

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)» в г. Миассе  
Факультет «Электротехнический»  
Кафедра «Автоматика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.С. Голощапов  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автоматизированная система удаленного контроля протечек воды

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 270304.2018.331.00 ПЗ ВКР

Руководитель проекта  
старший преподаватель  
кафедры «АиУ»  
\_\_\_\_\_ В.В. Абдуллин  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор проекта  
студент группы МиЭт-482  
\_\_\_\_\_ А.П. Гусев  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер  
кафедры «АиУ»  
\_\_\_\_\_ Т.А. Барбасова  
\_\_\_\_\_ 2018 г.





требуются такие же точные датчики, как в системах обнаружения утечек в магистральных трубопроводах, поэтому обычно такие системы разрабатывают менее точными, но более доступными с экономической точки зрения.

Для создания “бытовой” системы обнаружения утечки воды, в места наиболее вероятного возникновения утечки ставятся специальные датчики. При контакте с водой, они отправляют сигнал на управляющее устройство, которое осуществляет управление исполнительными механизмами (электромагнитные клапаны) и сигнализирует о наличии утечки. В зависимости от того, с какого датчика поступил сигнал определяется местоположение утечки.

Не обязательно устанавливать большое количество датчиков, чтобы создать систему обнаружения утечек. Если в трубопроводе уже есть полевые датчики (расходомеры, манометры, термометры), можно использовать их для обнаружения утечки.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		9

## 1 ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Прежде чем проектировать систему необходимо сделать обзор разработок, уже существующих на рынке, а также изучить основные методы обнаружения утечки из трубопровода.

### 1.1 Обзор существующих разработок

В ходе поиска были обнаружены следующие системы обнаружения утечки.

#### 1.1.1 Система защиты от протечек воды GIDROLOCK

Состоит из датчиков протечки, подключённых к устройству управления. При попадании воды на электроды датчика, подключенного к блоку управления, включается звуковое оповещение и выдается управляющий сигнал на шаровые электроприводы для перекрытия подачи воды.

Состав системы GIDROLOCK:

1. Блок управления с аккумулятором (рисунок 1).
2. Шаровые электроприводы (рисунок 2).
3. Датчики протечки воды (рисунок 3).



Рисунок 1 – Блок управления системы GIDROLOCK

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата						

270304.2018.331.00 ПЗ



Рисунок 2 – Электропривод системы GIDROLOCK

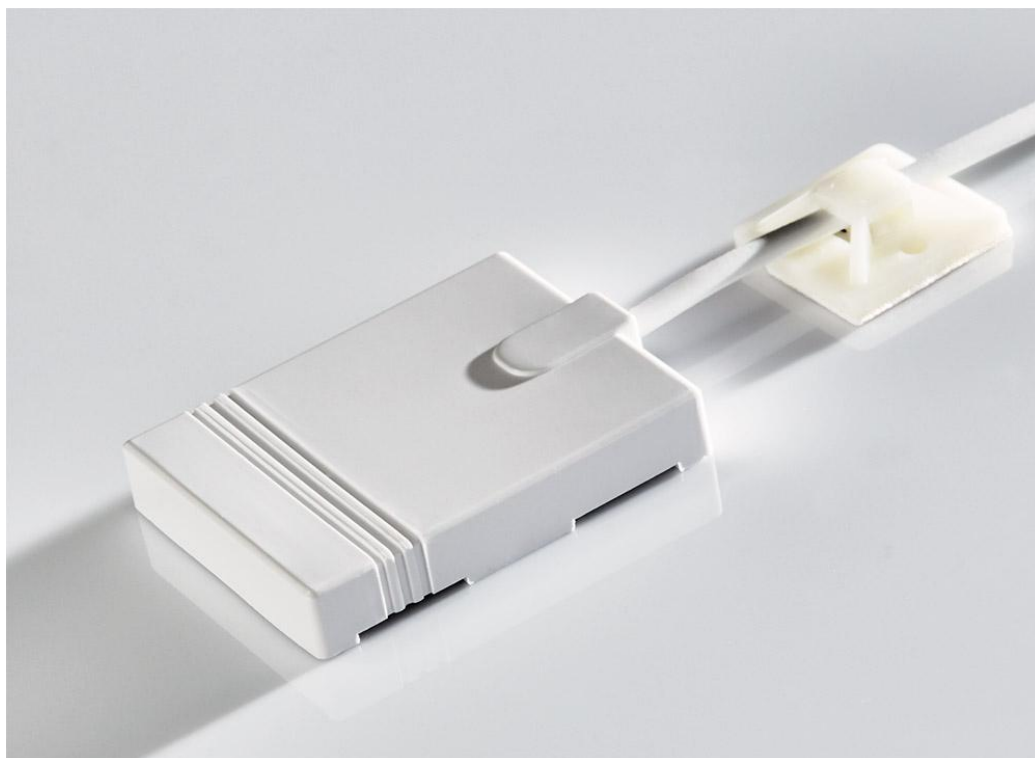


Рисунок 3 – Датчик протечки системы GIDROLOCK

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

270304.2018.331.00 ПЗ

Лист

11

Ещё существуют такие системы как Аквасторож и Нептун. Принцип их работы аналогичен описанному выше, поэтому дополнительно на них останавливаться не имеет смысла.

### 1.1.2 Система TraceTek

Структура данной системы не отличается от структуры системы GIDROLOCK. Отличие состоит в методе обнаружения утечки. Для обнаружения утечки в этой системе используется чувствительный кабель (рисунок 4). Основным преимуществом кабеля по сравнению с точечными датчиками является большая площадь покрытия. Кабель состоит из сенсорных жил, которые распознают контакт с водой, жилы контроля целостности, которая нужна для своевременного обнаружения разрыва кабеля и сигнальной жилы, по которой передаётся сигнал на управляющее устройство. Существуют разные виды кабеля для работы с разными типами жидкости.

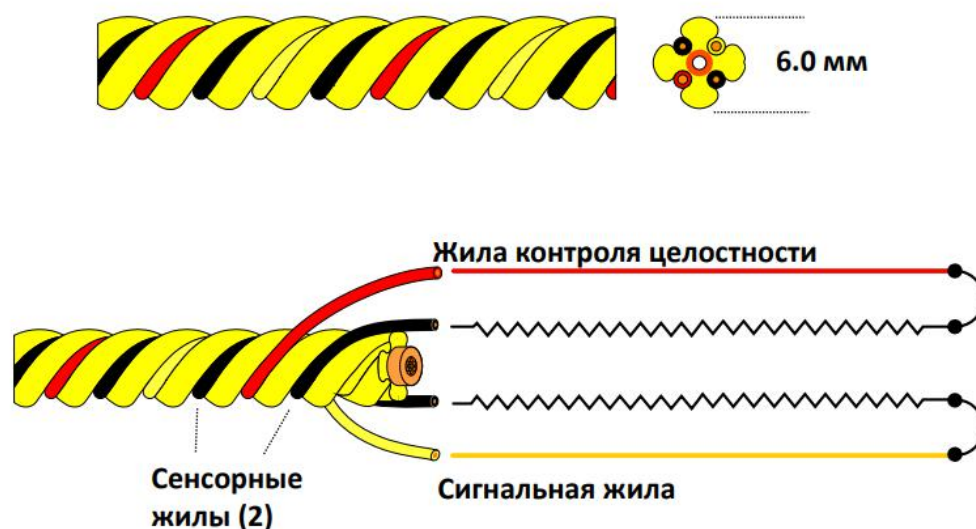


Рисунок 4 – Чувствительный кабель

### 1.1.3 Система WaveControl

Выход продукта, вследствие утечки, сопровождается распространением волны акустической эмиссии. Для идентификации волны применяются высокоскоростные датчики давления (рисунок 5), снимающие показания с частотой 1000 раз в секунду.



Рисунок 5 – Датчик давления

Полученные показания преобразовываются и передаются в локальный контроллер (рисунок 6). Локальный контроллер оцифровывает полученные данные и проводит сравнительный анализ соответствия полученных эюр акустической эмиссии с образцовыми и, в случае превышения установленного значения (порога) корреляции, принимает решение об обнаружении утечки.



Рисунок 6 – Локальный контроллер





Методы обнаружения утечки:

1. Внутренние:

- а) контроль давления или потока;
- б) метод волн пониженного давления;
- в) метод баланса;
- г) методы, основанные на наблюдениях состояния жидкости;
- д) статистические методы;
- е) модель переходного процесса в реальном времени;
- ж) расширенная модель переходного процесса в реальном времени;

2. Внешние:

- а) чувствительные датчики;
- б) чувствительный кабель;
- в) аналитический термальный детектор;
- г) детекторы акустической эмиссии;
- д) детектор испарений;
- е) волоконно-оптические системы обнаружения утечек.

Далее следует краткое описание каждого из приведённых выше методов.

Внутренние методы обнаружения утечки основаны на использовании полевых приборов, таких как: датчики температуры, давления, расходомеры. Основное преимущество таких систем - экономичность, потому что они используют имеющиеся приборы для обнаружения утечки.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		15

Контроль давления или потока. Через некоторое время после возникновения утечки поток или давление начнут изменяться с высокой скоростью. С помощью полевых датчиков её можно обнаружить.

Метод волн пониженного давления. После пробоя жидкость начинает вытекать с высокой скоростью, что формирует волны пониженного давления, которые распространяются в обоих направлениях со скоростью звука и могут быть обнаружены. Сложный математический алгоритм анализирует данные датчиков давления и способен за считанные секунды указать на место утечки с точностью до 50 метров. Экспериментальные данные показали способность метода обнаруживать утечки диаметром менее 3 мм и работать с наименьшей частотой ложных срабатываний в отрасли – ложные срабатывания реже раза в год. Однако, если утечка по каким либо причинам не была обнаружена сразу, система, основанная на этом методе, не сможет обнаружить утечку спустя время.

Метод баланса основан на законе сохранения массы. Система вычисляет размер утечки( $\Delta M$ ) по формуле (1).

$$\Delta M = M_1 - M_0, \quad (1)$$

где  $M_1$  – масса жидкости на входе трубы;

$M_0$  – масса жидкости на выходе трубы.

Методы, основанные на наблюдениях состояния жидкости. Эти методы основаны на математических моделях жидкости, представленных в виде пространства состояний. Их можно разделить на две группы: бесконечномерные модели и конечномерные модели. Первый тип основан на паре квазилинейных гиперболических уравнений в частных производных: уравнениях импульса и непрерывности, которые представляют динамику жидкости в трубопроводе. Конечномерные модели строятся из обобщённого вида уравнений импульса и непрерывности.

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата						

Статистические методы анализируют данные с датчиков давления или потока, а также сведения о предыдущих авариях, для того чтобы подтвердить или опровергнуть гипотезу о наличии утечки. Для анализа используются инструменты теории вероятностей и математической статистики.

Модель переходного процесса в реальном времени (ППРВ) является усовершенствованной версией метода баланса. В его основе лежит не только закон сохранения массы, но и законы сохранения импульса и энергии. Этот метод использует математические алгоритмы, чтобы рассчитать поток жидкости, давление и температуру в каждой точке трубопровода в режиме реального времени. Метод позволяет обнаружить утечку и оценить её величину.

Расширенная модель переходного процесса в реальном времени (Р-ППРВ) объединяет предыдущий метод обнаружения утечки со статистическими методами. Таким образом увеличивается надёжность и чувствительность системы. Сначала модуль ППРВ рассчитывает расход жидкости на входе и выходе, например, при помощи измерения температуры и давления. Затем сравнивает с измеренным расходом на входе и выходе.

$$x = Q_1 - Q'_1, \quad (2)$$

где  $Q_1$  – измеренный расход на входе трубы;  
 $Q'_1$  – рассчитанный расход на входе трубы.

$$y = Q_0 - Q'_0, \quad (3)$$

где  $Q_0$  – измеренный расход на выходе трубы;  
 $Q'_0$  – рассчитанный расход на выходе трубы.

Если разница близка к нулю, значит утечки нет. Иначе,  $x$  и  $y$  сравниваются с имеющимися в базе данных значениями и, если обнаружено совпадение, подаётся сигнал об утечке. Схема работы метода изображена на рисунке 7.

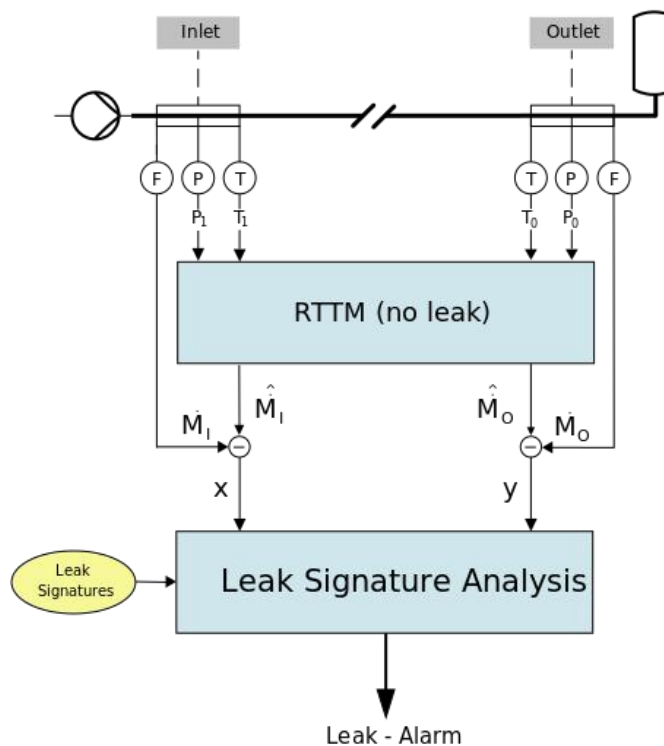


Рисунок 7 – Расширенная модель переходного процесса в реальном времени

Внешние методы обнаружения утечки. Эти методы более чувствительные и надёжные чем внутренние, однако они требуют установки дополнительного оборудования, что увеличивает их стоимость и усложняет эксплуатацию.

Чувствительный датчик протечки оснащён двумя или тремя электродами. Так как вода является проводником электричества, при намокании электроды замыкаются, и датчик отправляет сигнал на управляющее устройство.

Чувствительный кабель состоит из полупроводника, защищённого внешней проницаемой оболочкой. По кабелю проходит сигнал, контролируемый микропроцессором. В случае протечки жидкость проникает через внешнюю оболочку и воздействует на полупроводник, в результате электрический сигнал

искажается, а микропроцессор обнаруживает утечку и её расположение с точностью до метра. Этот метод можно применять как с наземным, так и подземным трубопроводом.

Аналитический термальный детектор – это новый эффективный способ обнаружения утечки жидкости, температура которой отличается от температуры окружающего воздуха. Тепловизионная камера и инфракрасный датчик с высокой точностью обнаруживает инфракрасные волны, излучаемые жидкостью, а специальное программное обеспечение анализирует данные и делает вывод о наличии утечки.

Детекторы акустической эмиссии. Акустические датчики прикрепляют к внешней стенке трубопровода. Шум, создаваемый потоком жидкости в нормальном состоянии, записывается и сохраняется в базе данных. При возникновении утечки жидкость будет проходить через отверстие в трубе, создавая определённый звуковой сигнал, который могут распознать акустические датчики.

Детектор испарений. По всей длине трубопровода устанавливается трубка, способная реагировать на испарения определённого вещества.

Волоконно-оптические системы обнаружения утечек. Действие метода аналогично методу чувствительного кабеля: вдоль трубопровода устанавливается оптическое волокно, по которому проходит оптический сигнал, воспринимаемый микропроцессором. Жидкость, вступая в контакт с оптическим волокном, изменяет его отражательные свойства, что, в свою очередь, влияет на световой сигнал, проходящий по волокну. Изменения регистрируются контроллером.

Так как задачей является проектирование системы на основе существующих датчиков, очевидно, что необходимо использовать внутренние методы обнаружения утечек. Руководствуясь тем, что наиболее часто в трубопроводах устанавливают расходомеры и преобразователи давления воды, выберем методы, которые основаны на этих параметрах. В данной работе решено было остановиться на методе баланса потока воды и методе потерь давления.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		19

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК

### 2.1 Формирование требований к системе

Система должна выполнять следующие функции:

1. Отображать значения текущего расхода воды и давления на двух концах трубы в режиме реального времени.
2. Сигнализировать о возникновении утечки.
3. Автоматически перекрывать подачу воды при возникновении утечки.
4. Предусматривать возможность ручного управления клапаном.
5. Интерфейс системы должен быть простым и интуитивно понятным.

Входными данными системы являются:

1. Расход на входе и выходе.
2. Давление на входе и выходе.
3. Сигнал для ручного управления клапаном.

Выходными данными являются:

1. Сигнал индикации расхода.
2. Сигнал индикации давления.
3. Сигнал индикации наличия утечки.
4. Сигнал на клапан для отключения воды.

Требования по электропитанию:

1. Питание от сети 220 В.
2. Малое потребление энергии.

Метрологические требования:

1. Измерение расхода до 3 м<sup>3</sup>/ч.
2. Погрешность измерения расхода не более ±5 %.
3. Измерение давления до 10<sup>6</sup> Па.
4. Погрешность измерения давления не более ±1 %.

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата						

270304.2018.331.00 ПЗ

## 2.2 Разработка структурной схемы

Разработку системы, отвечающей требованиям, которые представлены в предыдущем пункте настоящего раздела, следует начать с составления структурной схемы. Структурная схема необходима для того, чтобы наглядно показать основные компоненты системы и проиллюстрировать связи между ними. Структурная схема системы приведена в приложении.

Как видно из схемы, система состоит из нескольких датчиков, подключенных к устройству сбора данных. Клапан нужен чтобы автоматически отключать воду для предотвращения последствий утечки. Отображение информации и управление системой осуществляется с ПК.

Теперь следует осуществить выбор элементов системы.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		21



### 3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

#### 3.1 Выбор устройства сбора данных

Устройство сбора данных (УСД) – это устройство, которое принимает сигналы с датчиков и отправляет их в компьютер.

Выберем устройство ЛА-5 (рисунок 8), компании ЗАО “Руднев-Шилев”. Характеристики устройства приведены в таблице 1.



Рисунок 8 – УСД ЛА-5

Таблица 1 – Характеристики УСД ЛА-5

Количество аналоговых каналов	16 однополюсных или 8 дифференциальных каналов с мультиплексированием
Диапазоны входного сигнала	от 0 до 10 В
Входное сопротивление	не менее 100 МОм
Защита по напряжению	+ 15 В (при включенном питании)
Тип АЦП	Последовательного приближения
Количество бит в выходном регистре АЦП	12
Диапазон частот выборок	от 24 Гц до 16 кГц

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

270304.2018.331.00 ПЗ

Лист

22



приближения. Затем вырабатывается напряжение, лежащее посередине найденного интервала и опять сравнивается с  $U_x$  и т.д.

Напряжение для сравнения вырабатывается с помощью ЦАП, который управляется регистром последовательного приближения. После  $N$  тактов из этого регистра и забирается результат измерения ( $N$  бит) в двоичном коде.

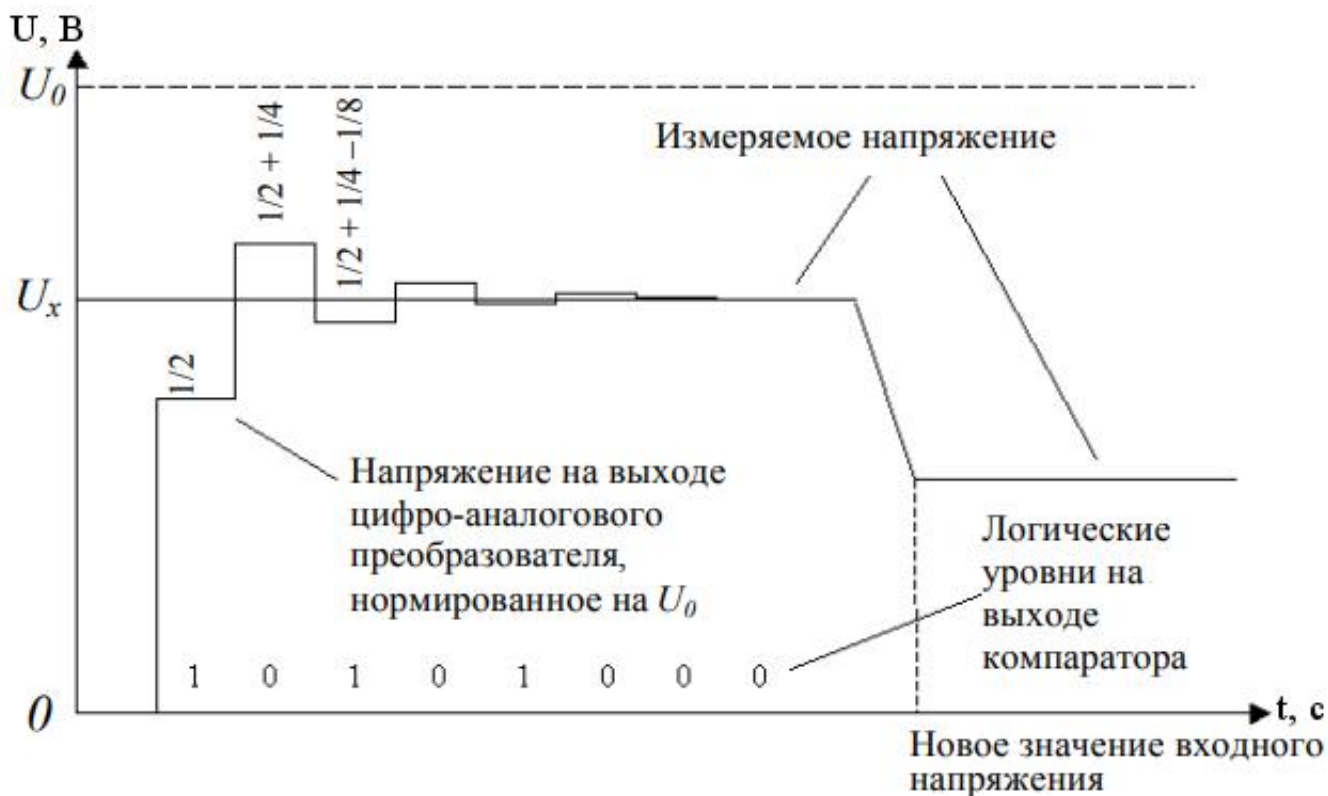


Рисунок 9 – Временные диаграммы напряжений на входах компаратора АЦП последовательного приближения

В примере, приведенном на рисунке 10, на первом такте измеряемое напряжение  $U_x$  превышает  $1/2 U_0$  и на выходе компаратора появится логическая единица. Эта единица запишется в старший разряд регистра. На втором такте напряжение на выходе ЦАП увеличится на  $1/4 U_0$  и станет  $3/4 U_0$ . При втором измерении напряжение на выходе ЦАП превысило напряжение  $U_x$ , поэтому на выходе компаратора появится логический ноль. Этот ноль запишется во второй разряд регистра последовательного приближения, и напряжение на выходе ЦАП уменьшится на  $1/8 U_0$  от предыдущего значения, став  $5/8 U_0$ . После  $N$  тактовых

импульсов мы получим полный N-разрядный двоичный код, соответствующий входному напряжению.

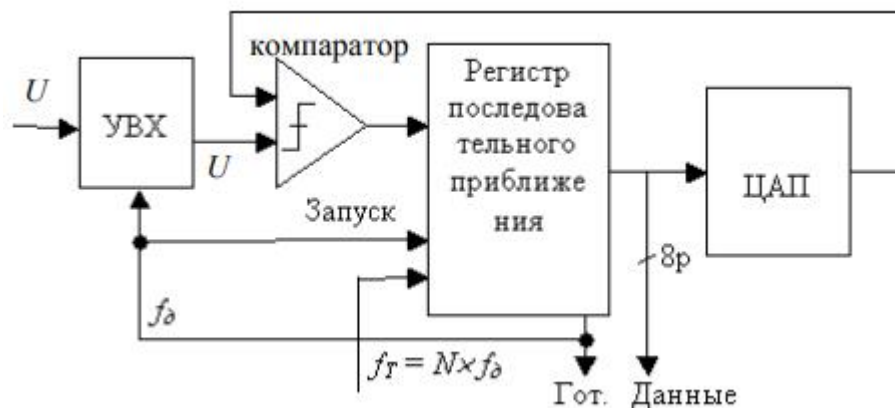


Рисунок 10 – Структурная схема АЦП последовательного приближения

АЦП последовательного приближения могут работать как в режиме одиночного преобразования, так и в режиме создания непрерывного потока данных. На рисунке 6 показан АЦП в режиме непрерывного преобразования, когда сигнал готовности результата запускает следующий цикл.

Основными характеристиками АЦП являются его разрядность и максимальная частота дискретизации.

УСД имеет разрядность 12 бит, то есть весь измеряемый диапазон делится на 212 ступенек. Таким образом, точность преобразования можно рассчитать по формуле (4).

$$T = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^{12}} \quad (4)$$

где  $U_{\max}$  - наибольшее напряжение на входе АЦП;

$U_{\min}$  - наименьшее напряжение на входе АЦП.



Продолжение таблицы 3

6	PB 5	Порт В цифрового ввода/вывода
7	PB 6	
8	PB 7	
9	DGND	Цифровая земля
10	PA 0	Порт А цифрового ввода/вывода
11	PA 1	
12	PA 2	
13	PA 3	
14	PA 4	
15	PA 5	
16	PA 6	
17	PA 7	
18	+5 В	Выход +5 В
19		
20	NC	Не подсоединены
21		
22	+12 В	Вход +12 В
23		
24	NC	Не подсоединены
25		

Передача данных осуществляется по интерфейсу 10/100Base-TX. Он позволяет передавать данные по медным проводам (витая пара) со скоростью в пакете 10 Мбис/с или 100 Мбит/с. Для подключения кабеля используется стандартный разъём RJ-45.

### 3.2 Выбор датчиков

#### 3.2.1 Расходомер

Для учёта расхода воды используем расходомеры Ду20 от НПП «Тепловодохран» (Рисунок 11), которые имеют ряд существенных преимуществ:

1. Отличается максимальной точностью замеров.
2. Круглосуточно работает без перебоев.
3. Имеет автоматическую защиту от перенапряжения.
4. Может работать в системах с самыми различными жидкостями.
5. Удобно монтируется практически в любые системы.
6. Длительное время работает без специальной отладки или обслуживания.



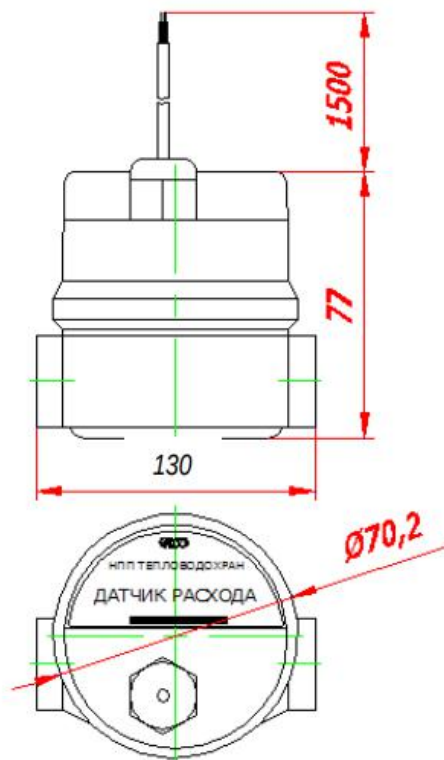


Рисунок 11 – Расходомер Ду20

### 3.2.2 Датчик давления

Чтобы система могла реагировать на резкое понижение давления, необходимо установить датчик давления. Выбор пал на преобразователь давления жидкости РТЛ-10 (Рисунок 12).



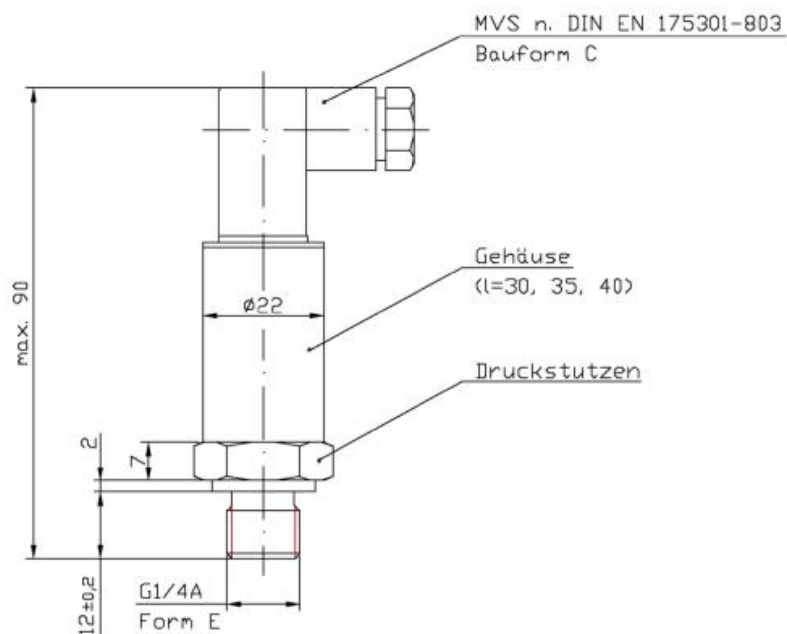


Рисунок 12 – Преобразователь давления PTL-10

Основные характеристики датчика давления:

1. Выходной сигнал – от 0 до 10 В, мин.нагрузка 5 кОм.
2. Напряжение питания – 24 В.
3. Потребляемая мощность – 0,4 Вт.
4. Тип давления – относительное.
5. Перегрузка – двойное номинальное давление.
6. Скачок давления – тройное номинальное давление.
7. Измерительный элемент – нержавеющая сталь. Диафрагма – тонкопленочный полисиликоновый резистор.
8. Рабочая температура от -40 до 125°C.
9. Температура окружающей среды от -40 до 105°C.

### 3.3 Выбор исполнительных устройств

Исполнительным устройством в проектируемой системе является клапан, который будет останавливать подачу воды, если система обнаружит утечку.

Используем нормально открытый соленоидный клапан AR-2W12. Он открыт при отсутствии напряжения на его индукционной катушке. При подаче напряжения на катушку магнитный клапан этого типа закрывается и остается закрытым все время, пока напряжение подается на катушку. При обрыве провода управляющего напряжения клапан будет открыт. Так как большую часть времени клапан должен быть открыт, он идеально подходит для нашей системы. Клапан изображен на рисунке 13, а его технические характеристики представлены в таблице 5.

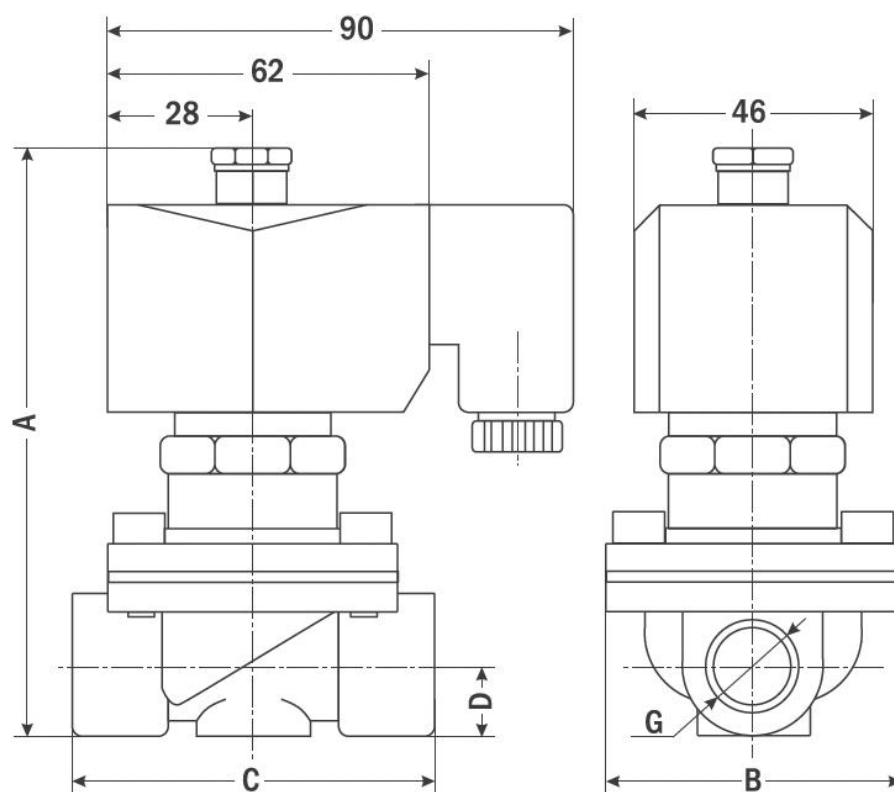


Рисунок 13 – Клапан AR-2W12

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

270304.2018.331.00 ПЗ

Лист

31



Таблица 6 – Характеристики симисторного оптодрайвера МОС3061

Максимальный ток нагрузки	1,8 А
Максимальное коммутируемое напряжение	250 В
Напряжение управления (ТТЛ уровень)	5 В
Ток управления	10 мА

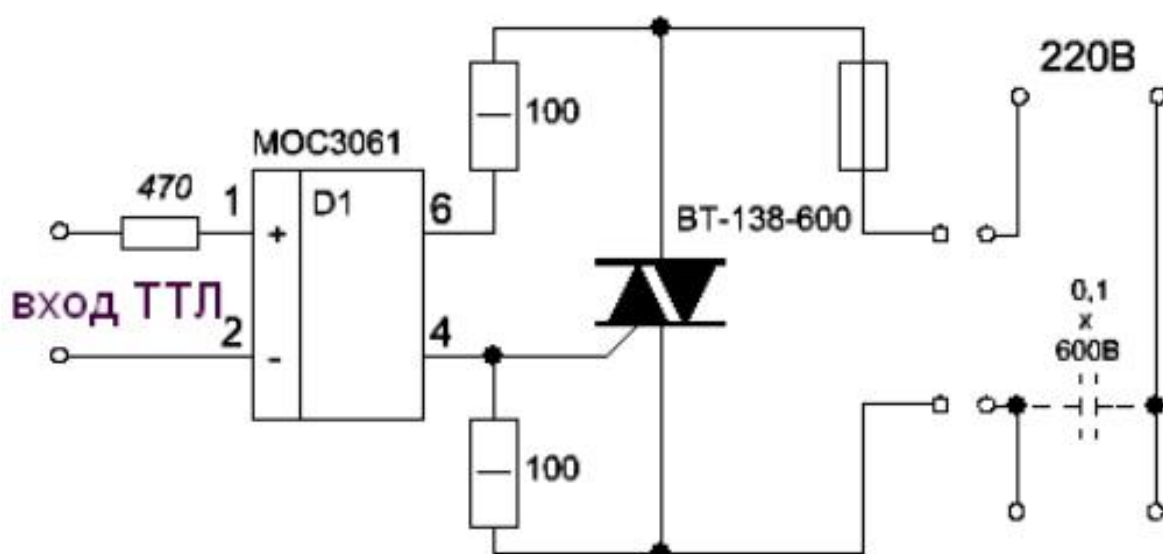
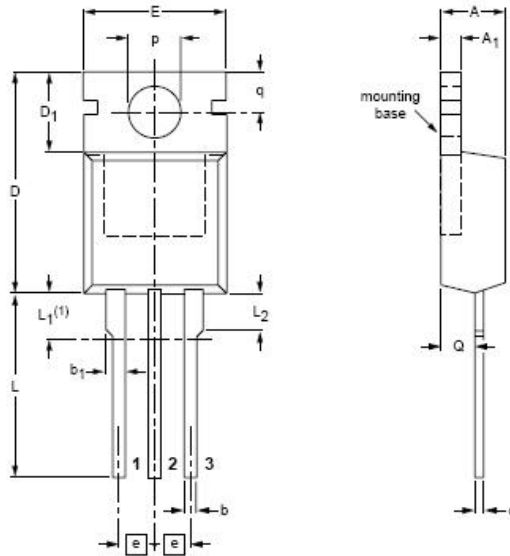


Рисунок 14 – схема включения оптодрайвера МОС3061

В качестве симистора взят BT 138 (рисунок 15).



UNIT	A	A <sub>1</sub>	b	b <sub>1</sub>	c	D	D <sub>1</sub>	E	e	L	L <sub>1</sub> ( <sup>1</sup> )	L <sub>2</sub> max.	p	q	Q
mm	4.5 4.1	1.39 1.27	0.9 0.6	1.3 1.0	0.7 0.4	15.8 15.2	6.4 5.9	10.3 9.7	2.54	16.0 13.5	3.30 2.79	3.0	3.8 3.6	3.0 2.7	2.6 2.2

Рисунок 15 – Симистор ВТ 138

Параметры симистора представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры симистора ВТ 138

Максимальное напряжение в закрытом состоянии	600 В
Максимальное среднеквадратическое значение тока в открытом состоянии	12 А
Напряжение удержания	1,5 В
Ток удержания	40 мА
Время включения	2 мкс

Делаем вывод, что данный симистор нам подходит.

### 3.5 Схема питания УСД

Для питания устройства сбора данных от сети 220 В требуется схема согласования, поскольку оно питается от постоянного напряжения в 12 В. Используем понижающий трансформатор PS60 [25]. Он подходит по всем параметрам.

Рассчитаем мощность УСД, необходимую для дальнейшего выбора элементов, по формуле (5):

$$P = I \cdot U, \quad (5)$$

где  $I$  – ток, потребляемый УСД;

$U$  – необходимое напряжение УСД.

При подстановке необходимых значений результат находим по формуле (6):

$$P = 0,2 \cdot 12 = 2.4 \text{ (Вт)}. \quad (6)$$

Параметры трансформатора представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры трансформатора Б3822

Входное напряжение	220 В
Выходное напряжение	12 В (переменное).
Мощность	60 Вт
Максимальный ток нагрузки	5 А
Степень защиты:	IP 20
Масса	0,4 кг

Стабилизатор является важным звеном в любом источнике питания. Для выбора стабилизатора рассчитаем необходимую мощность [30].

Используем формулу (7):

$$P_{\text{стаб.}} = P_{\text{потр.}} \cdot \frac{220}{V_{\text{мин.}}}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{потр.}}$  – максимальная мощность потребителей;

$V_{\text{мин.}}$  – минимальное сетевое напряжение.

При подстановке необходимых значений получаем результат:

$$P_{\text{стаб.}} = 7,6 \text{ (Вт)} \quad (8)$$

Исходя из полученных данных, делаем вывод, что необходимо выбрать стабилизатор напряжения мощностью не менее 7,6 Вт.

Используем стабилизатор напряжения LM340AT-5.0 (рисунок 16).

Выбор также осуществили по таким параметрам, как максимальное входное напряжение и по выходному току.

Параметры отражены в таблице 9, схема подключения на рисунке 17.

Таблица 9 – Параметры стабилизатора напряжения LM340AT–5.0

Максимальное входное напряжение:	35 В
Тип выхода	фиксированный
Допуск выходного напряжения:	±5 %
Потребляемый ток:	8 мА макс.
Выходной ток	-
Минимальный:	5 мА
Максимальный:	1 А
Мощность	0,5 Вт
Температура эксплуатации	от 0 °С до 70 °С
Тепловое сопротивление:	4 °С/Вт (переход-корпус)



Рисунок 16 – Стабилизатор напряжения LM340AT–5.0

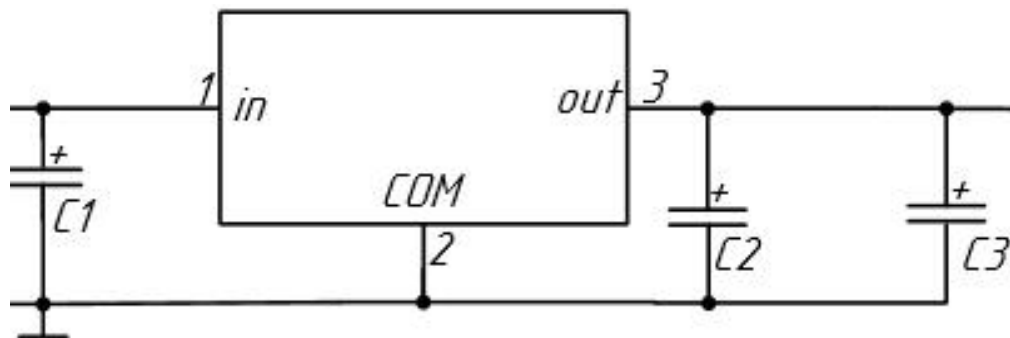


Рисунок 17 – Подключение стабилизатора LM340AT–5.0

Рассчитаем значение конденсаторов, обеспечивающих низкий коэффициент пульсаций. Используем формулу (9):

$$C = \frac{3200 \cdot I}{U_{ВХ}}, \quad (9)$$



где  $I$  – необходимый выходной ток на блоке питания;

$U_{вх}$  – входное напряжение на блоке питания.

Подставляем значения и получаем результат:

$$C = 53,3 \text{ (мкФ)}. \quad (10)$$

Выберем конденсаторы ёмкости 68 мкФ.

### 3.6 Схема питания датчиков

Для питания датчиков давления требуется постоянный ток 24 В. Будем использовать понижающий трансформатор ОСО-0.25. Параметры трансформатора представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры трансформатора ОСО-0.25

Напряжение первичной обмотки:	220 В
Напряжение вторичной обмотки:	24 В (переменное).
Мощность	0,25 кВА
Степень защиты:	IP 00

В качестве диодного моста используем схему DB157S. Это устройство, которое служит для выпрямления переменного тока. Схема подходит по всем параметрам, главными из которых является максимальный допустимый ток, и рабочая температура эксплуатации. Параметры диодного моста представлены в таблице 11, а внешний вид – на рисунке 18.

Таблица 11 – Параметры диодного моста DB157S

Производитель	JANGJIE
Максимальное постоянное обратное напряжение	1000 В
Среднеквадратичное обратное напряжение	700 В
Максимальный прямой выпрямленный ток	1,5 А
Максимальный допустимый прямой импульсный ток	50 А
Максимальный обратный ток	50 мкА
Максимальное прямое напряжение	1,1 В
Рабочая температура	от -55 °С до +150 °С
Способ монтажа	в отверстие
Корпус	DB-1
Количество фаз	1

**DB-1**

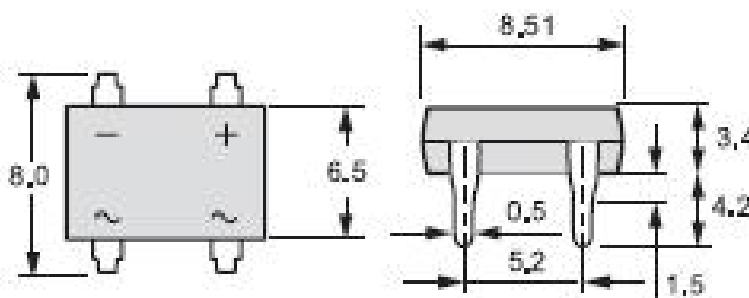


Рисунок 18 – Диодный мост DB157S

Для выбора стабилизатора рассчитаем необходимую мощность. Воспользуемся формулой (7). Мощность датчика возьмём из его технического описания.

После выполнения расчётов получили  $P_{\text{стаб}} = 0,5$  (Вт).

Используем стабилизатор напряжения LM340AT-5.0, параметры которого отражены в таблице 8, схема подключения на рисунке 17.

Рассчитаем значение конденсаторов, обеспечивающих низкий коэффициент пульсаций. Для расчёта воспользуемся формулой (9). В результате получаем значение ёмкости 0,22 мкФ. Выберем конденсаторы небольшой ёмкости 0,22 мкФ.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		

## 4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМ

### 4.1 Разработка функциональной схемы.

Функциональная схема наглядно показывает процессы, которые происходят в цепи. На схеме изображены функциональные части системы обнаружения утечек (датчики, исполнительный механизм) и связи между ними. Графическое построение схемы отражает последовательность функциональных процессов, происходящих в цепи.

Функциональная схема приведена в приложении.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		41

#### 4.2 Разработка электрической принципиальной схемы.

Электрическая принципиальная схема и перечень используемых компонентов представлены в приложении. Питание системы осуществляется от стандартной сети 220В, 50 Гц. Для питания УСД и других элементов схемы требуется постоянное напряжение 12 В. Для питания датчиков давления требуется постоянное напряжение 24 В.

Используем схему: трансформатор понижает переменное сетевое напряжение до 12 В или 24 В. Диодный мост выпрямляет сетевое напряжение. Интегральный диодный мост DB157S коммутирует токи до 1 А. В качестве стабилизатора напряжения включена микросхема интегрального стабилизатора

Связь УСД с компьютером осуществляется через интерфейс Ethernet.

Так как датчики давления выдают аналоговый сигнал по одному проводу, подключим их к устройству сбора данных по схеме с общим проводом, то есть напряжение, полученное от каждого датчика, будет измеряться относительно “земли”. Подключение устройств к пинам УСД отражено в таблице 12.

Таблица 12 – Подключение устройств к УСД

Обозначение	Подключенное устройство
AIN 0	Датчики давления воды
AIN 1	
PB 0	Датчики расхода воды
PB 1	
PA 0	Клапан для воды
Ethernet	ПК

На УСД остаётся довольно много свободных пинов. Это оставляет большие возможности для расширения системы при необходимости (подключение дополнительных датчиков, исполнительных механизмов).

## 5 СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ

Алгоритм программы приведён в приложении. Для создания программы выбрана среда разработки LabVIEW (от англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), так как она позволяет одновременно работать с алгоритмом программы и проектировать её интерфейс[32].

В LabVIEW для создания приложений вместо традиционного текстового кода используются графические образы (иконки). Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на архитектуре потоков данных. Последовательность выполнения операторов в таких языках определяется не порядком их следования (как в императивных языках программирования), а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке.

Все действия программиста сводятся к построению структурной схемы приложения в интерактивной графической системе с набором всех необходимых библиотечных образов, из которых собираются объекты, называемые Виртуальными Инструментами (VI) [37].

Система обнаруживает утечку, подаёт сигнал на клапан и оповещает об этом пользователя, если одновременно выполняются следующие условия: расход в конце трубы меньше расхода в начале трубы (с учётом погрешностей измерительных приборов) и давление в конце трубы меньше ожидаемого давления в конце трубы (с учётом погрешностей измерительных приборов). Если выполняется только одно из условий, сигнал на клапан не подаётся, но пользователь получает сообщение о возможной утечке и необходимости проверки трубопровода на герметичность.

Давление в конце трубы не равно давлению в начале. Давление теряется вследствие гидравлических процессов, происходящих в трубах [5]. Существуют математические формулы, позволяющие рассчитать давление в конце трубы, зная параметры трубопровода и давление в начале трубы. Программа будет сравнивать

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата						

показания датчика с рассчитанным по формуле (11) давлением.

$$P_{\text{кон}} = P_{\text{нач}} - \Delta P \cdot L, \quad (11)$$

где  $P_{\text{кон}}$  – давление в конце трубы (Па);  
 $P_{\text{нач}}$  – давление в начале трубы (Па);  
 $\Delta P$  – потери давления;  
 $L$  – длина трубы (м).

Потери давления рассчитываются по формуле (12):

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho, \quad (12)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления;  
 $V$  – средняя скорость течения жидкости(м/с);  
 $\rho$  – плотность жидкости(кг/м<sup>3</sup>).

Скорость течения жидкости рассчитывается по формуле (13):

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (13)$$

где  $Q$  – расход воды (м<sup>3</sup>/с);  
 $D$  – Внутренний диаметр трубы (м).

Рассматривается прямой участок трубы. В этом случае коэффициент местного сопротивления можно рассчитать по формуле (14)[38]:

$$\xi = \lambda \cdot \frac{L}{D}, \quad (14)$$

где  $\lambda$  – коэффициент потерь на трение по длине.

Коэффициент  $\lambda$  в нашем случае определяется по формуле (15):

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (15)$$

где  $Re$  – число Рейнольдса.

Для расчёта числа Рейнольдса используем формулу (16)[40]:

$$Re = \frac{VD}{\nu}, \quad (16)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость.

В приведённых формулах (11 - 16) длина и диаметр трубы - это параметры, которые пользователь задаёт самостоятельно. Данные о расходе и давлении воды поступают от соответствующих датчиков. Плотность и кинематическая вязкость жидкости (воды) - это константы, которые находятся по специальным таблицам.

Теперь составим алгоритм программы, которая будет симулировать работу нашей системы обнаружения утечек. Первым делом необходимо получить исходные данные. Для этого добавим поля ввода числовых данных (numeric control).

После этого, когда система может получать все необходимые данные, нам нужно рассчитать давление, которое будет на конце трубы. Воспользуемся формулами с (11) по (16). Расчёт давления на конце трубы в программе, показан на рисунке 19.



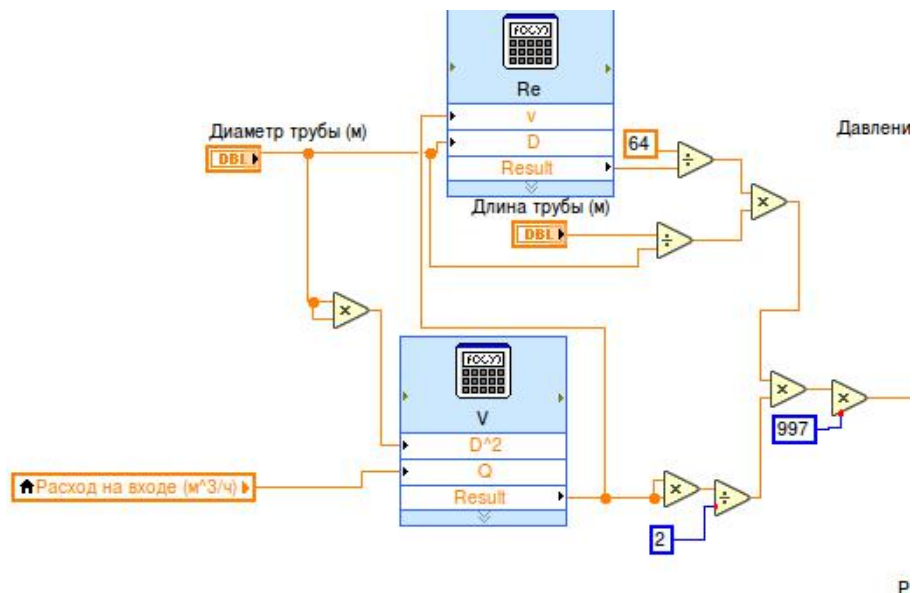


Рисунок 19 – Рассчёт потерь давления

Для обнаружения утечки система сравнивает расход в конце трубы с расходом в начале трубы (рисунок 20) и давление в конце трубы с рассчитанным давлением в конце трубы (рисунок 20).

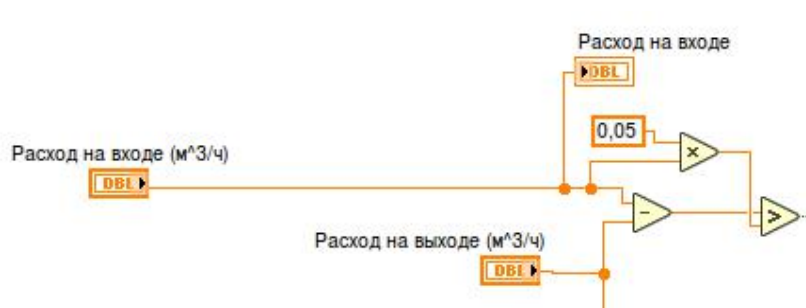


Рисунок 20 – Сравнение расходов

На рисунке 20 из значения расхода на входе трубы вычитается расход на выходе. После чего, если полученное значение превышает погрешность приборов, дальше отправляется значение “истина” (true), иначе – “ложь” (false).

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

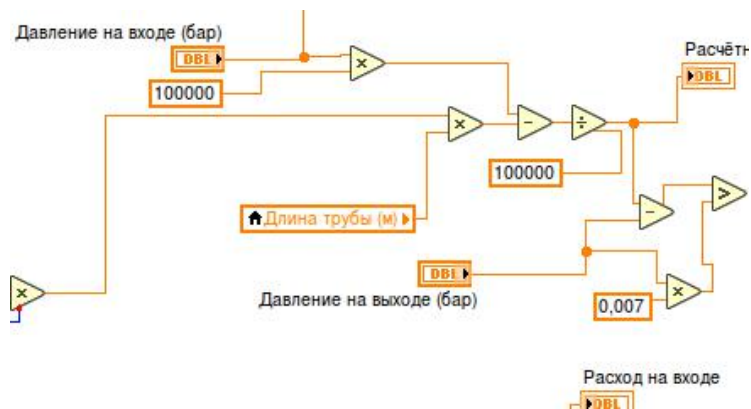


Рисунок 21 – Сравнение давлений

Для давлений всё происходит аналогично алгоритму, описанному выше, за тем исключением, что здесь необходимо перевести давление, данное в барах в единицы системы СИ (Па). Это осуществляется путём умножения исходного давления на 100000. После выполнения всех необходимых расчётов происходит обратное преобразование.

Теперь имеем два булевых значения. Расход на выходе меньше расхода на входе? Давление на выходе меньше расчётного? Каждое из этих булевых значений преобразуем в числовое (0 или 1) с помощью специального блока и складываем их. В результате сложения может получиться 0, 1 или 2. В каждом случае система будет вести себя по-разному. Реализуем это спомощью структуры “case structure”.

Значение 0 на входе структуры “case structure” будет, если расход на выходе равен расходу на входе, а давление на выходе равно расчётному значению. На рисунке 22 изображено, что будет происходить в этом случае.

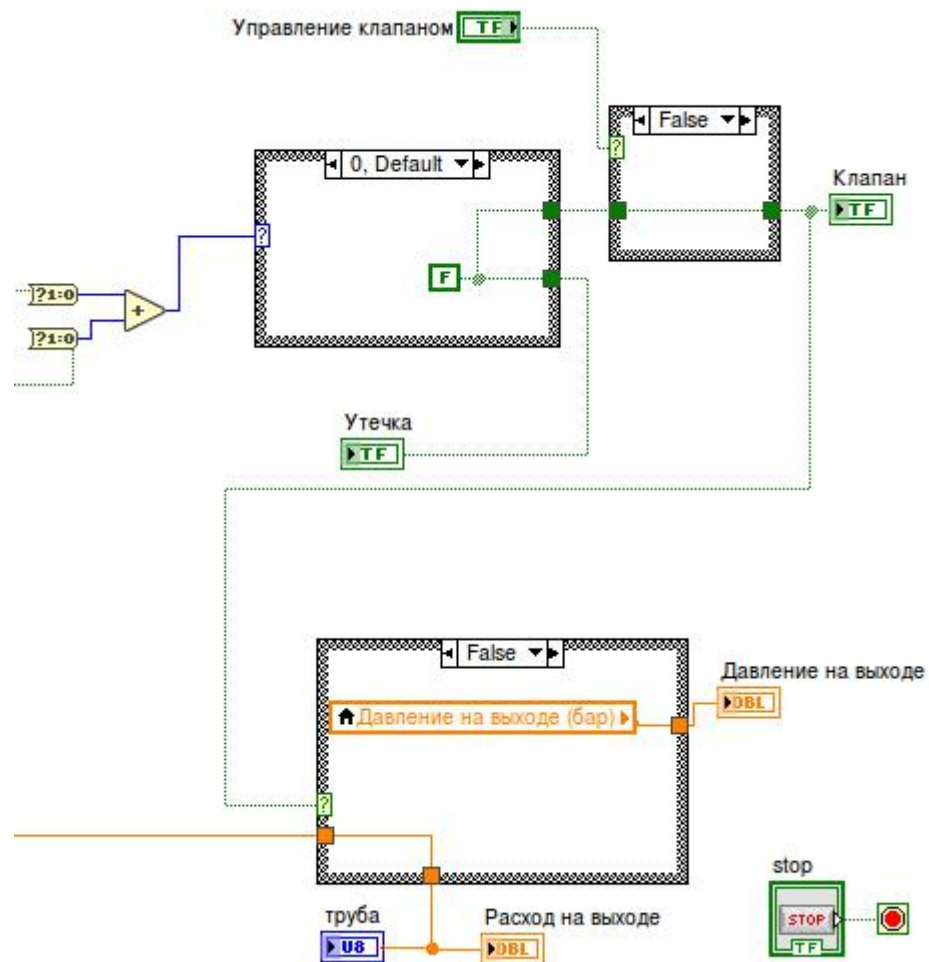


Рисунок 22 – Условие 0

На рисунке 22 видно, что в этом случае на клапан и индикатор утечки приходит сигнал ложь (false). Клапан открыт, а индикатор не горит. По трубе течёт вода.

Если расход на выходе будет меньше расхода на входе или давление на выходе будет меньше расчётного (но не оба сразу), на вход структуры “case structure” придёт значение 1. Поведение системы в этом случае отражено на рисунке 23.

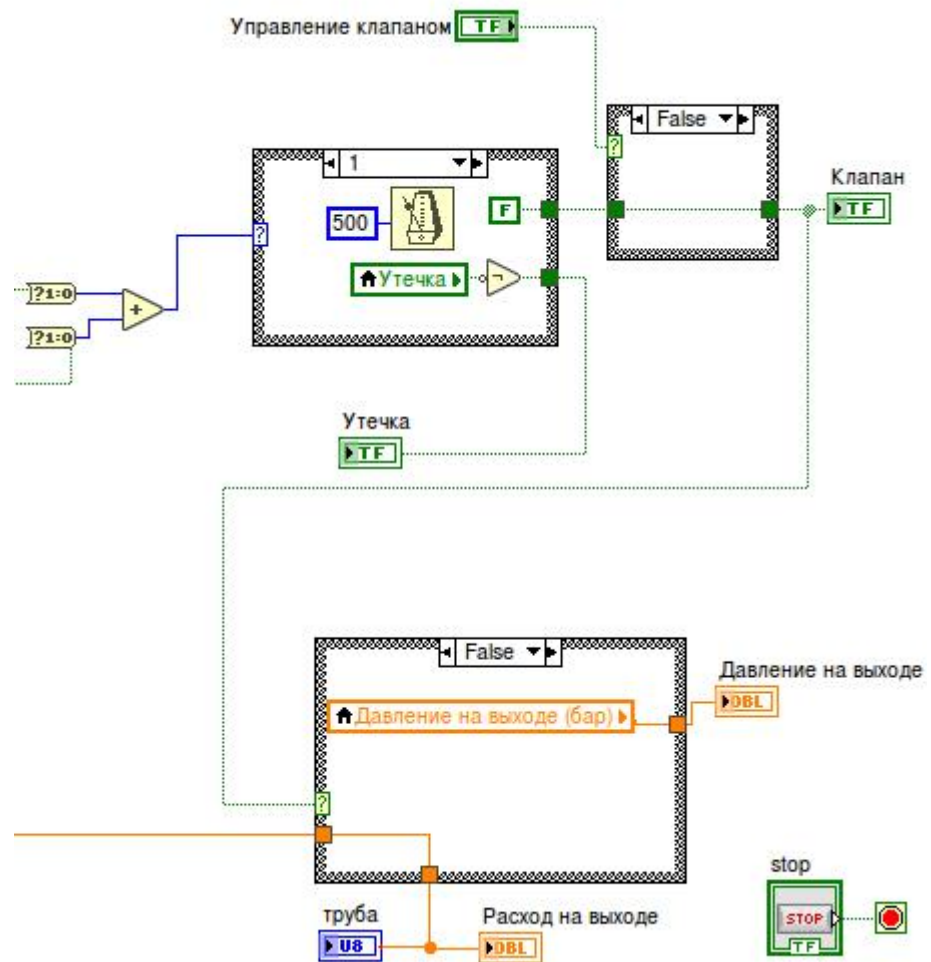


Рисунок 23 – Условие 1

Как видно из рисунка 23, клапан по прежнему открыт, и в трубе есть вода. Состояние индикатора инвертируется (он гаснет, если горел или наоборот), причём происходит это каждые 0.5 секунд. Таким образом система сообщает пользователю о возможном наличии небольшой протечки. В этом случае необходимо проверить целостность трубопровода и, если протечка имеет место быть, перекрыть клапан используя специальный переключатель на панели управления (рисунок 24). В этом случае на клапан придёт сигнал истина (true) и он перекроет подачу воды.

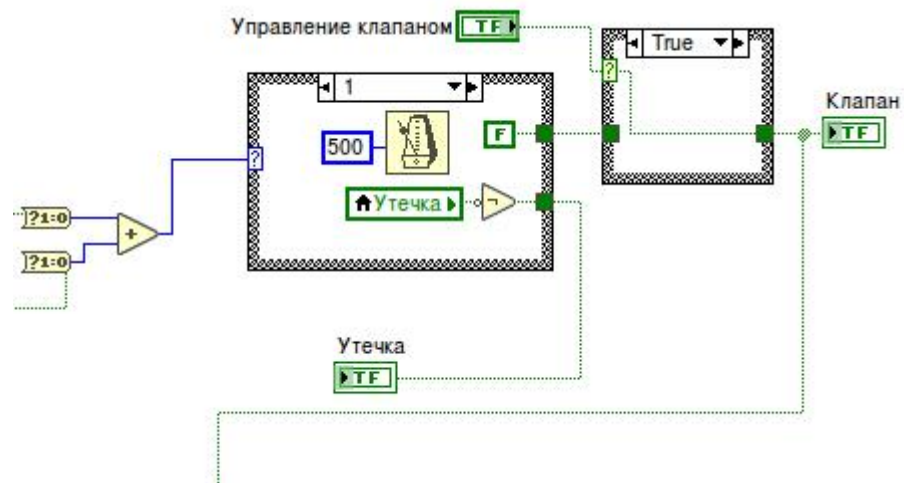


Рисунок 24 – Активирован переключатель управления клапаном

Если труба в нормальном состоянии и протечка не обнаружена, значит произошло ложное срабатывание системы. В этом случае следует в первую очередь проверить корректность введенных параметров трубы (длина, диаметр). Вследствие неверно введенных параметров система может неправильно рассчитать ожидаемое давление на конце трубы. Ложное срабатывание может быть результатом неправильной работы датчиков (с течением времени они сбиваются). Поэтому датчики нужно периодически поверять с использованием специальных инструментов и калибровать при необходимости.

Когда расход на выходе меньше расхода на входе и давление на выходе меньше расчетного давления выходе (оба условия выполняются одновременно) на вход структуры “case structure” приходит значение 2. Поведение системы в этом случае отражено на рисунке 25.

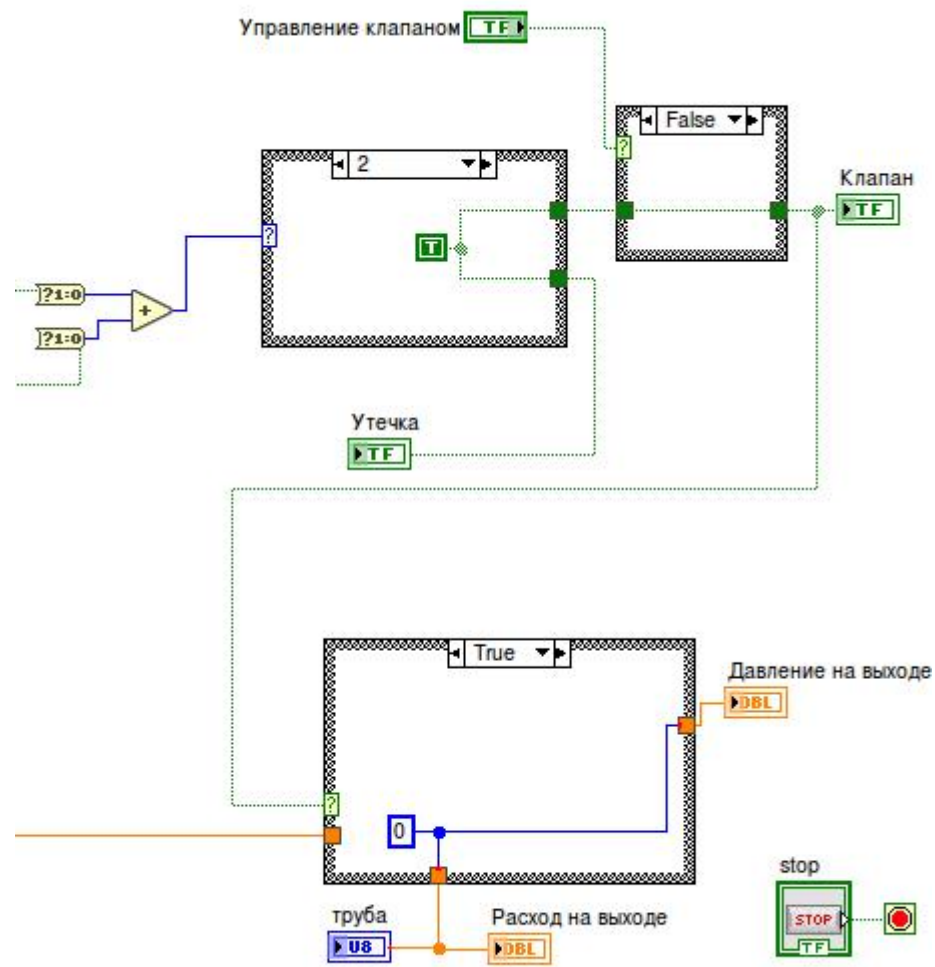


Рисунок 25 – Условие 2

На рисунке 25 видно, что в этом случае на клапан и индикатор утечки приходит сигнал истина (true). Клапан закрывается, а индикатор загорается, сигнализируя о наличии протечки. Подача воды прекращается.

Приведённый алгоритм демонстрирует логику работы программы. В нём не используются настоящие датчики и исполнительные устройства. Для физической реализации алгоритма необходимо использовать блок УСД помощник (DAQ assistant) (рисунок 26). Этот блок способен интерпритировать данные с датчиков и представлять их в числовом виде, а также распознавать сигнал, который будет подаваться на исполнительное устройство.

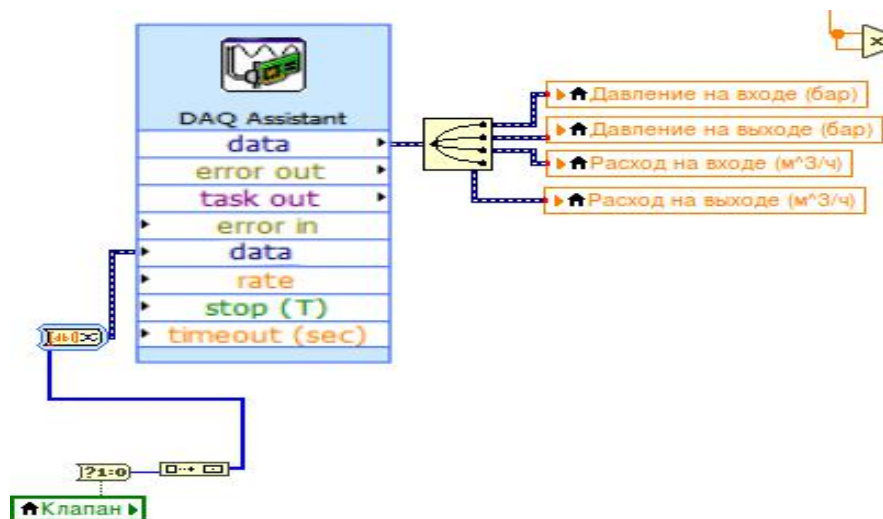


Рисунок 26 – УСД помощник

Как видно из рисунка 26, данные с датчиков присваиваются соответствующим переменным. Сигнал для клапана, после некоторого преобразования отправляется на сам клапан.

На рисунке 27 приведена программа полностью.

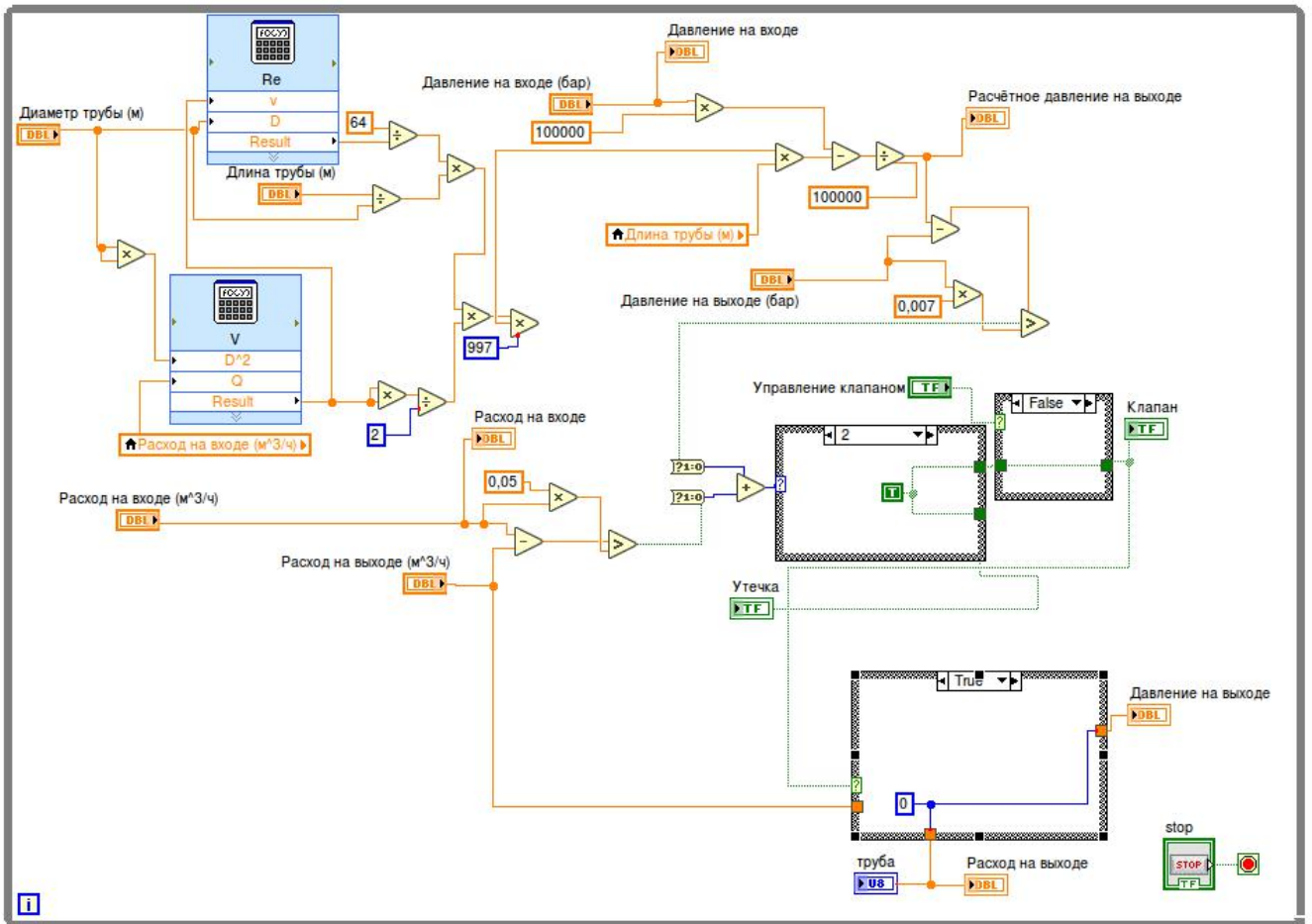


Рисунок 27 – Программа для системы

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

270304.2018.331.00 ПЗ

Лист

53



## 6 СИМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Как было сказано в предыдущем разделе, пакет LabVIEW позволяет не только составить программу средствами графического языка программирования G, но и спроектировать её интерфейс. Это значит, что у нас отсутствует необходимость использовать дополнительные приложения для этой цели. На рисунке 28 показана работа системы в нормальном режиме, то есть утечка не обнаружена, клапан открыт, индикатор не горит. Цифрами обозначены основные элементы.



Рисунок 28 – Внешний вид системы

1. Индикатор утечки.
2. Индикатор расхода на входе трубы.
3. Индикатор расхода на выходе трубы.
4. Тумблер для ручного управления клапаном.
5. Индикатор давления на входе трубы.
6. Индикатор давления на выходе трубы.
7. Ползунок установки расхода на входе трубы.
8. Ползунок установки расхода на выходе трубы.
9. Ползунок установки давления на входе трубы.
10. Соленоидный клапан.

Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата

11. Ползунок установки давления на выходе трубы.
12. Установка длины трубы.
13. Установка диаметра трубы.
14. Индикатор расчётного давления на выходе трубы.
15. Кнопка выключения системы.

В связи с отсутствием возможности подключения реальных датчиков к системе, для демонстрации работы программы значения датчиков выставляются вручную, что и продемонстрировано на рисунке 28.

Следующий пример приведён на рисунке 29а . Реальное давление на выходе меньше расчётного, расход на выходе равен расходу на входе. В результате индикатор утечки начинает включаться и выключаться каждые 0,5 секунд - это означает, что есть вероятность утечки. Клапан при этом остаётся открытым. Если в результате проверки трубопровода выяснилось, что утечка всё же есть, клапан можно перекрыть, используя тумблер управления клапаном (рисунок 29б).

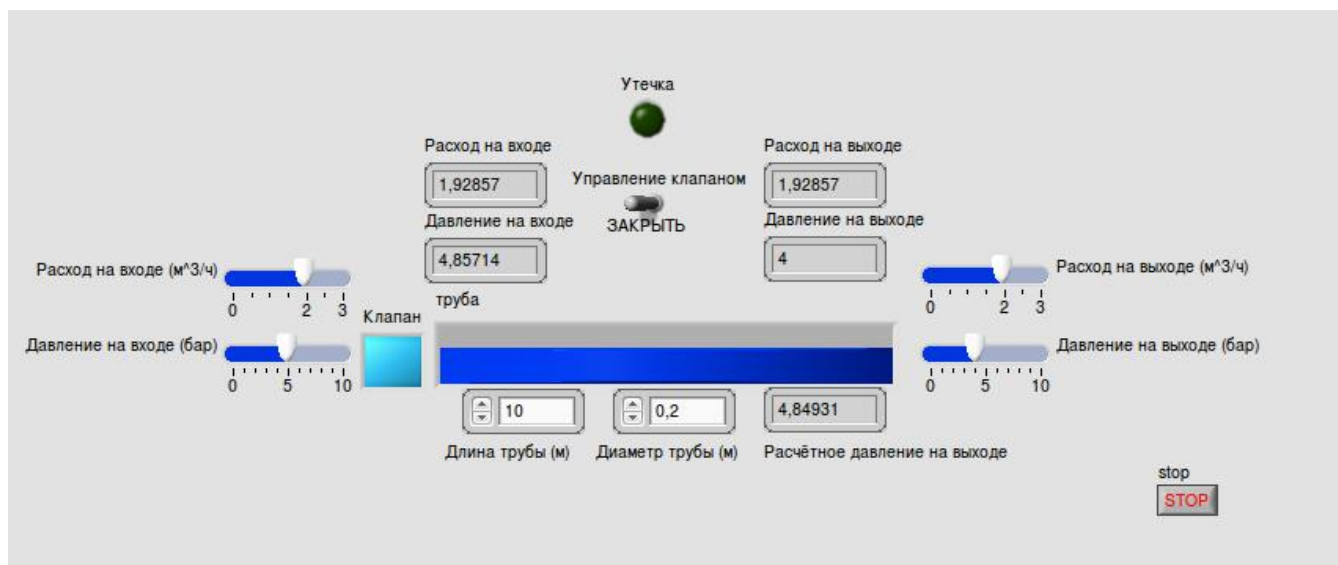


Рисунок 29а – Есть вероятность утечки

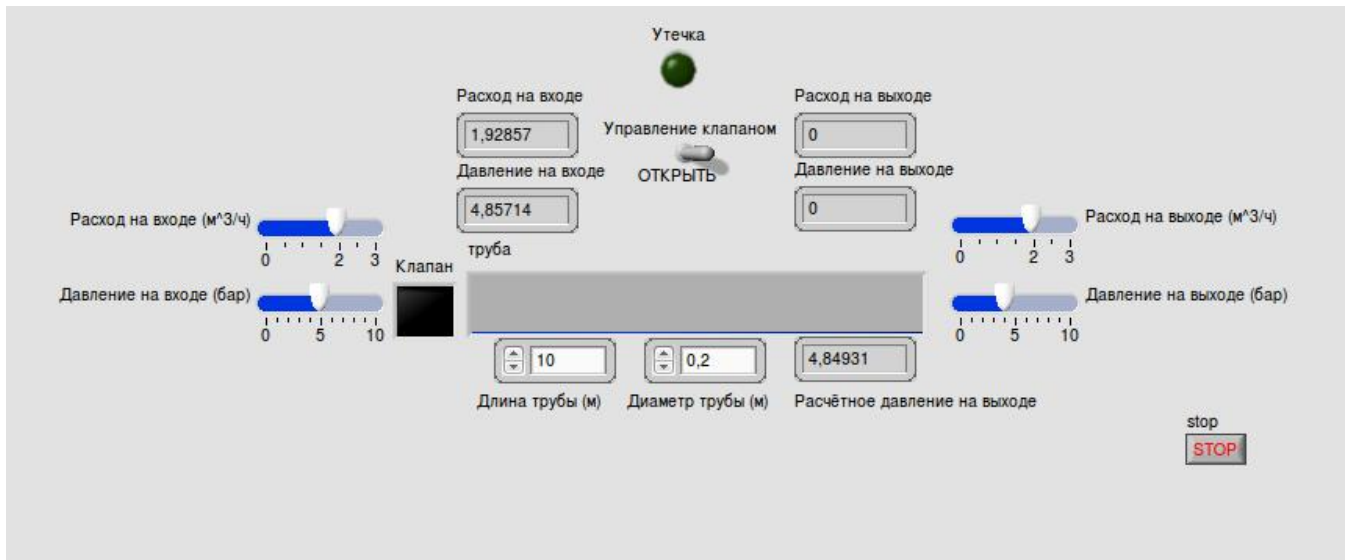


Рисунок 29б – Управление клапаном

На рисунке 30 показан случай, когда реальное давление на выходе меньше расчётного, а расход воды на выходе меньше, чем на входе. Система распознаёт утечку и реагирует на неё следующим образом: индикатор утечки горит постоянно, клапан закрыт.

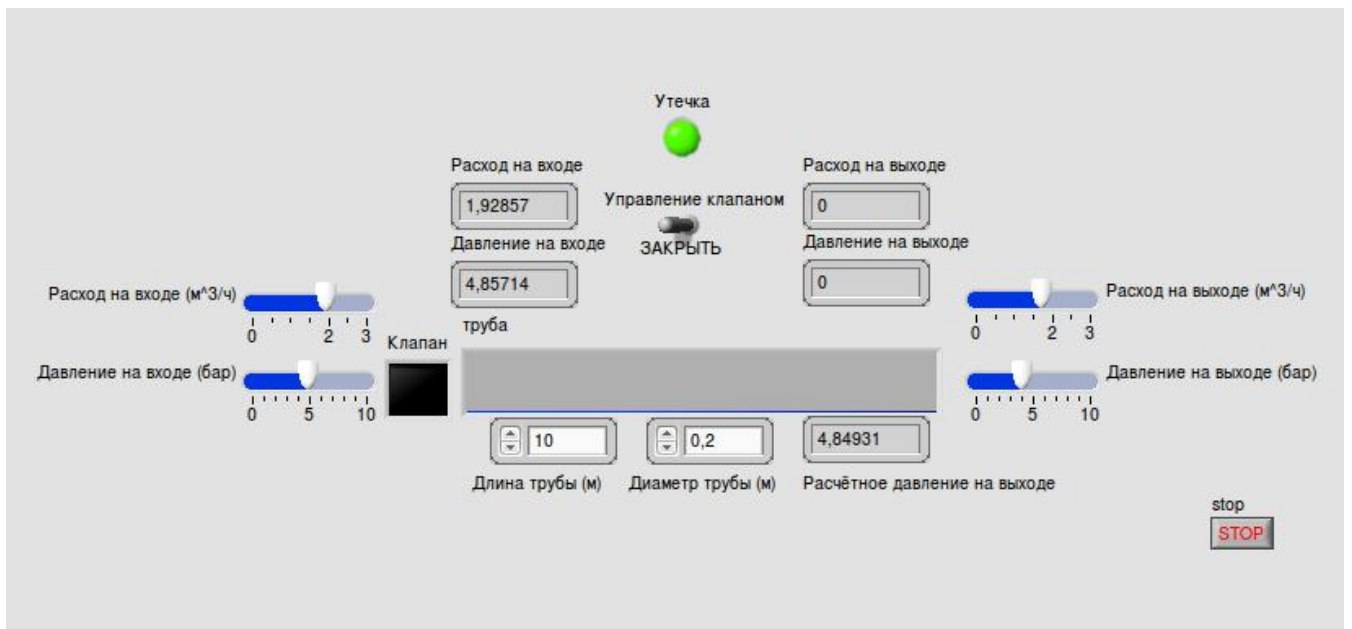


Рисунок 30 – Утечка обнаружена

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была проработана система обнаружения утечки воды.

Были синтезированы структурная, функциональная и электрическая принципиальная схемы системы. Был осуществлён выбор основного оборудования для системы. Разработан внешний вид интерфейса автоматизированной системы. Разработан алгоритм работы системы.

Разработанная автоматизированная система обнаружения утечек воды соответствует поставленным требованиям полностью.

Возможности системы:

1. Контролирует давление и расход воды в трубе.
2. Позволяет пользователю настроить систему для трубопроводов различной длины и диаметра.
3. Сигнализирует о наличии утечки.
4. Управляет клапаном для предотвращения последствий утечки.

Результаты имитационного моделирования на персональном компьютере продемонстрировали, что разработанная автоматизированная система функционирует верно и выполняет возложенные на неё задачи.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		57

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Аппаратные и программные средства систем: учеб. пособие/ А.О. Ключев, Д.Р. Ковязин, П.В. Кустарев, А.Е. Платунов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.

2 Акимова, Н.В. Дистанционное обнаружение течей в трубопроводах / Н.В. Акимова // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2009 № 4. – С. 38 – 45.

3 Аналогово-цифровой преобразователь. – [ru.wikipedia.org/wiki/Аналогово-цифровой\\_преобразователь](http://ru.wikipedia.org/wiki/Аналогово-цифровой_преобразователь) (дата обращения 27.04.2018).

4 Боровский, В.П. – Справочник по схемотехнике для радиолюбителя/ В.П. Боровский, В.И. Костенко, В.М. Михайленко, О.Н. Партала; под ред. В.П. Боровского – Киев: Техника, 1987 – 432 с.

5 Булатов, А.Ф. – Автоматизированная система обнаружения утечек из трубопровода в условиях зашумлённости / А.Ф. Булатов, А.Г. Лютов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2013 – 9 с.

6 Бутырин, П.А – Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW / П.А. Бутырин, Т.А. Васьковская, В.В. Каратаева, С.В. Мвтерикин – Москва: ДМЕ Пресс, 2005 – 266 с.

7 Вересов, Г. П. Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. / Г.П. Вересов – М.: Радио и связь, 1983 – 128 с.

8 Гейер, В. Г. – Гидравлика и гидропривод: Учеб для вузов. / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря – 3-е издание, переработанное и дополненное – Москва: Недра, 1991 – 320 с.

9 ГОСТ 2.710–1981. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – М. Изд-во стандартов, 1981. – 15 с.

10 ГОСТ 2.721–1974. ЕСКД. Обозначения общего применения. – М. Издательство стандартов, 1974. – 23 с.

11 ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95. Издание. Устройства и системы телемеханики. Протоколы передачи. Форматы передаваемых кадров. – М: Госстандарт России, 1995. – 39 с.

										Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата	270304.2018.331.00 ПЗ					

12 ГОСТ Р МЭК 870-5-2-95. Издание. Устройства и системы телемеханики. Протоколы передачи. Процедуры в каналах передачи. – М: Госстандарт России, 1995. – 49 с.

13 ГОСТ 2.723–1968. ЕСКД. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы, магнитные усилители. – М. Изд-во стандартов, 1968. – 48 с.

1 ГОСТ 2.727–1968. ЕСКД. Разрядники и предохранители. – М. Изд-во стандартов, 1968. – 15 с.

15 ГОСТ 2.730–1973. ЕСКД. Полупроводниковые приборы. – М. Изд-во стандартов, 1973. – 12 с.

16 ГОСТ 2.735–1968. ЕСКД. Антенны и радиостанции. – М. Изд-во стандартов, 1968. – 36 с  
62 ГОСТ Р МЭК 870-5-2-95. Издание. Устройства и системы телемеханики. Протоколы передачи. Процедуры в каналах передачи. – М: Госстандарт России, 1995. – 49 с.

17 ГОСТ 2.745–1968. ЕСКД. Электронагреватели. Устройства и установки электротермические. – М. Изд-во стандартов, 1968. – 42 с.

18 ГОСТ 2.755–1987. ЕСКД. Устройства коммутационные и контактные соединения. – М. Изд-во стандартов, 1987. – 53 с.

19 ГОСТ 2.759–1982. ЕСКД. Элементы аналоговой техники. – М. Изд-во стандартов, 1982. – 23 с.

20 ГОСТ 2.764–1986. ЕСКД. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации. – М. Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.

21 ГОСТ 19480-89. Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005 – 32 с.

22 ГОСТ Р 52907-2008. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2008 – 17 с.

23 Гидравлический уклон. – [ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлический\\_уклон](http://ru.wikipedia.org/wiki/Гидравлический_уклон) (дата обращения 21.04.2018).

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата	270304.2018.331.00 ПЗ					

24 Гуртовцев А.Л. – О происхождении и значении термина “АСУ”, “Автоматизация в промышленности”/ А.Л. Гуртовцев. – 2003, №8 – С. 31 – 46.

25 Егоров, Е. В. – О промышленных сетях – без формул и диаграмм // Автоматизация в промышленности. 2003г – 126 с.

26 Ежевский, А. А., Черноиванов В. И., Федоренко В. Ф. – Современное состояние и тенденции промышленной развития техники. - научно-аналитический обзор: (по материалам Международной выставки «SIMA- 2005»). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 222 с.

27 Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов. / С.М. Зи – М.: Мир, 1984. – 456 с.

28 Казаринов Л.С. – Системы. Управление и познание: аналитические очерки/ Л.С. Казаринов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 496с.

29 Кацман, М. М. Электрические машины и трансформаторы. Учебник для техникумов для электротехнических и энергетических специальностей. / М.М. Кацман. - Москва; «Высшая школа», 1971. – 416с.

30 Кислицын, А.Л. Трансформаторы: Учебное пособие по курсу «Электромеханика» / А.Л. Кислицын - Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 76 с.

31 Китаев, В.В. Электропитание устройств связи. / В.В. Китаев - М.: Связь, 1975. – 328 с.

32 Костиков, В. Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для ВУЗов. / В.Г. Костиков, Е.М Парфенов, В.А Шахнов – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 344 с.

33 Лупов, С.Ю. LabVIEW в примерах и задачах / С.Ю. Лупов, С.И. Муякшин, В.В. Шарков – Нижний Новгород, 2007 – 101 с.

34 Руководство пользователя и технические характеристики Ла-5. – [http://izmeril.ru/wp-content/uploads/2017/06/la\\_05.pdf](http://izmeril.ru/wp-content/uploads/2017/06/la_05.pdf) (дата обращения 04.04.2018).

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата	270304.2018.331.00 ПЗ				

35 Стабилизатор напряжения. – <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/3067/MOTOROLA/LM340AT-5.0.html> (дата обращения 21.03.2018).

36 СТО ЮУрГУ 21–2008 Стандарт организации. Система управления качеством образовательных процессов. Курсовая и выпускная квалификационная работа/Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, А.Е. Шевелев, Е.В. Шевелева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 55 с.

37 Суранов А.Я. LabVIEW 8.20 Справочник по функциям. / А.Я Суранов – М. : ДМК Пресс, 2007 – 536 с.

38 Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Дж. Тревис.; пер. с англ. Н.А Клушина. Москва.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2006 – 544 с.

39 Магда, Ю.С. LabView: Практический курс для инженеров и разработчиков. / Ю.С. Магда - Москва: ДМК Пресс, 2012 – 208 с.

40 Маломощный источник опорного напряжения AD680ARZ. – <https://static.chipdip.ru/lib/143/DOC000143657.pdf>.

41 Микросхемы для линейных источников питания и их применение. – 2-е изд.. - М.: Додэка, 1998.

42 Митин, И.В. Анализ и обработка экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие для студентов младших курсов. Изд. 2-е / И.В. Митин, В.С. Русаков – Москва: Физический факультет МГУ, 2004. – 44с.

43 Программирование потоков данных. – [ru.wikipedia.org/wiki/Программирование\\_потоков\\_данных](http://ru.wikipedia.org/wiki/Программирование_потоков_данных) (дата обращения 29.04.2018).

44 Шитиков, А. Выбор источника опорного напряжения // Электронные компоненты, 2002. – № 3.

45 Штильман В. И. Микроэлектронные стабилизаторы напряжения. / В.И. Штильман – Киев: Техніка, 1976 – 327 с.

46 Формула Дарси - Вейсбаха – [ru.wikipedia.org/wiki/Формула\\_Дарси\\_-\\_Вейсбаха](http://ru.wikipedia.org/wiki/Формула_Дарси_-_Вейсбаха) (дата обращения 21.04.2018).

47 Ханзел, Г. Е. Справочник по расчету фильтров. / США, 1969. / Пер. с англ., под ред. А. Е. Знаменского. М.: Сов. радио, 1974. – 288 с.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		61



48 Хорвиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл.; пер. с англ. Б. Бронин, А. Коротов, М. Микшис, Л. Поспелов, О. Соболева, Ю. Чечеткин – Москва: Бином, 2016. – 704 с.

49 Число Рейнольдса. – [ru.wikipedia.org/wiki/Число\\_Рейнольдса](http://ru.wikipedia.org/wiki/Число_Рейнольдса) (дата обращения 21.04.18).

50 Орлов, Е.В. Безопасность строительных систем. Экологические проблемы в строительстве. Утечки трубопроводах систем внутреннего водоснабжения / Е.В. Орлов, А.С. Комаров, Ф.А. Мельников, А.Е Серов // Вестник МГСУ, 2015 – №3 – с. 40 – 44.

51 Data Acquisition and Signal Conditioning Course Manual. National Instruments Course Software. February 2012 Edition Part Number 320733P-01, 2012 – pp. 74 – 76.

52 Jun Zhang, Andy Hoffman, Adrian Kane and John Lewis [Development of Pipeline Leak Detection Technologies] 10th International Pipeline Conference, 2014 – 8p.

53 LabVIEW. – [ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW](http://ru.wikipedia.org/wiki/LabVIEW) (дата обращения 29.04.2018)

54 Leak detection. – [https://en.wikipedia.org/wiki/Leak\\_detection](https://en.wikipedia.org/wiki/Leak_detection) (дата обращения 18.02.2018).

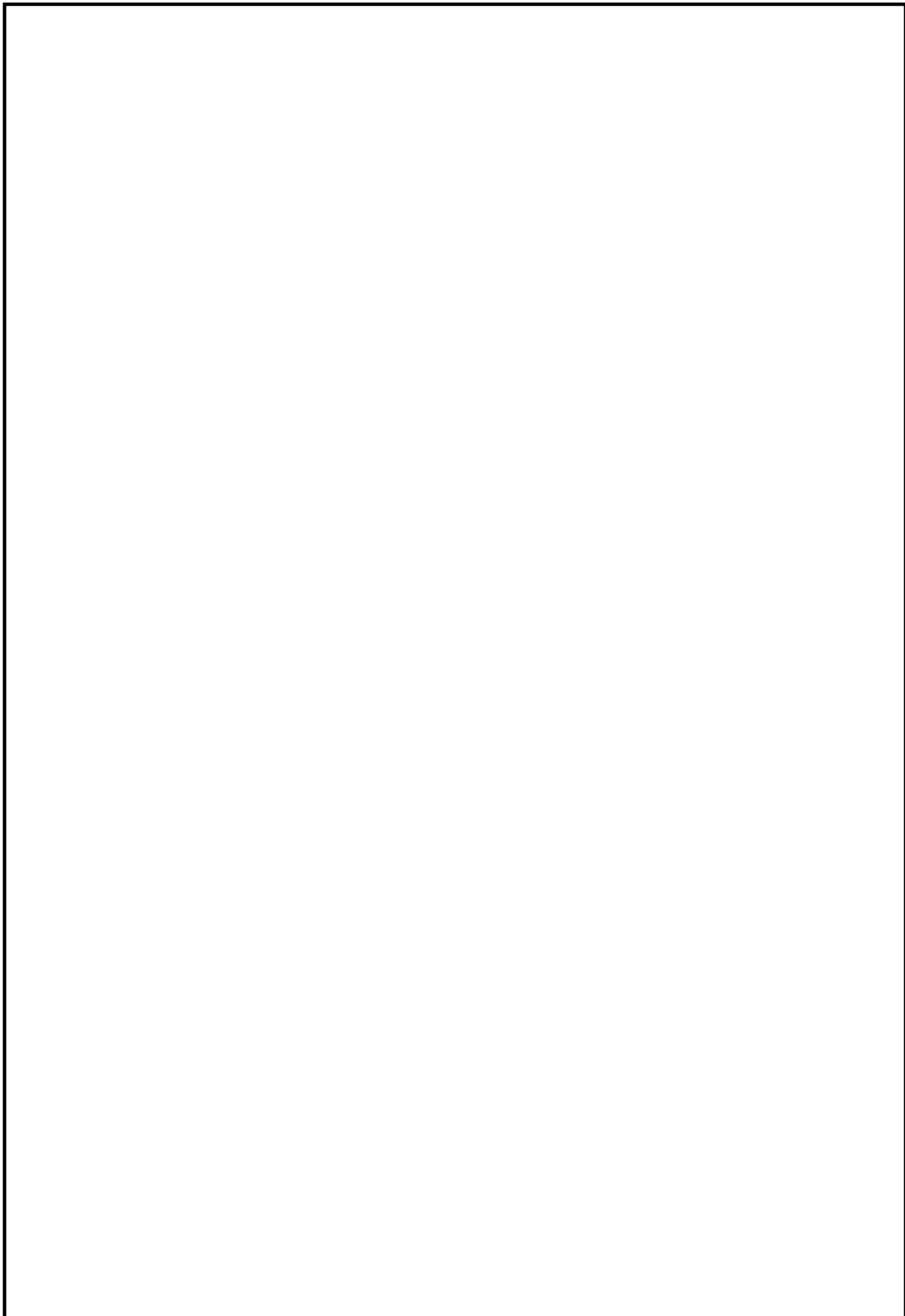
55 Nasser Kehtarnavaz and Namjin Kim [Digital Signal Processing System – Level Design Using LabVIEW] Elsevier, 2005 – 292 p.

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		62

ПРИЛОЖЕНИЕ

Схемы и спецификации

					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		63



					270304.2018.331.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.№	Подпись	Дата		64

