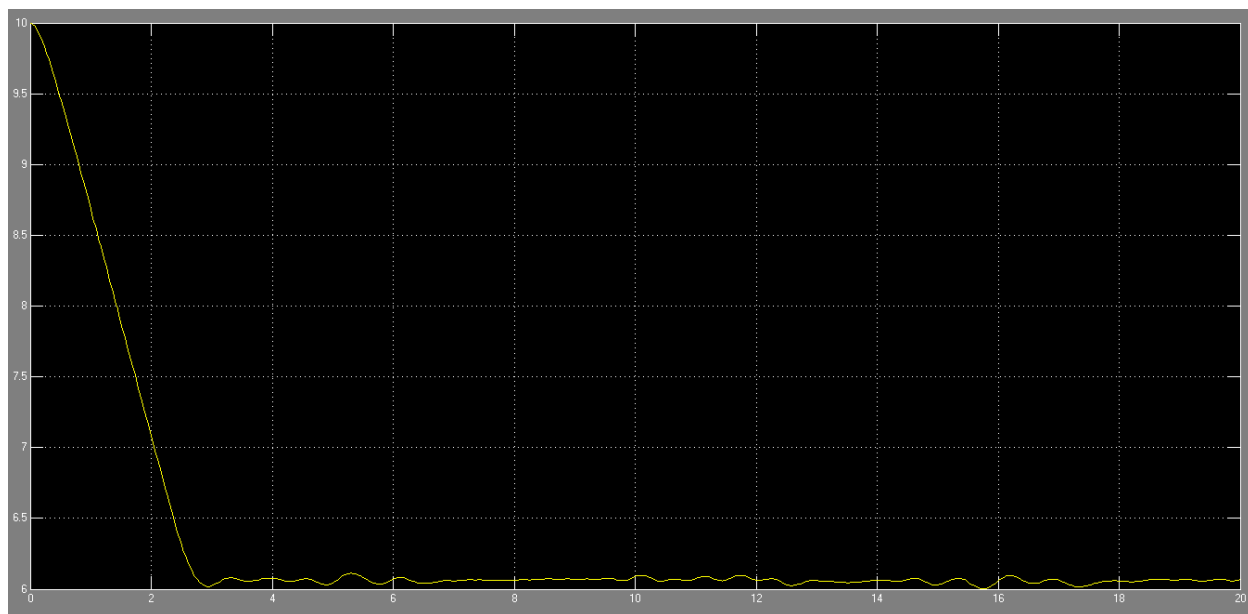


Рисунок 28 – Переходная характеристика системы при снижении давления до  $10 \text{ кгс/см}^2$

В соответствии с переходной характеристикой можно наблюдать выход на установившийся режим, причем, время переходного процесса сократилось до 3 секунд, перерегулирование 1,5%.

Так же рассмотрим ситуацию скачкообразного возмущения, например, при резком увеличении давления на выходе на  $2 \text{ кгс/см}^2$ . Это возможно при кратковременном закрытии выходного крана. Переходная характеристика приведена на рисунке 29.

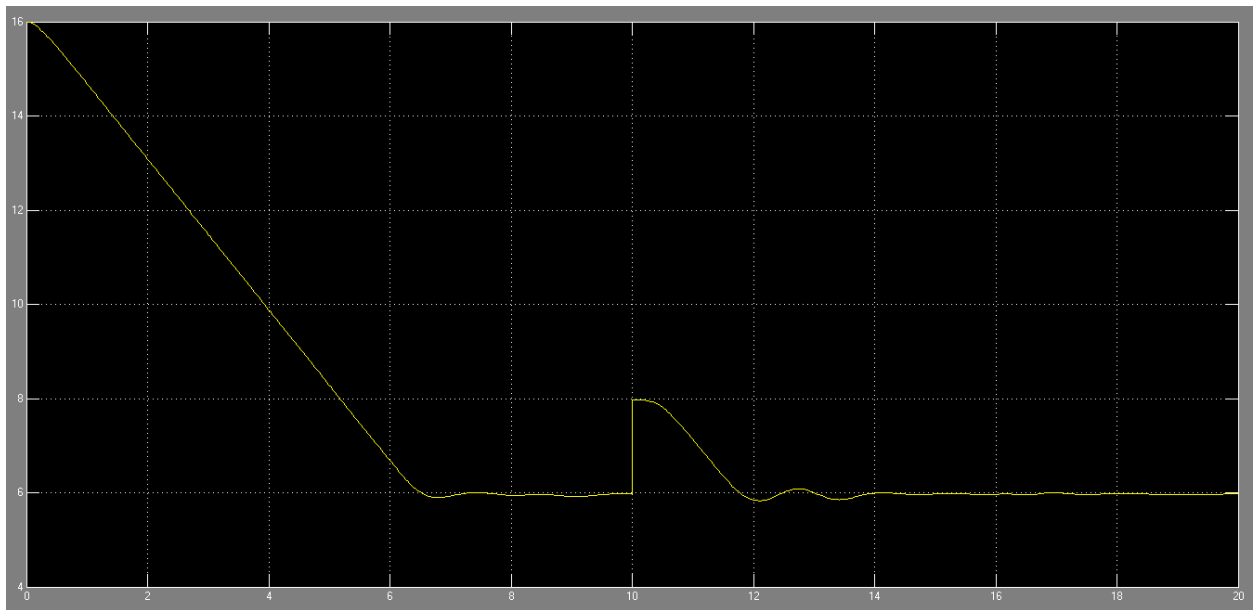


Рисунок 29 – Переходная характеристика

Возмущение возникло на десятой секунде процесса, и было полностью скомпенсировано за 3 секунды, перерегулирование 1,5%. В ходе процесса возникло незначительное перерегулирование, не влияющее на качество переходного процесса.

Проанализируем обратную ситуацию, возникающую при кратковременном закрытии крана перед регулятором. В этом случае произойдет кратковременное снижение давления. Переходная характеристика приведена на рисунке 30.

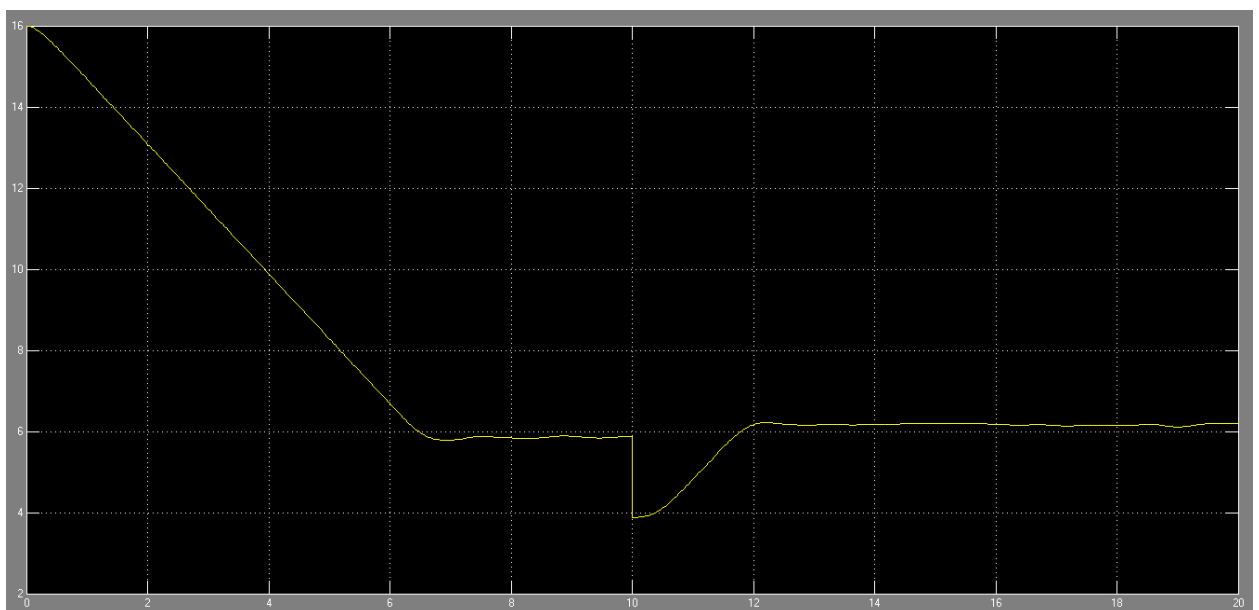


Рисунок 30 – Переходная характеристика

Система аналогично отработала возмущение и вернула переходный процесс в установившееся состояние через 2 секунды перерегулирование 1%.

В ходе анализа системой успешно отработаны смоделированные возмущения (снижение давления в газопроводе, скачкообразное повышение давления газа при закрытии крана на выходе регулятора, скачкообразное снижение давления газа при закрытии крана перед регулятором).

Перерегулирование и время переходного процесса в пределах установленных требований.

Для целей регулирования был выбран ПД - закон регулирования с коэффициентами  $K=0,8$  и  $T_d=0,3$ .

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования системы для целей регулирования давления малого расхода газа.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ5Б	Окунев Алексей Вячеславович

Институт	Институт кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	270404 Управление в технических системах

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материально-технических, энергетических и человеческих ресурсов Ставки социального налога и НДС
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет затрат на выполнение ВКР
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение экономической эффективности исследования
3. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. График проведения и бюджет НИ	
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Петухов Олег Николаевич	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ5Б	Окунев Алексей Вячеславович		

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования формируется рабочая группа, в состав которой входят студент-дипломник и научный руководитель. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Подбор и изучение материалов по теме в российских изданиях	С	С-100%
Подбор и изучение материалов по теме в зарубежных изданиях	С	С-100%
Календарное планирование работ по теме	НР	НР-100%
Проведение теоретических расчетов фильтра Калмана	С	С-100%
Оценка полученных результатов	С, НР	С-100%, НР-100%
Разработка принципиальной, структурной и функциональной схем	С	С-100%
Проведение моделирования системы	С	С-100%
Аналитика результатов моделирования	С, НР	С-100%, НР-100%
Разработка алгоритмов	С	С-100%
Подбор регулятора давления и датчиков давления	С	С-100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	С	С-100%
Оформление графического материала	С	С-100%
Проверка работы и подведение итогов	НР, С	НР-100%

#### 4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для расчета ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется две оценки:  $t_{min}$  и  $t_{max}$  (метод двух оценок).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (21)$$

где  $t_{min}$  – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

$t_{max}$  – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_d, \quad (22)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{вн} = 1$ ;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_d = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (23)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = 1,205, \quad (24)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Для выполнения перечисленных в таблице 13 работ требуются специалисты: студент, научный руководитель. Результаты расчетов представлены в таблице 14.

#### **4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования**

Календарный план-график представлен в таблице 15.


Где  - научный руководитель,  - студент.

Таблица 14 – Расчет трудоемкости работ

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{рд}$		$T_{кд}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
Подбор и изучение материалов по теме в российских изданиях	С	5	10	7	-	8,4	-	10,08
Подбор и изучение материалов по теме в зарубежных изданиях	С	5	10	7	-	8,4	-	10,08
Календарное планирование работ	НР	2	4	2,8	3,36	-	4,03	-
Проведение теоретических расчетов фильтра Калмана	С	10	15	12	-	14,4	-	17,28
Оценка полученных результатов	НР, С	5	8	6,2	7,44	7,44	8,93	8,93
Разработка функциональных схем	С	10	20	14	-	16,8	-	20,16
Проведение моделирования систем	С	7	10	8,2	-	9,84	-	11,8
Аналитика результатов	НР, С	3	5	3,8	4,56	4,56	5,47	5,47
Разработка алгоритмов	С	7	10	8,2	-	9,84	-	11,8
Подбор регулятора давления и датчиков давления	С	5	8	6,2	-	7,44	-	8,93
Оформление пояснительной записки	С	10	15	12	-	14,4	-	17,28
Оформление графич. материала	С	5	9	6,6	-	7,92	-	9,5
Проверка и подведение итогов	НР, С	6	12	8,4	10,08	10,08	12,1	12,1
<b>Итого:</b>					<b>25,44</b>	<b>119,52</b>	<b>30,53</b>	<b>143,41</b>



Таблица 15 – Календарный план-график работ

Этап	НР	С	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	-	10,08	■														
2	-	10,08		■													
3	4,03	-			■												
4	-	17,28				■	■										
5	8,93	8,93					■	■									
6	-	20,16						■	■	■							
7	-	11,8							■	■							
8	5,47	5,47									■	■					
9	-	11,8										■	■				
10	-	8,93											■	■			
11	-	17,28												■	■		
12	-	9,5													■	■	
13	12,1	12,1														■	■

С - ■

НР - ■

## 4.2 Бюджет научно-технического исследования

### 4.2.1 Расчет затрат на материалы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расхи}}, \quad (25)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расхи}}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, примем равным 15%.

Расчеты представлены в таблице 15.

Таблица 16 – Материальные затраты

Наименование	Цена	Кол-во	Сумма
Бумага для принтера формата А4	300	3 уп.	900
Картридж для принтера	2000	1 шт.	2000
Итого			2900

ТЗР составляют 15 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $C_{\text{мат}} = 2900 * 1,15 = 3335$  руб.

### 4.2.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (26)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (27)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 11);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (28)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 17).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени в календарный год

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (29)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб/мес	Среднедневная ставка, руб/раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб
НР	23000	1155,1	26	1,699	51025,4
С	11000	552,5	120	1,699	112643,7
Итого					163669,1

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

Отчисления =  $163669,1 * 0,3 = 49100,7$  руб.

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Таблица 19 - Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования тоб, час	Потребляемая мощность Роб, кВт	Затраты Эоб, руб.
ПК	2854	0.1	1500,3
Лазерный принтер	40	0.1	21
			1521,3

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов

Таблица 20 - Расчет амортизации

Оборудование	Коэффициент	Цена	t	n	Fd	C
Принтер	0.5	10000	40	1	500	400
Компьютер	0.4	50000	2854	1	2384	23943
Сумма:						24343 руб.

#### 4.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = 112708,1 \text{ руб.} \quad (30)$$

#### 4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Таблица 21 – общая себестоимость разработки

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	3335
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	163669,1
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	49100,7
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1521,3
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	24343
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	24196,9
<b>Итого:</b>		<b>266166</b>
<b>Прибыль</b>		<b>53233,2</b>
<b>НДС</b>		<b>57491,9</b>
<b>НИР</b>		<b>376891,1</b>

#### 4.2.8 Расчет затрат на модернизацию

Единовременные затраты на модернизацию АС ( $K$ ) определяются по следующей формуле:

$$K = K_n + K_k, \quad (31)$$

где  $K_n$  –предпроизводственные затраты, руб.,

$K_k$  –капитальные затраты, руб.

$$K_n = 266166 \text{ руб.}$$

Величина капитальных затрат определяется по формуле

$$K_k = K_{KTC} + K_m - K_{внед} + K_{тран} + K_{зан} + K_{дем}, \quad (32)$$

где  $K_{KTC}$  – затраты на приобретение комплекса технических средств (KTC), руб.;

$K_{тран}$  – транспортные расходы (принимаем в размере 3 % от суммы затрат на приобретение KTC и стоимости запасных частей), руб.;

$K_{зан}$  – расходы на запасные части (принимаем в размере 1 % от стоимости KTC), руб.;

$K_m$  – затраты на установку, монтаж и запуск приборов и автоматики (принимаем в размере 15 % от стоимости KTC), руб.;

$K_{внед}$  – сметная стоимость технических средств, высвобожденных в результате внедрения АС, руб.;

$K_{дем}$  – затраты на демонтаж высвобожденных технических средств (принимаем в размере 5% от стоимости KTC), руб.

Сметная стоимость комплекса технических средств приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на приобретение KTC

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Общая стоимость, руб.
<b>Измерительные приборы и датчики</b>			
Датчик давления Метран 150CG4	1 шт	35000	35000
<b>Регулирующий клапан</b>			
Клапан регулирующийся пневматический КМР с позиционером <b>SIPART PS2</b>	1	350000	350000
<b>Сумма:</b>			<b>385000</b>

Расчет основных статей расхода капитальных затрат представлен в таблице.

Таблица 23 – Расчет капитальных затрат на модернизацию АС

Статья расхода	Величина расхода, руб.
Затраты на приобретение КТС ( $K_{\text{КТС}}$ )	<b>385000</b>
Транспортные расходы ( $K_{\text{тран}}$ )	<b>11550</b>
Расходы на запасные части ( $K_{\text{зап}}$ )	<b>3850</b>
Затраты на установку, монтаж и запуск КИП и А ( $K_{\text{м}}$ )	<b>57750</b>
Стоимость технических средств, высвобожденных в результате внедрения АС ( $K_{\text{внед}}$ )	<b>70000</b>
Затраты на демонтаж высвобожденных средств ( $K_{\text{дем}}$ )	<b>19250</b>
<b>Сумма:</b>	<b>407400</b>

Таким образом, капитальные вложения на модернизацию системы управления ГРС (  $K_{\text{к}}$  ) составят 407400 руб.

Единовременные затраты на модернизацию АСУ равны:

$$K_{\text{ед}} = 266166 + 407400 = 673566 \text{ руб.}$$

Следует отметить, что величина необходимых затрат на альтернативный вариант модернизации значительно выше. Это связано с использованием более дорогих датчиков (ультразвукового расходомера, ротационного расходомера, турбинного), а также более дорогостоящего монтажа.

#### 4.2.9 Расчет условно – годовой экономии от автоматизации

Для данного предприятия условно-годовая экономия выражается устранением неучтенного количества газа, переданного потребителю.

Для этой цели было определено расхождение в показаниях фактического потребления и полученных с узла учета. В результате сопоставления данных годовых архивов было получено среднегодовое расхождение в 800 000 м<sup>3</sup> газа. Таким образом, среднегодовые экономические потери составляют приблизительно 4 000 000 руб.

### 4.3 Расчет экономического эффекта, коэффициента эффективности и срока окупаемости капитальных затрат

Годовой экономический эффект от автоматизации производственных процессов определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{год} = \Delta\Pi - E_n \cdot K_{ед} \quad , \quad (33)$$

где  $E_n$  - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, в нашем случае для средств вычислительной техники принимаем равным 0,5.

$\Delta\Pi$  - прирост прибыли, вызванный внедрением средств автоматизации (в данном случае равен условно-годовой экономии), руб.

$$\mathcal{E}_{год} = 4\,000\,000 - 0,5 \cdot 673566 = 3663217 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости затрат на автоматизацию ( $T_{ок}$ ), показывающий время, в течение которого капитальные вложения окупят себя за счет дополнительной прибыли или экономии, определяется по формуле:

$$T_{ок} = K_{ед} / \Delta\Pi, \quad (34)$$

$$T_{ок} = 673566 / 4000000 = 0,17 \text{ лет} = 2 \text{ мес.}$$

Коэффициент экономической эффективности ( $K_{эф}$ ), показывающий, какая экономия будет получена после автоматизации на каждый рубль капитальных вложений на автоматизацию, рассчитывается по формуле:

$$K_{эф} = \Delta\Pi / K_{ед}, \quad (35)$$

$$K_{эф} = 4000000 / 673566 = 5,93$$

Далее полученные значения срока окупаемости и коэффициента экономической эффективности необходимо сравнить с нормативными величинами, проверить следующие условия

$$T_{ок(расч)} \leq T_{ок(норм)}$$



$$K_{\text{ЭФ}} \geq E_{\text{Н}}$$

Таблица 24 – Максимальные сроки окупаемости капитальных вложений

Мероприятия	Ток (норм), годы	$E_{\text{Н}}$
Механизация и автоматизация отдельных процессов и операций, модернизация и частичная замена оборудования и средств автоматизации	2-3	0,5-0,35

Результаты проведенного анализа эффективности проекта по модернизации представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Результаты анализа экономической эффективности

Наименование показателей	Единицы измерения	Значение
1. Капитальные вложения	руб.	673566
2. Единоновременные затраты	руб.	673566
3. Годовой экономический эффект	руб.	3663217
4. Срок окупаемости капитальных вложений	мес	2

В результате проведенного анализа на основе расчетов проект модернизации автоматизированной системы ГРС можно признать эффективным и экономически целесообразным. Срок окупаемости капитальных вложений в модернизацию составил 2 месяца, а экономия на каждый рубль, вложенный в проект, составила 5,93 рубля.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 8АМ5Б	<b>ФИО</b> Окунев Алексей Вячеславович
------------------------	---

<b>Институт</b> Уровень образования	Институт кибернетики Магистратура	<b>Кафедра</b> Направление/специальность	СУМ 270404 Управление в технических системах
--	--------------------------------------	---	---

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Модернизация  
автоматизированной системы  
управления газораспределительной  
станции*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

#### 1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Вредные факторы:

- Электромагнитные излучения в рабочей зоне
- Влажность, скорость движения воздуха
- Шум
- Освещенность
- Эмоциональные перегрузки
- Умственное перенапряжение
- Монотонность труда

Опасные факторы:

- Электробезопасность
- Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия

#### 2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

- Анализ воздействия применения

- ПЭВМ и энергопотребления на окружающую среду
- Разработка решений по обеспечению экологической безопасности

<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Описание возможных ЧС</li> <li>- Типичная ЧС - пожар</li> <li>- Разработка мер по предупреждению ЧС</li> <li>- Разработка действий в результате возникшей ЧС</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны инженера КИПиА</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭиБЖ	Извеков Владимир Николаевич	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5Б	Окунев Алексей Вячеславович		

## **5 Социальная ответственность**

### **Аннотация**

Представление понятия «Социальная ответственность» сформулировано в международном стандарте (МС) IS CSR-08260008000: 2011 «Социальная ответственность организации».

В соответствии с МС - Социальная ответственность - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех ее взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

### **Введение**

Объектом исследования магистерской диссертации является модернизация автоматизированной системы газораспределительной станции (ГРС) с целью улучшения ее работы и предотвращения экономических убытков.

Целями разработки данного раздела диссертации являются обнаружение и изучение опасных и вредных производственных факторов, сопутствующих работе инженера КИПиА на газораспределительной станции при работе с ПЭВМ, отрицательно влияющих на здоровье человека; оценка условий труда, микроклимата рабочей среды; ослабление действия этих факторов до безопасных пределов или исключение их, если это возможно. Также рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

Объектом исследования данного раздела дипломной работы является работа инженера КИПиА.

Рассмотрим характеристики помещения, где находится рабочее место инженера: длина комнаты  $a = 4$  м, ширина  $b = 3$  м, высота  $h = 2,3$  м. Тогда площадь помещения будет составлять  $S = ab = 12$  м<sup>2</sup>, объем равен 27,6 м<sup>3</sup>. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют не менее 4,5 м<sup>2</sup> площади рабочего места на одного человека при работе с ПЭВМ на базе дискретных экранов. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

В зимнее время помещение отапливается, что обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещении используется комбинированное освещение – искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД.

## **5.1 Производственная безопасность**

### **Анализ вредных и опасных производственных факторов**

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

Биологические и химические опасные и вредные производственные факторы в помещении, где находится рабочее место инженера КИПиА потенциально отсутствуют.

К психофизиологическим вредным факторам, воздействующим на оператора ЭВМ в течение его рабочей смены, можно отнести следующие:

- эмоциональные перегрузки;
- монотонность труда;
- умственное перенапряжение.

Для целостного представления обо всех выявленных вредных и опасных факторах их необходимо классифицировать.

Таблица 26 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
Работа с компьютером и орг. техникой		Опасность поражения электрическим током	ГОСТ 12.1.030-81, ГОСТ 12.1.038-82
	Ионизирующие и электромагнитные излучения в рабочей зоне		НРБ-2009, ГОСТ 12.1.006-84, СанПиН 2.2.4.1191-03
	Температура воздуха рабочей зоны, влажность воздуха, скорость движения воздуха		СанПиН 2.2.4.548-96
	Шум на рабочем месте		ГОСТ 12.1.003-83, СНиП П-12-77
	Освещенность рабочей зоны		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
	Эмоциональные перегрузки		Р 2.2.2006-05
	Умственное перенапряжение		Р 2.2.2006-05
	Монотонность труда		Р 2.2.2006-05

Далее в работе будут более подробно рассматриваться опасные и вредные факторы, возникающие в связи с выполнением выпускной квалификационной работы.

Единственным опасным фактором является электробезопасность, то есть опасность поражения электрическим током.

Известно, что поражение человека электрическим током возможно лишь при замыкании электрической цепи через тело человека, т. е. при прикосновении человека к сети не менее чем в двух точках. При этом повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, является опасным фактором.

Электронасыщенность современных рабочих мест формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические сети, электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве.

Согласно «Правилам устройства электроустановок» все производственные помещения по опасности поражения электрическим током разделяются на три категории: помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения и помещения без повышенной опасности.

Кабинет инженера КИПиА, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, отсутствие сырости, химически активной среды, токопроводящих пыли и полов.

Основной причиной опасности поражения электрическим током может послужить прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- 1) Перед включением ЭВМ в сеть должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых

нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус компьютера;

2) При появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети ЭВМ и устранить неисправность;

3) Запрещается при включенной ЭВМ одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

1. Защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание, как самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током).

2. Защитное зануление – замыкание на корпус электроустановок.

3. Системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус.

Целесообразно знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Далее оценим уровень воздействия вредных факторов на организм и, если требуется, разработаем ряд мероприятий для улучшения производственной гигиены.

1) Микроклимат

Состояние воздушной среды помещений определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении;
- температура поверхностей оборудования, материалов;
- относительная влажность воздуха;



- скорость движения воздуха;
- уровень запыленности или загазованности воздуха.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течении 8-часового рабочего дня, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа инженера относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 139 ккал/час, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением согласно СанПиН 2.2.4.548-96 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте для категории Ia приведены в таблице 30.

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести I<sub>a</sub> оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать требованиям таблицы 27.

Таблица 27 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Сезон года		Холодный	Теплый
Категория тяжести выполняемых работ		Ia	Ia
Температура, °С	Фактическое значение	21-24	23-25
	Допустимое значение	20-25	21-28
Относительная влажность, %	Фактическое значение	60	60
	Допустимое значение	15-75	15-75
Скорость движения воздуха, м/с	Фактическое значение	0,1	0,1
	Допустимое значение	0,1	0,2

Из таблицы видно, что температура воздуха в рабочем помещении в холодное время года поддерживается в диапазоне от плюс 22 до плюс 24°С, в теплое – от плюс 23 до плюс 25°С. Влажность составляет 60%. Следовательно, в помещении соблюдаются допустимые микроклиматические условия.

Микроклимат комнаты поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления и естественной вентиляцией.

## 2) Освещенность

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Оценка освещенности рабочих мест, оборудованных ПЭВМ, необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через одно окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчет освещенности.

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 регламентируется минимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении. В соответствие со СНиП 23-05-95 разряд зрительной работы III-а.

Световой поток, создаваемый каждой из ламп, рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta} , \quad (36)$$

где  $F$  – световой поток одной лампы, лк;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 400$  лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>,  $S = 12$  м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным  $z = 1,1$ ;

$k$  – коэффициент запаса,  $k = 1,5$ ;

$\eta$  – коэффициент использования осветителей, %;

$n$  – число светильников в помещении.

Коэффициент  $k$  для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берётся равным от 1,4 до 1,5.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения ( $i$ ), рассчитываемому по выражению

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (37)$$

где  $A$  – длина помещения, м,  $A = 4$  м;

$B$  – ширина помещения, м,  $B = 3$  м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 30$  % и потолка  $\rho_n = 50$  %.

По следующей формуле определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ):

$$h = H - h_p - h_c, \quad (38)$$

где  $H$  – высота потолка в помещении, м,  $H = 2,3$  м;

$h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0,75$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0$  м.

Из расчетов следует, что  $h = 1,55$  м, тогда согласно выражению:

$$i = \frac{4 \cdot 3}{1,55 \cdot (4 + 3)} = 1,11$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$  и  $\rho_n$  примем  $\eta = 55\%$ .

Учитывая, что количество светильников равно 4, а число ламп в нем равно 4, определяем световой поток, который должна создавать каждая из ламп:

$$F = \frac{400 \cdot 12 \cdot 1.1 \cdot 1.5}{4 \cdot 4 \cdot 0.55} = 900 \text{ лм.}$$

Ближайшей стандартной лампой является ЛД 18 Вт со световым потоком 880 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (39)$$

$$\Phi_{\text{л.станд}} = 880 \text{ лм}; \quad \Phi_{\text{л.расч}} = 900 \text{ лм.}$$

Получаем:

$$-10\% \leq 2,3\% \leq +20\%$$

Расстояние между светильниками равно:

$$L = h * \lambda,$$

где  $\lambda$  – наивыгоднейшее отношение для данного типа светильника.

$$L = h * \lambda = 1,55 * 1,4 = 2,2 \text{ м.}$$

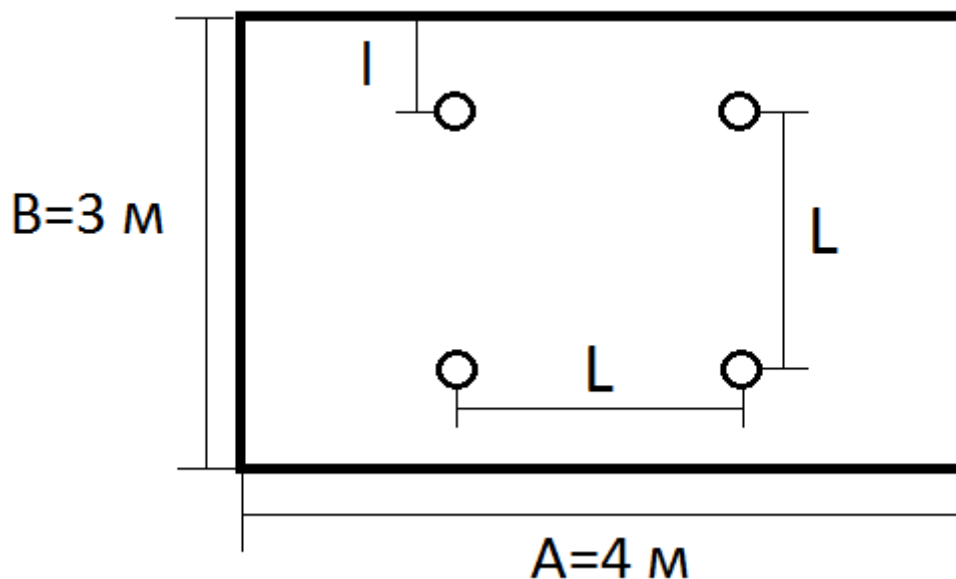


Рисунок 31 – План расположения светильников в помещении

Таким образом, люминесцентные лампочки дневного цвета (ЛД) в количестве 16 штуки, мощностью 18 Вт, потребляющие ток 0,67 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

### 3) Шум

Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации. В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является помещение, где работает инженер, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ.

В помещении рассматриваемого кабинета нет вентиляторов, кондиционеров и других дополнительных установок, поэтому основным источником шума являются компьютеры и периферийные устройства – принтер и мониторы.

Нормирование уровней шума в производственных условиях осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 [8]. Согласно данному

документу при выполнении основной работы на персональной электронно-вычислительной машине (ПЭВМ) уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в Дб в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Допустимым уровнем звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать данные из таблицы 28.

Таблица 28 - Допустимые уровни звукового давления

Помещения и рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					Уровень звука, дБА
	63	125	250	1000	4000	
Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	63	55	50	60

В рассматриваемом помещении основным источником шума является шум вентилятора ПЭВМ. Кроме этого шум проникает извне через открытые проемы форточек и окон. Для снижения уровня шума необходимо регулярно проводить проверку технического состояния системного блока и принтера, и при необходимости осуществлять ремонт.

В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак в работе. В рассматриваемом помещении уровень шума не превышает 50 дБ, поэтому никаких мер защиты от шума в анализируемом помещении не предусмотрено.

Таким образом, шум в помещении не превышает допустимого уровня.

Для снижения уровня шума применяют: подавление шума в источниках; звукоизоляция и звукопоглощение; увеличение расстояния от источника шума; рациональный режим труда и отдыха.

#### 4) Электромагнитное поле

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ). Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы.

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем.

Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК указаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Проведение организационных и инженерно – технических мероприятий является способом коллективной защиты персонала от воздействия ЭМИ. При этом под организационными мероприятиями понимается выбор рациональных режимов работы для устранения влияния на персонал облучения при уровнях, превышающих допустимые.

Под инженерно-техническим мероприятием понимают рациональное размещение оборудования, использование средств ограничивающих электромагнитную энергию от рабочих мест персонала (поглотители мощности,

отражающие и поглощающие экраны), использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) – например, очков со специальными фильтрами.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Многие предприятия сейчас внедряют новейшие технологии в процесс эксплуатации, очистки и утилизации отходов производства. Так, внедрение электрооборудования, ПЭВМ, различных средств вычислительной техники значительно упрощают процесс проектирования, эксплуатации, а также утилизации и защиты природы от вредных воздействий человечества. Например, инженер, метролог, контролер и др. теперь используют электронные пакеты обработки и носители информации, что значительно сокращает применение бумаги, а значит и вырубку лесов. Но, с другой стороны, все большее внедрение и применение ПЭВМ приводит к увеличению затрат электроэнергии, количества электростанций и их мощностей. Соответственно, рост энергопотребления может привести к таким экологическим нарушениям, как глобальное потепление климата, загрязнение атмосферы и водного бассейна Земли вредными и ядовитыми веществами, авариям в ядерных реакторах, изменению ландшафта Земли. Целесообразным является разработка и внедрение систем с малым потреблением энергии.

Потребление электроэнергии является одной из наиболее серьезных проблем охраны окружающей среды. С увеличением компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличивается и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей



электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления влечет за собой такие экологические нарушения, как:

- изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);
- загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;
- отходы ПЭВМ

Меры обращения с отходами ПЭВМ и старой оргтехники для обеспечения экологической безопасности:

- 1) подготовка оргтехники
- 2) передача оргтехники специализированной компании, осуществляющей утилизацию отходов.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В соответствии с ГОСТ Р 22.0.02–94, чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Исходя из требований закона, определены обязанности и действия руководителя ГО – руководителя объекта по организации оповещения персонала и населения об угрозе опасностей военных действий и ЧС:

1. В режиме повседневной деятельности создать объектовую систему оповещения персонала объекта.
2. В случае угрозы опасностей ведения военных действий, угрозы возникновения или при возникновении ЧС на объекте – незамедлительно организовать оповещение персонала, населения прилегающих территорий через

объектовую (локальную) систему оповещения. Одновременно об этом информировать органы ГОЧС, органы местного самоуправления. В дальнейшем информировать персонал, население, органы власти о всех изменениях обстановки.

Пожарная безопасность является наиболее типичной ЧС. Она предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей. Основными системами пожарной безопасности являются системы пожарной сигнализации и автоматического пожаротушения, включая организационно-технические мероприятия.

Пожар представляет большую опасность и наносит огромный ущерб, поскольку грозит уничтожением приборов, компьютеров, инструментов и комплектов документов, представляющих значительную ценность. Кроме того, пожар характеризуется опасностью для жизни человека. Возникновение пожара в комнате может быть обусловлено следующими факторами: в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения электронных схем. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до плюс 100°C. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений помещений по степени пожароопасности в соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», а также НПБ 105-03 «Определение категорий помещений,

зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», анализируемое в данной работе помещение относится в категории В (пожароопасные).

В соответствии с НПБ 166-97 средствами пожаротушения для данного помещения могут служить порошковые, углекислотные и аэрозольные огнетушители, так как основным источником возгорания может быть ПЭВМ. В качестве средства пожаротушения в помещении, где создавался проект, был установлен углекислотный огнетушитель марки ОУ-2. Углекислотные огнетушители предназначены для тушения загораний различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 10000 В (10кВ), двигателей внутреннего сгорания, горючих жидкостей.

Углекислотный огнетушитель состоит из: корпуса; заряда ОТВ (двуокись углерода); сифонной трубки; раструба; ручки для переноски; предохранительной чеки; запорно-пускового устройства. Срок проверки - 1 раз в год (путем взвешивания), перезарядки - 1 раз в 5 лет.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- 1) использование только исправного оборудования;
- 2) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- 3) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- 4) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В случаях возникновения пожара необходимо вызвать пожарную охрану. Кроме того, необходимо своевременно организовать эвакуацию людей.

План эвакуации представлен на рисунке 32.

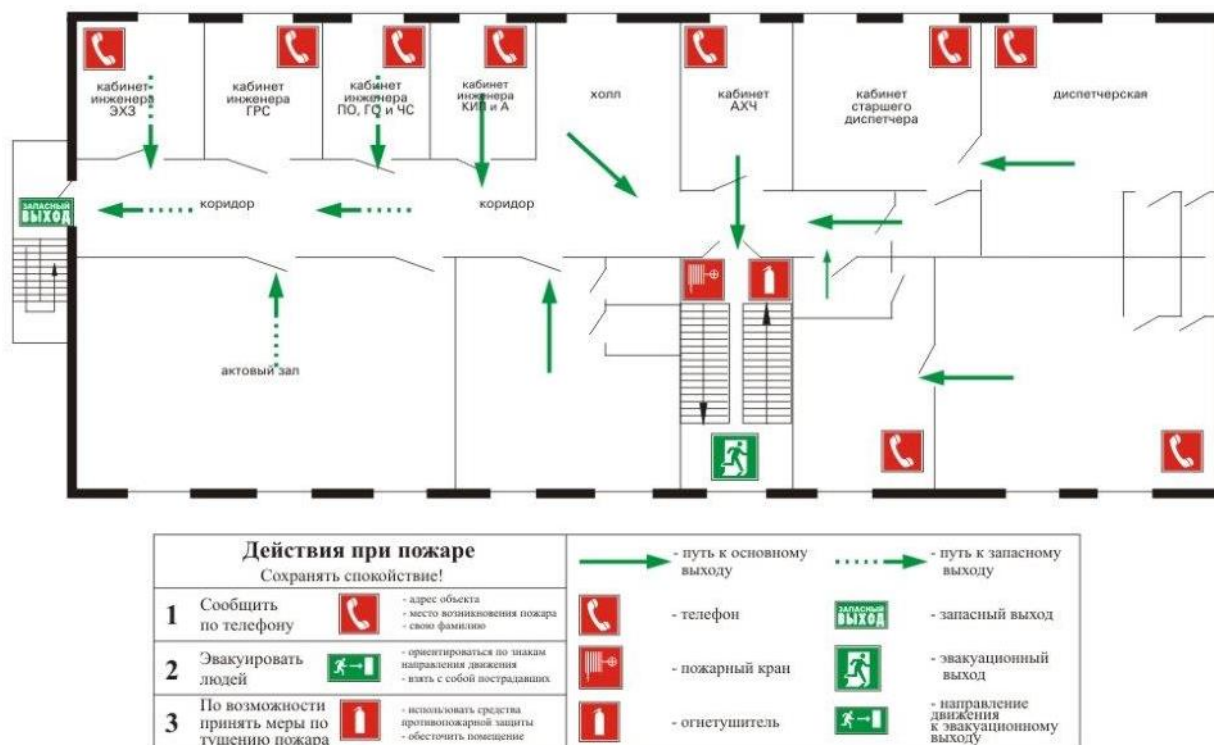


Рисунок 32 – План эвакуации

В аварийных ситуациях необходимо:

1) при повреждении оборудования, кабелей, проводов, неисправности заземления, появления запаха гари, возникновении необычного шума и других неисправностей немедленно отключить электропитание оборудования от сети и сообщить о случившемся непосредственному руководителю и лицу, осуществляющему техническое обслуживание оборудования;

2) в случае сбоя в работе оборудования ПК или программного обеспечения вызвать специалиста по технологическому обслуживанию для устранения неполадок;

3) при возгорании электропроводки, оборудования немедленно отключить электропитание и принять меры по тушению пожара с помощью имеющихся первичных средств пожаротушения (углекислотные огнетушители), сообщить о происшедшем непосредственному руководителю. Применение воды и пенных огнетушителей находящегося под напряжением электрооборудования недопустимо;

4) в случае внезапного ухудшения здоровья (усилия сердцебиения, появления головной боли, рези в глазах, тошноты, появления боли в пальцах и

кистях рук и др.) прекратить работу, выключить оборудование, сообщить руководителю и при необходимости обратиться к врачу.

При рассмотрении вопроса об охране окружающей среды можно сказать, что деятельность помещения не является экологически опасной.

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

Рабочее место – это часть рабочей зоны. Оно представляет собой место постоянного или временного пребывания работающего в процессе трудовой деятельности. Рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать возможность удобного выполнения работ;
- учитывать физическую тяжесть работ;
- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы или развития у него профессионального заболевания. Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032.

Конструкция оборудования и рабочего места при выполнении работ в положении сидя должна обеспечивать оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, высоты сидения, оборудованием пространства для размещения ног и высотой подставки для ног.

Оценка комфортности рабочей зоны производится в зависимости от линейных параметров рабочего места, значение которого определяется ростом инженера. При организации рабочего места необходимо выполнять требования эргономики, то есть учитывать все факторы, влияющие на эффективность действий человека при обеспечении безопасных приемов его работы.

Рациональная организация рабочего места учитывает оптимальную его планировку, степень автоматизации, выбор рабочей позы человека, расположение органов управления и т.п. Оптимальная планировка обеспечивает удобство при выполнении работ, экономию сил и времени человека. Рабочие места проектируются с учетом антропометрических данных человека усредненных размеров человеческого организма, так как если размещение органов управления не соответствует возможностям человека, то выполняемая работа будет тяжелой и утомительной.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, где даны общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ, при работе инженера за столом, конструкция стола и стула должна обеспечивать оптимальное положение тела работающего. Параметры рабочего места при работе с ПЭВМ, а также с нормативной и технической документацией приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Параметры рабочего места при работе

<b>Параметры</b>	<b>Значение параметра</b>	<b>Реальные значения</b>
Высота рабочей поверхности стола	От 600 до 800, мм	750
Высота клавиатуры	600-700, мм	750
Удаленность клавиатуры	Не менее 80, мм	300
Удаленность экрана монитора	500-700, мм	500
Высота сидения	400-500, мм	450
Угол наклона монитора	0-30, град.	10
Наклон подставки ног	0-20, град.	0

Конструкция рабочего стула (кресла) поддерживает рациональную рабочую позу, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Поверхность сидения, спинки и других элементов стула (кресла) полумягкая с нескользящим, не электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Не рекомендуется располагать компьютеры вблизи друг от друга в целях уменьшения действия переменного электрического поля. Нормативные параметры для мониторов при работе с ПЭВМ указаны в таблице 31.

Таблица 31 – Допустимые параметры устройств отображения информации

<b>Параметры</b>	<b>Допустимые значения</b>
Яркость белого поля	Не менее 35 лм/м <sup>2</sup>
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Временная нестабильность изображения	Не должна фиксироваться

При оформлении помещения большое значение имеет цветовое решение. Психологическое воздействие цвета - первый и наиболее важный фактор, учитываемый при выборе цветового решения. Учитывая характер работ, следует выбирать неяркие, малоконтрастные оттенки, которые не рассеивали бы внимание в рабочей зоне. Так как работа требует спокойствия и сосредоточенности, предпочтительно использовать оттенки «холодных» цветов.

Санитарные правила и нормы содержат ряд комплексов упражнений, которые способствует снятию локального утомления. По содержанию они различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- выявлены проблемы системы автоматизированного управления ГРС;
- решена задача расширения динамического диапазона измерения расхода газа на нитке малого расхода, предполагающая использование фильтра Калмана
- произведено обновление инструментальной части узла редуцирования газа
- проведено моделирование системы регулирования давления газа на узле редуцирования.

В результате моделирования был получен переходный процесс, удовлетворяющий требованиям по качеству регулирования. Так же была проверена реакция системы на различные возмущающие воздействия. Все возмущения были отработаны системой.

В ходе проектирования были разработаны схема внешних соединений, функциональная схема автоматизации узла учета газа, функциональная схема узла редуцирования газа, принципиальная электрическая схема, структурная схема узла учета газа.



### Список публикаций студента

1. Окунев А.В., Лиепиньш А.В. Расширение диапазона измерения расхода газа с помощью фильтра Калмана. [Электронный ресурс] // Научные исследования и разработки молодых ученых: сборник материалов XVIII международной молодежной научно-практической конференции, г. Новосибирск, 23 мая 2017 г. / Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2017. – с. 121-127.

## Список использованных источников

1. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. – Томск, 2012. – 168 с.
2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва: Горячая линия–Телеком, 2013. – 606 с.
3. Коршак А.А., Основы транспорта, хранения и переработки нефти и газа : учебное пособие для вузов / А. А. Коршак. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2015. – 365 с.
4. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие/ Ключев А.С., Лебедев А.Т., Товарнов А.Г., Ключев С. А. Под ред. Ключева А.С. – 3-е изд., стереотипное. Перепечатка со второго издания 1989 г. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. – 368 с.
5. Воронин А.В. Моделирование мехатронных систем: Учебное пособие. Томск: ТПУ. 2008. – 126 с.
6. Григорьев Л.И., Верещагин К.Н. Совершенствование системы менеджмента качества проектов модернизации и развития систем газопроводов- отводов// Управление качеством в нефтегазовом комплексе, №4, 2013. – С. 3–6.
7. Денисенко В.В. ПИД – регуляторы: вопросы реализации. Ч. 1 // Современные технологии автоматизации. №4. 2007. – С. 84 – 89.
8. ГОСТ\_21.408-93 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов М.: Издательство стандартов, 1995.– 44 с.
9. Каталог продукции промышленной группы Метран [Электронный ресурс]. / Метран / URL: [www.metran.ru/](http://www.metran.ru/), свободный. – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 25.03.2015 г.

10. ГОСТ 34.602-89 (1989). Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. М.: Информационная технология.
11. Датчики давления Метран [Электронный ресурс]. URL:[http://metran.nt-rt.ru/images/showcase/Datchiki\\_davleniya2013.pdf](http://metran.nt-rt.ru/images/showcase/Datchiki_davleniya2013.pdf), свободный. – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 27.03.2015 г.
12. ГОСТ 12.1.006–84.ССБТ (1984). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
13. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ (1982). Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 (2003). Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор
15. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (2003). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор.
16. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
17. СанПиН 2.2.4.548-96 (1996). Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. Р 2.2.2006-05 (1999). Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрав России.
19. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
20. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ (1990). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
21. СН 245-71 (1972). Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. М.: Издательство литературы по строительству.

22. ППБ 01-03 (2013). Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

23. ГОСТ 12.1.011-78 ССБТ (1978). Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний.

24. ГОСТ Р 51330.0 (2001). Электрооборудование взрывозащищенное.

25. РМГ 62-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации. Москва ИПК. Издательство стандартов, 2014. – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 25.03.2015 г. – 20 с.

## Приложение А. Раздел, выполненный на иностранном языке

### Раздел 2.2.4

Расширение диапазона измерения расхода газа с помощью фильтра Калмана

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM5Б	Окунев Алексей Вячеславович		

Консультант кафедры СУМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рудницкий Владислав Александрович	К.Т.Н		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пичугова Инна Леонидовна			

## 2.2.4 Expansion of the gas flow measurement range using the Kalman filter

Since during the process of gas supply, consumption can change due to climatic and operating conditions, the challenge the owners of the gas distribution station face is to expand the dynamic range of the gas flow meter on the gas distribution system.

When the gas consumption decreases and the flow reaches the lower limit value, the sensor sensitivity is insufficient for correct determination of the gas pressure. It leads to an unaccounted amount of gas, and, consequently, to economic losses. Therefore, because of the reduced accuracy of the measurement and the need to filter its noise terms, there is a problem of estimation of the flow technological readings. This problem can be solved by using the Kalman filter.

The Kalman filter is an efficient, recursive filter that estimates the state of a dynamic system from a series of noisy measurements [2].

The filter uses the well-known mathematical model of object dynamics. The mathematical model describes what changes in the state of the object are possible during operation.

In order to minimize the measurement error and provide the most accurate information about the state of the system, the Kalman filter uses the information about the measurement error and the principles the dynamic system follows.

Consider the mathematical model of the accounting unit. The control object is the section of the pipeline from the pressure measurement point to the collector of the consumer network. The length of this section reaches about 100 meters. The dynamics of the control object  $W(p)$ , expressed by the transfer function, can be described by a double aperiodic element:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{(Tp+1)(Tp+1)}, \quad (1)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad (2)$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q}, \quad (3)$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \quad (4)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

where  $Q_k(p)$  – the volumetric gas flow rate through the valve;

$Q(p)$  – the measured volume flow;

$\gamma$  – the specific gravity of the gas;

$L$  – the length of the pipeline section;

$d$  – the diameter of the pipe;

$f$  – the cross-sectional area of the pipe;

$\Delta p$  – the pressure drop across the pipeline;

$\tau_0$  – the lag;

$T$  – the time constant.

The characteristics of the control object are given in Table 1.

Table 1 – The characteristics of the control object

Name	Unit of measurement	Amount
Specific gravity of gas	kg/m <sup>3</sup>	0,72
Working pressure in the pipeline	MPa	2,5
Volume gas flow rate	m <sup>3</sup> /h	5500

Length of pipeline section	M	100
Pipe diameter	mm	200
Pressure drop across the pipeline	kgs/cm <sup>3</sup>	0,0125

Substitution of the initial data in the above formulas allows us to calculate the parameters of the transfer function.

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,031 \text{ m}^2$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}} = \frac{1,528}{0,031} \cdot \sqrt{\frac{0,72}{2 \cdot 0,0125 \cdot 0,098 \cdot 10^6}} = 0,838$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 0,031 \cdot 0,838^2}{1,528} = 2,849 \text{ c}$$

$$W(p) = \frac{1}{(Tp+1)(Tp+1)} = \frac{1}{(2,849p+1)(2,849p+1)}$$

Based on the transfer function, we construct a structural diagram of the control object. Since the transfer function is the ratio of the output signal to the input signal of the system, we have:

$$W(p) = \frac{1}{(2,849p+1)(2,849p+1)} = \frac{y(t)}{u(t)}$$

$$W(s) = \frac{1}{8,12s^2 + 5,69s + 1} = \frac{y(t)}{u(t)}$$

$$u(t) = 8,12s^2 \cdot y(t) + 5,69s \cdot y(t) + y(t)$$

$$s^2 = -0,7s - 0,12 + 0,12 \frac{u(t)}{y(t)}$$



Further, based on the calculations, we construct the structural diagram of the control object (Fig. 1) and obtain a step response of the system (Fig. 2):

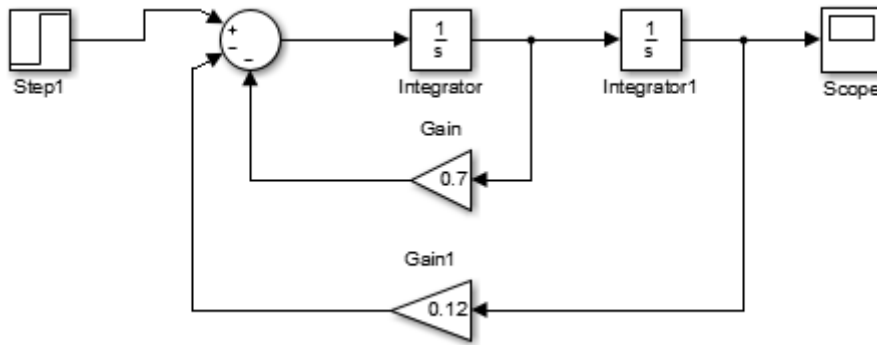


Figure 1 – The structural diagram of the control object

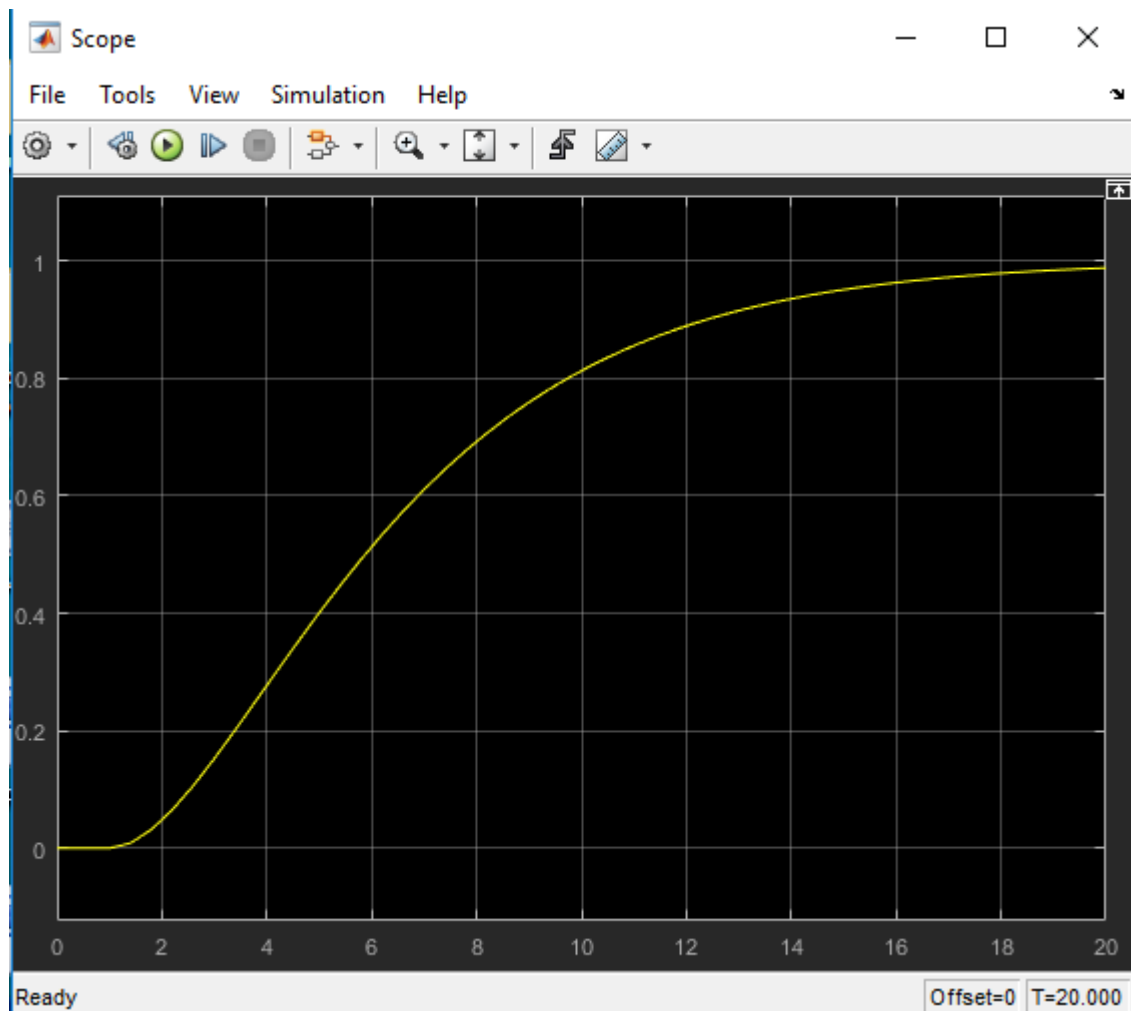


Figure 2 – The step response of the system

As it can be seen from the graph, there is a lag in the control object that is associated with the gas passage in the pipeline.

We synthesize a stationary optimal observer for the optimal observation of uncorrelated noise, perturbing the state, and the observation noise for a second-order dynamic object:

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + g(t)$$

The observed variable is given by:

$$y(t) = Cx(t) + p(t)$$

We calculate the optimal observer for our control object [2].

For this we solve the algebraic Riccati equation:

$$0 = A \cdot Q + Q \cdot A^T + V_1 - Q \cdot C^T \cdot V_2^{-1} \cdot C \cdot Q \quad (6)$$

$$-\frac{1}{V_2} Q^2 - 2 \cdot a \cdot Q + V_1^2 = 0 \quad (7)$$

Here  $V_1$  – the intensity of the noise  $g(t)$ , that perturbs the state,  $V_2$  – the intensity of the noise of measurements  $p(t)$ .

Assuming the values  $a = 0,7$ ;  $V_1 = 1,2$ ;  $V_2 = 0,8$ , we get:

$$\bar{Q}_{1,2} = [-a \pm \sqrt{a^2 + V_1^2 / V_2}] \cdot V_2 \quad (8)$$

$$Q_1 = (-a + \sqrt{a^2 + \frac{V_1^2}{V_2}}) \cdot V_2 = (-0,7 + \sqrt{0,49 + \frac{1,2^2}{0,8}}) \cdot 0,8 = 0,65$$

$$Q_2 = (-a - \sqrt{a^2 + \frac{V_1^2}{V_2}}) \cdot V_2 = (-0,7 - \sqrt{0,49 + \frac{1,2^2}{0,8}}) \cdot 0,8 = -1,77$$

Hence, there are two options for the steady-state coefficient of observer amplification:

$$\bar{K}_1 = \bar{Q}_1 \cdot C^T \cdot V_2^{-1}, \quad (9)$$

$$\bar{K}_2 = \bar{Q}_2 \cdot C^T \cdot V_2^{-1} \quad (10)$$

$$K_1 = 0,65 \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,8} = 0,81,$$

$$K_2 = -1,77 \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,8} = -2,21.$$

Considering that  $\bar{K} \geq 0$ , we will take the coefficient of observer amplification equal to 0.81.

The noise in the pipeline appears due to uneven consumption of gas by customers, as a result from which the gas pressure in the pipe changes dramatically. Also, the noise can be initiated by a change of the gas flow direction due to the appearance of contaminants and impurities in the pipe.

In this paper, two types of noise are taken into account: the noise, perturbing the state of the object, and the noise of measurements. Both types are displayed on the structural diagram of the control object with the observer, that was assembled in Matlab Simulink (Figure 3):

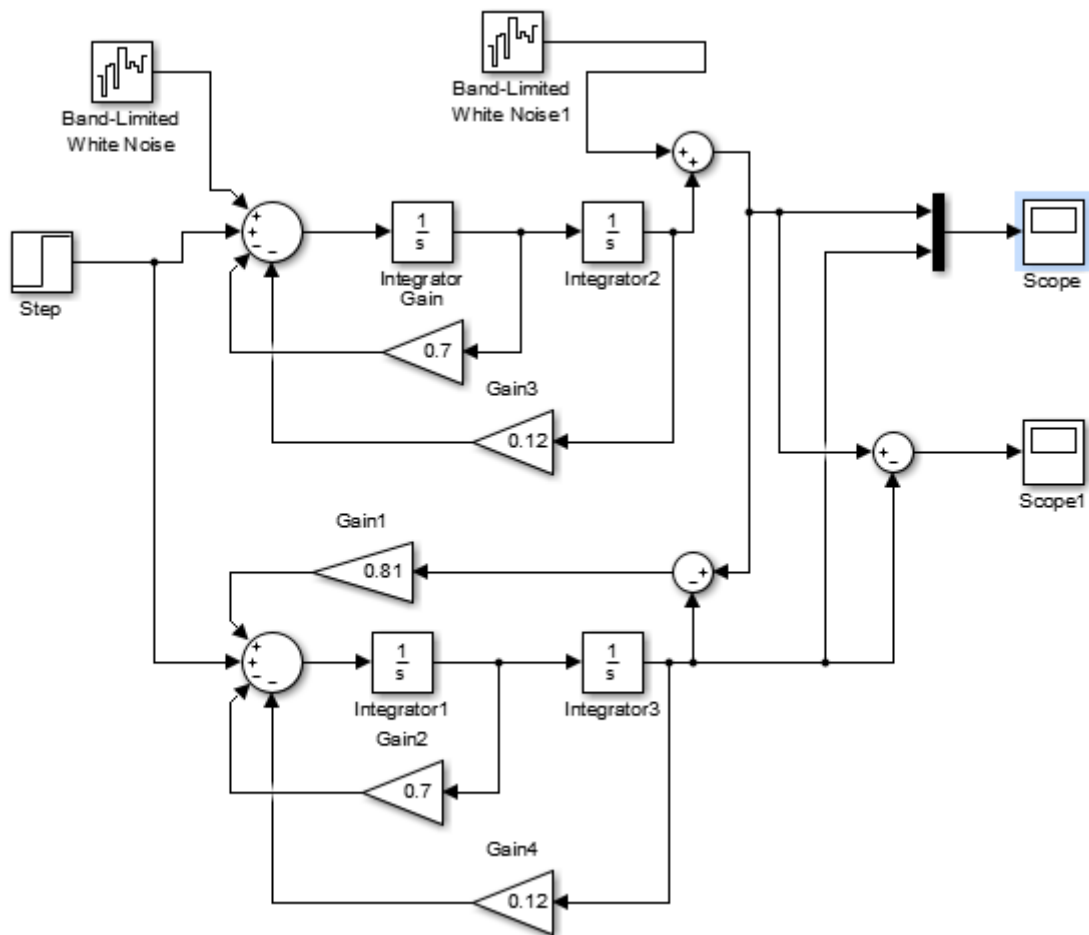
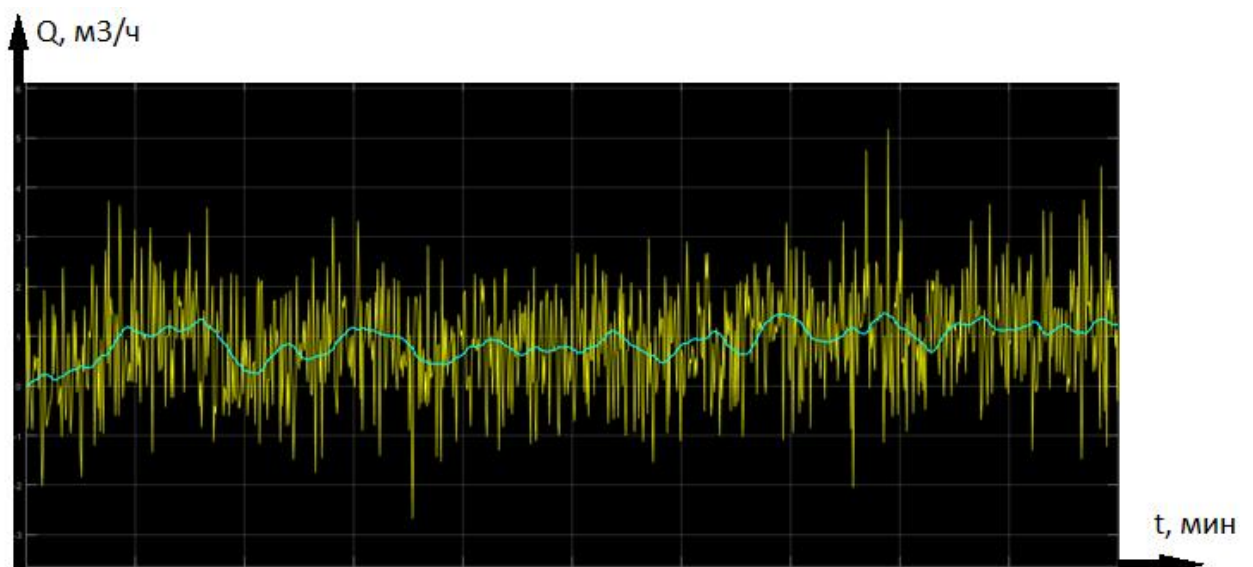


Figure 3 – The structural diagram of the control object with the observer

Modeling the system, we obtain the graph of noisy and filtered flow readings for 1 hour (3600 seconds):



#### Figure 4 – Noisy and filtered flow readings

According to this graph, it can be concluded, that with noisy flow readings (yellow color), the Kalman filter reduces the effect of the gas flow noise at the accounting unit, and based on incorrect flow readings, it shows the estimation of the technological values of gas consumption at the accounting unit. Thus, the Kalman filter expands the range of flow measurement and prevents economic losses from the unaccounted amount of gas.

Kalman filtering should be set in the case when the flow rate reaches the limit level on the low flow line ( $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ ). The controller is programmed to use filtering of the flow values which were received from the calculator.

### 3 Development of mathematical model of the gas reduction technological process

When reducing gas, it is necessary that the gas supplied to the consumer has a predetermined pressure, the excess of which can cause the accident. Therefore, we select the gas pressure after the valve as the controlled parameter of the process.

We define the transfer functions of the basic elements of the structural control diagram.

#### 3.1 Calculation of the controlled system parameters

The control object is the pipeline section between the pressure measurement point and the final control element. The length of the section is 1 meter. The dynamics of the control object  $W(p)$  expressed by the transfer function will be:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{T_{p+1}} e^{-\tau_0 p}, \quad (15)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad (16)$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q}, \quad (17)$$

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \quad (18)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (19)$$

where  $Q_k(p)$  – the volumetric gas flow rate through the valve;

$Q(p)$  – the measured volume flow;

$\gamma$  – the specific gravity of the gas;

$L$  – the length of the pipeline section;

$d$  – the diameter of the pipe;

$f$  – the cross-sectional area of the pipe;

$\Delta p$  – the pressure drop across the pipeline;

$\tau_0$  – the lag;

$T$  – the time constant.

The characteristics of the control object are given in Table 20.

Table 1 – The characteristics of the control object

Name	Unit of measurement	Amount
Specific gravity of gas	kg/m <sup>3</sup>	0,72
Working pressure in the pipeline	MPa	2,5
Volume gas flow rate	m <sup>3</sup> /h	5500
Length of pipeline section	M	1
Pipe diameter	mm	80
Pressure drop across the pipeline	kg/cm <sup>3</sup>	0,0125

Substitution of the initial data in the above formulas allows us to calculate the parameters of the transfer function. [5]

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ m}^2,$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}} = \frac{1,528}{0,00502} \cdot \sqrt{\frac{0,72}{2 \cdot 0,0125 \cdot 0,098 \cdot 10^6}} = 5,218,$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,00502 \cdot 5,218^2}{1,528} = 0,179 \text{ s},$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q} = \frac{1 \cdot 0,00502}{1,528} = 0,00329 \text{ s},$$

$$W(p) = \frac{1}{Tp + 1} \cdot e^{-\tau_0 p} = \frac{1}{0,179 \cdot p + 1} \cdot e^{-0,00329p}$$

Actuating mechanisms in the system are control pneumatic valves with electro-pneumatic positioners. The valve characteristic is linear. Furthermore, the positioner also has a linear characteristic of converting an analog current signal to a pneumatic signal.

In this mathematical model, it is assumed that the valve reacts to the difference between the set pressure value and the current value. If these values are mismatched, the valve reacts to changes immediately and opens/closes by a percentage to correct the error.

It is necessary to translate the value of the set pressure value into the corresponding current signal.

$$I_3 = \frac{6 - 0}{16 - 0} \cdot 16 + 4 = 10 \text{ mA}.$$

Next, we establish the element responsible for converting the current into a percentage of the opening. To determine this coefficient, it is necessary to calculate how many percents are accounted for the 1 V control errors of the range from -5 V to 5 V.

$$K_{valve} = \frac{100}{10} = 10 \% / V$$

Further, provided that the valves have a linear characteristic of converting the percentage of opening to the flow, we calculate the coefficient of amplification, depending on the maximum throughflow capacity of each valve.

According to the process, the control valve provides the maximum output pressure  $P_{Output} = 16 \text{ kgf/cm}^2$ .

Thus, for each percent of the valve opening, the following pressure values will occur:



$$K_p = \frac{16}{100} = 0,16 \frac{kgf}{cm^2} / \%$$

The gain of the pressure sensor will be 0.98

By modeling in the MathCAD package, we obtained the diagram shown in Figure 30.

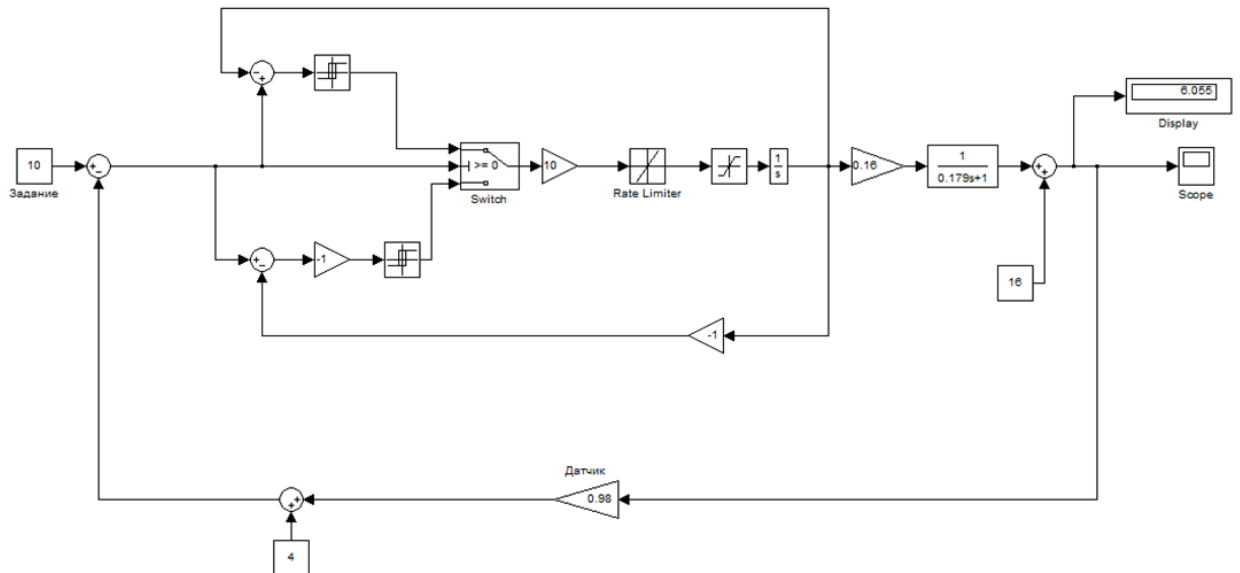


Figure 30 – Model MathCAD

### 3.2 Calculation of the regulator parameters

The step response of a closed-loop system without a regulator is shown in Figure 31.

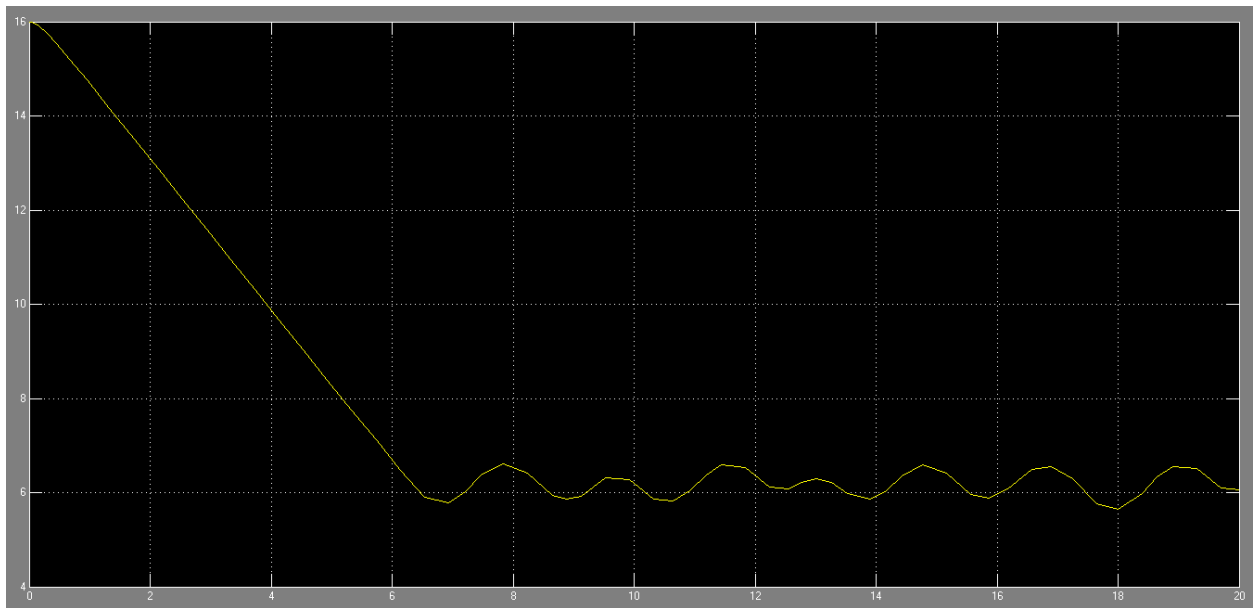


Figure 31 – The step response of a closed-loop system

As it can be seen from the step response, the system reaches a preset level within an acceptable time. This is due to the closed circuit of the positioner. However, undamped harmonic oscillations are observed in the zone of steady-state value.

In order to auto-oscillations, it is advisable to use a PD-controller.

The structural diagram of automatic pressure control consists of the following main elements: the assigning implication, the PD-controller, the final control element, the control object.

The transfer function of the PD controller is:

$$W_{\text{PID}}(s) = K + T_d s,$$

where  $K = 0,8$  and  $T_d = 0,3$  are coefficients, which were obtained experimentally.

The model of the system with the switched on PD-controller is shown in Figure 33.

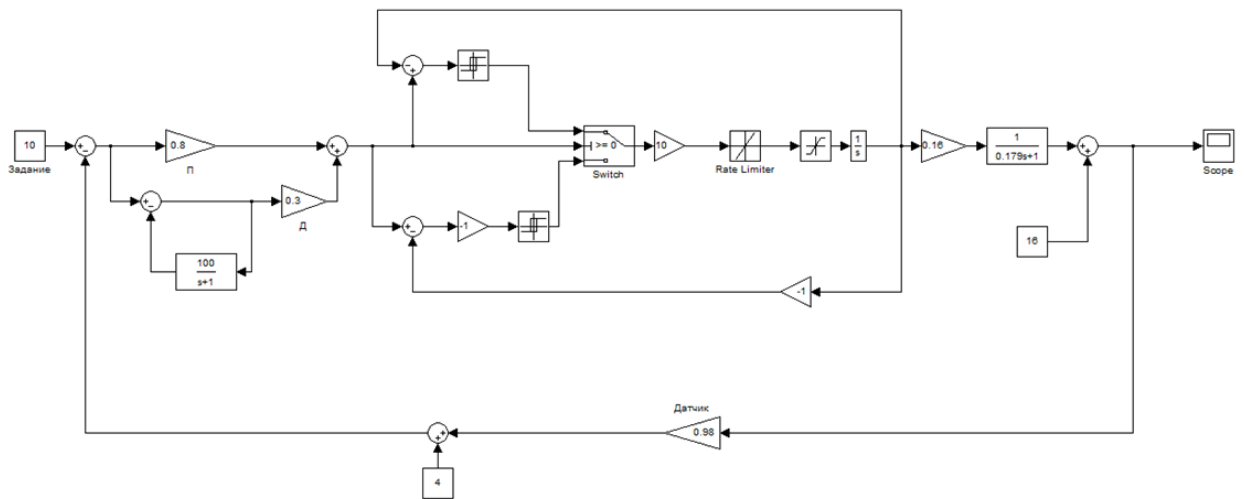


Figure 33 – Model MathCAD

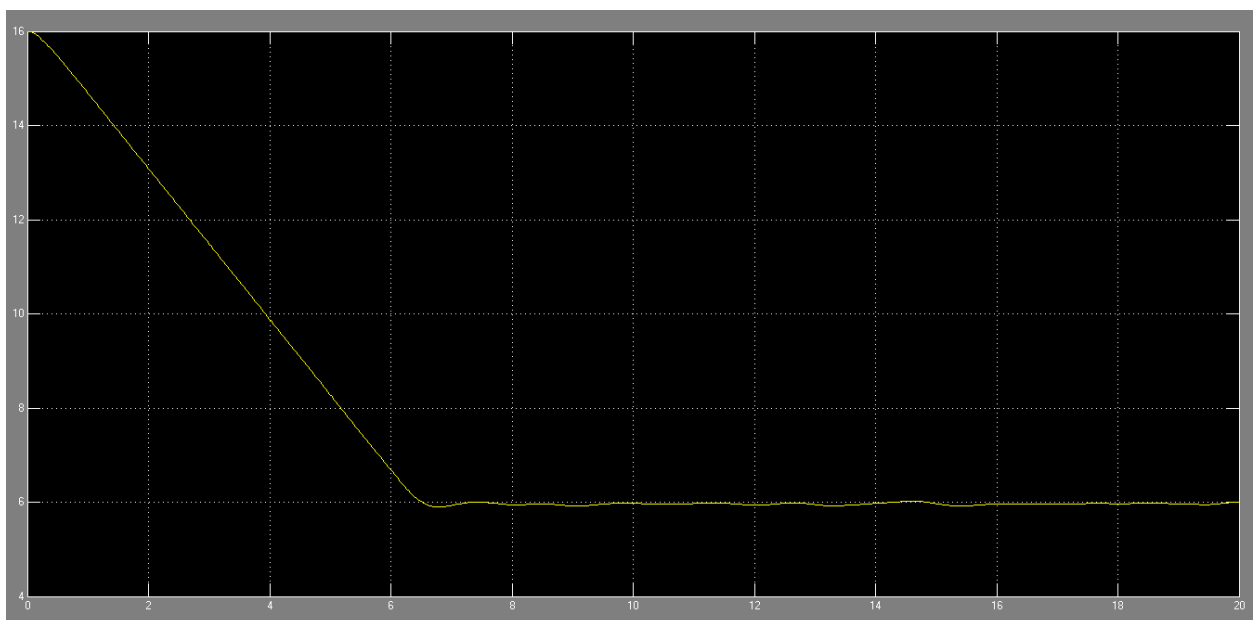


Figure 34 – The step response of the system with the PD-controller

As it can be seen from the figure, the transient curve with the switched on PD-controller has a slight overshoot, but the self-oscillations are almost completely smoothed and the transient time is 7 seconds, the overshoot is 1%.

Further, it is necessary to check the reaction of the system to various perturbing effects.

The main perturbing effect is the pressure change in the gas pipeline.

If the pressure in the gas pipeline decreases from 16 kgf/cm<sup>2</sup> to 10 kgf/cm<sup>2</sup>, the system should maintain a stable output pressure of 6 kgf / cm<sup>2</sup>.

The modeling of this situation led to the transfer function that is shown in Figure 35.

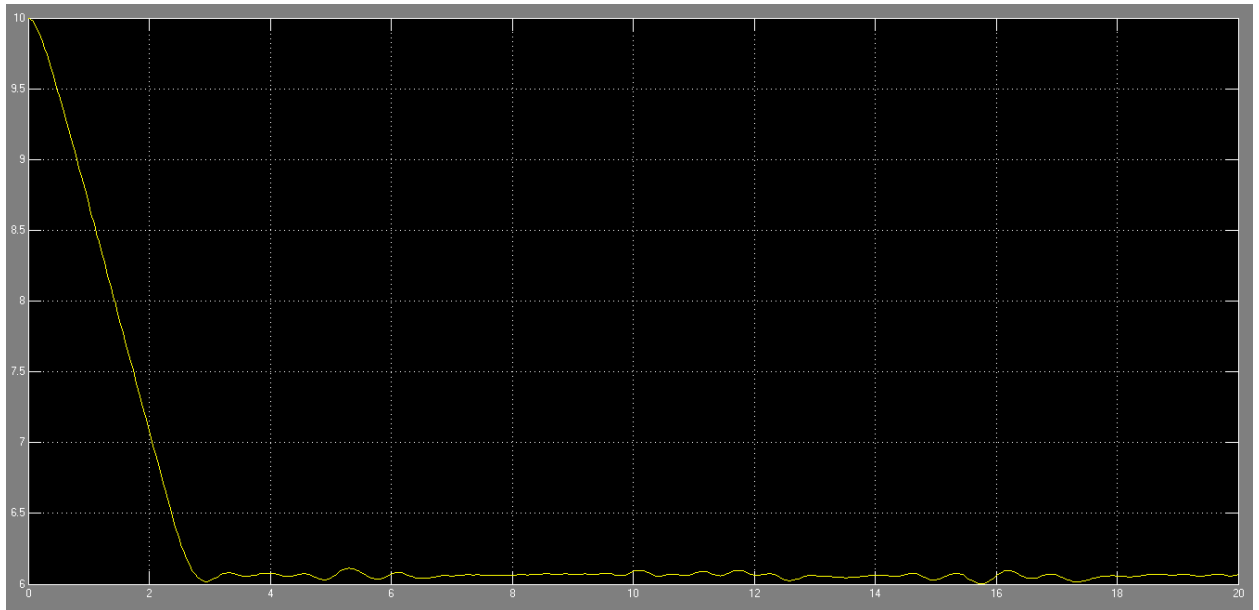


Figure 35 – The step response of the system while reducing the pressure to 10 kgf/cm<sup>2</sup>

In accordance with the step response, it can be observed that the steady-state was reached, and the transient time has decreased to 3 seconds, the overshoot is 1.5%.

We also consider the situation of an abrupt perturbation, for example, with a sharp increase in the output pressure by 2 kgf/cm<sup>2</sup>. It is possible with a short-term shutdown of the output tap. The step response is shown in Figure 36.

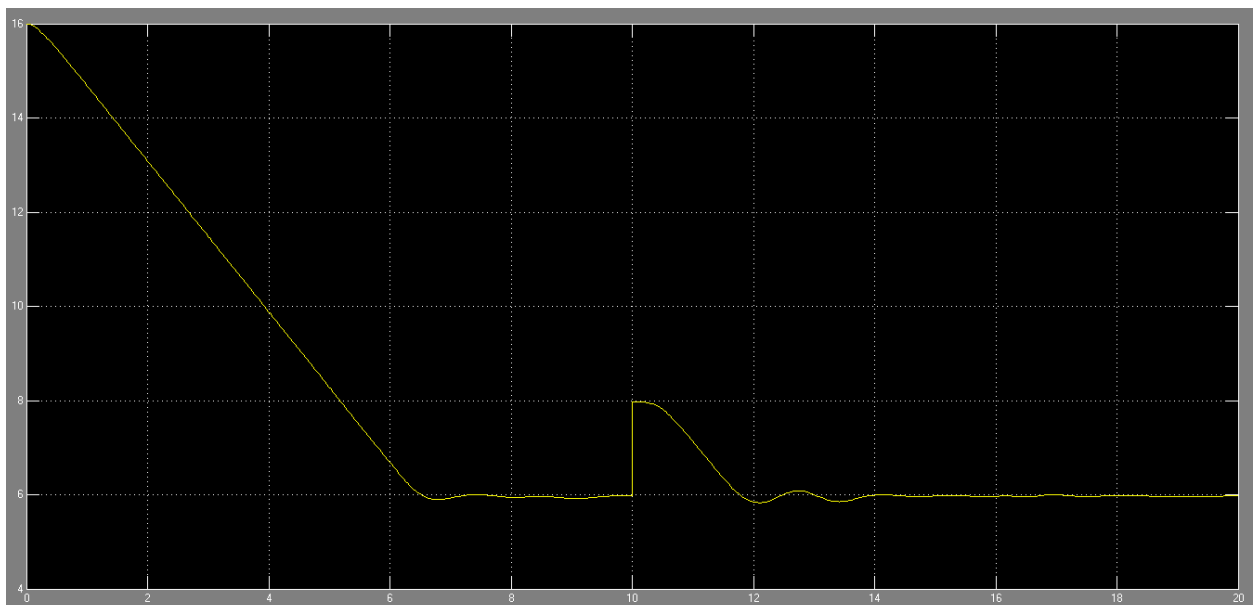


Figure 36 – The step response

The perturbation occurred at the tenth second of the process and was completely compensated for 3 seconds, the overshoot was 1.5%. During the process, there was a slight overshoot that did not affect the quality of the transient process.

In addition, the reverse situation can be analyzed. It occurs when the tap is closed for a short time in front of the controller. In this case, there will be a short-term pressure drop. The step response is shown in Figure 37.

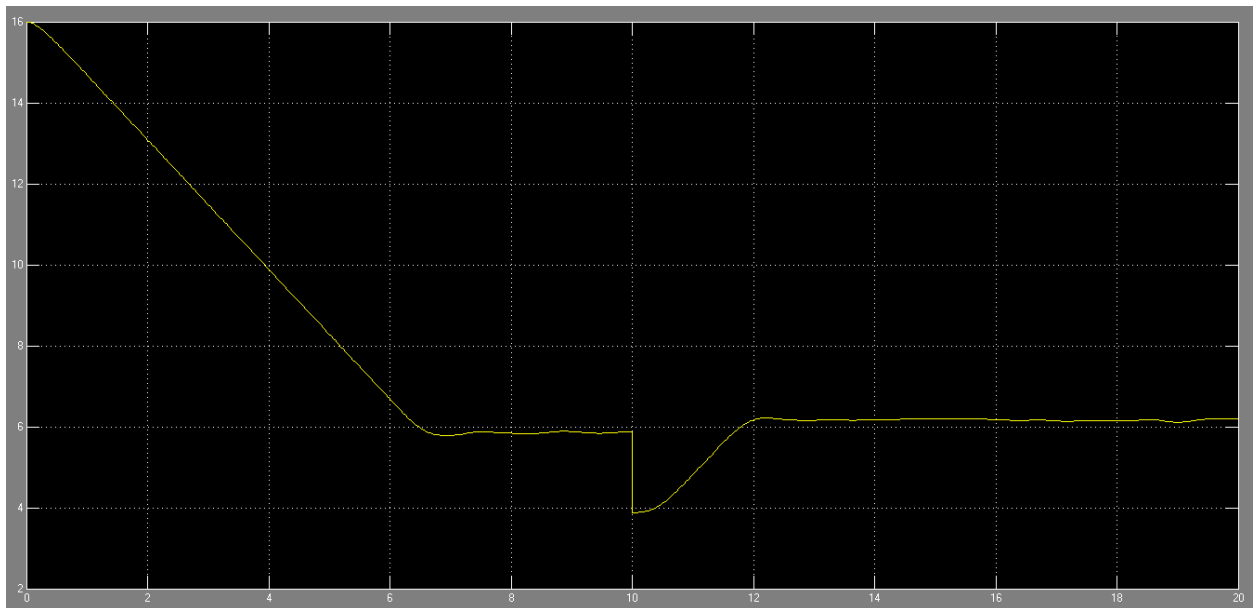


Figure 37 – The step response

The system worked out the perturbation in the same way and returned the transient process to a steady state after 2 seconds, the overshoot was 1%.

During the analysis, the system successfully simulated perturbations (the pressure drop in the gas pipeline, the abrupt increase in the gas pressure, when the valve is closed at the controller output, the abrupt drop in the gas pressure at the closure of the valve in front of the controller).

The overshoot and the transient process time are within the established requirements.

The PD-controller principle with the coefficients  $K=0,8$  и  $T_d=0,3$  was chosen for regulatory purposes.

Thus, it can be concluded that it is advisable to use the system for the regulation of the small gas flow pressure.

