

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к курсовому проекту  
на тему  
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ

Выполнил  
Проверил

Паньков В.А.  
Понкратов А.А.

МИНСК 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники

«Утверждаю»  
Зав. кафедрой ЭВМ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

**Задание по курсовому проекту студента гр. 650502  
Панькова Виталия Александровича**

**Дата выдачи задания:** 14.09.2018 г.

**Дата сдачи проекта:** 07.12.2018 г.

**Исходные данные к проекту:** Разработать систему, отображающую и контролирующую параметры автомобиля. Выводить на монитор информацию о давлении в шинах, износе колодок и уровне топлива.

*Содержание пояснительной записки:*

1. Введение
2. Обзор литературы
3. Обоснование выбора структурной схемы
4. Обоснование выбора функциональной схемы
5. Обоснование выбора принципиальной схемы
6. Разработка печатной платы
7. Заключение
8. Литература

*Перечень графического материала:*

1. Структурная схема
2. Функциональная схема
3. Принципиальная схема
4. Схема печатной платы

*Календарный план работы над проектом:*

- |                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| 1. Обзор литературы                | -10% «28 сентября» |
| 2. Разработка структурной схемы    | -25% «12 октября»  |
| 3. Разработка функциональной схемы | -40% «26 октября»  |
| 4. Разработка принципиальной схемы | -60% «10 ноября»   |
| 5. Разработка печатной платы       | -75% «23 ноября»   |
| 6. Оформление курсового проекта    | -100% «7 декабря»  |

Руководитель курсового проекта  
Задание принял к исполнению

Понкратов А.А. \_\_\_\_\_  
Паньков В.А. \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	6
1.1 Давление в шинах .....	6
1.2 Уровень топлива .....	6
1.3 Износ тормозных колодок .....	7
1.4 Датчики .....	7
1.5 Обзор датчиков .....	8
1.5.1 Датчики давления в шинах .....	8
1.5.1.1 Упругие датчики давления .....	8
1.5.1.2 Электрические датчики давления .....	9
1.5.1.3 Дифференциальные датчики давления .....	10
1.5.1.4 Вакуумные датчики давления .....	10
1.5.2 Датчики уровня топлива .....	10
1.5.2.1 Потенциометрические датчики уровня топлива .....	11
1.5.2.2 Емкостные датчики уровня топлива .....	11
1.5.2.3 Ультразвуковые датчики уровня топлива .....	11
1.5.3 Датчики износа тормозных колодок .....	11
1.5.3.1 Механические датчики износа колодок .....	11
1.5.3.2 Электронные датчики износа колодок .....	12
1.6 Контроль параметров автомобиля .....	12
2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ .....	13
3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ .....	14
3.1 Датчики давления в шинах .....	14
3.1.1 MPXHZ6400A .....	14
3.1.2 22PCFFA6G .....	15
3.1.3 MPX2050D .....	16
3.2 Датчики уровня топлива .....	17
3.2.1 Telemetra TM-11 .....	17
3.2.2 OMNICO MM LLS-AF 4 .....	18
3.2.3 DUT-E A 10 .....	18
3.3 Датчики износа тормозных колодок .....	20
3.3.1 Датчики моделей Toyota .....	20
3.3.1 Датчики моделей Volkswagen .....	21
3.4 Аналого-цифровой преобразователь .....	22
3.5 Коммутатор .....	24
3.6 Узел управления .....	24
3.7 Узел сопряжения .....	24
3.8 Усилители-фильтры .....	24
3.9 Блок контроля .....	25
3.9.1 Компараторы .....	26
3.9.1 Логическое ИЛИ .....	27

3.9.3 Реле .....	28
4. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	29
4.1 Датчики давления.....	29
4.2 Датчик уровня топлива.....	30
4.3 Датчики износа тормозных колодок .....	31
4.4 Аналого-цифровой преобразователь.....	33
4.5 Блок контроля.....	34
4.5.1 Компараторы .....	34
4.5.2 Логическое ИЛИ .....	37
4.5.3 Реле .....	37
5. РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	56

## ВВЕДЕНИЕ

История автомобиля насчитывает уже более двух сот лет. Первый прототип появился еще в 1768 году и представлял собой машину на паровом двигателе. Тогда автомобили считались причудливыми изобретениями и производились единицами. Однако уже в 1908 году был выпущен Ford Model T, который производился миллионными сериями, за счет чего автомобиль стал доступен для большого числа людей. С тех пор прошло немало времени, и теперь автомобиль не является чем-то удивительным. Их можно встретить повсюду: как в больших городах, так и за их пределами.

Как возросло число автомобилей, так и улучшились их характеристики. Технологический прогресс позволяет производителям изготавливать автомобили, которые не просто дают возможность перемещаться из одной точки в другую, но при этом делать это комфортно и уверенно. Бортовые компьютеры всегда готовы поделиться всевозможной информацией, которую они обрабатывают, будь то температура воздуха за окном или температура вашего двигателя.

Наиболее актуальная информация об автомобиле представлена следующими параметрами: уровень топлива, износ тормозных колодок, уровень давления в шинах, уровень масла, заряд бортового аккумулятора, температура двигателя, исправность сигнальной системы и другие. Параметров, которые необходимо контролировать в автомобиле, чтобы быть уверенным в его исправности, очень много, однако даже сейчас еще эксплуатируется большое множество машин, не способных обеспечить водителя большей частью вышеперечисленной информации.

В связи с этим, темой данного курсового проекта было выбрано проектирование системы, которая бы могла обеспечивать мониторинг таких важных параметров, как износ тормозных колодок, уровень топлива и давление в шинах. Так же проектируемая система должна обеспечивать контроль одного из этих параметров. В этом курсовом проекте таким параметром было выбрано давление в шинах. Курсовой проект предусматривает только проектирование вышеописанной системы, без создания реального прототипа.

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Как было сказано ранее в прошлом разделе (см. ВВЕДЕНИЕ), проектируемая система должна следить за тремя параметрами: давлением в шинах, износом тормозных колодок и уровнем топлива. Все параметрами являются специфичными и обладают разными нормальными значениями для разных моделей автомобилей.

В рамках данного проекта за основу будет взят автомобиль Mercedes-Benz C220 CDI, который был выбран в связи с тем, что он является доступным молодежным автомобилем, с хорошими характеристиками [1].

Теперь рассмотрим подробнее отслеживаемые параметры.

### 1.1 Давление в шинах

Давление в шинах автомобиля — это количество воздуха, которое измеряется в килограммах на сантиметр квадратный, то есть — сколько кг воздуха приходится на 1 см<sup>2</sup> шины. Узнать, какое давление в шинах, можно при помощи манометра.

Чаще всего правильное давление в шинах производители указывают на информационных табличках, которые, как правило, приклеены на торцах дверей автомобиля [2].

Информация, предсталенная на торце двери рассматриваемого автомобиля, приведена ниже.

Таблицы 1.1 – Параметры давления в шинах Mercedess-Benz C220 CDI

Число пассажиров	Давление в передних шинах, бар	Давление в задних шинах, бар
2	2.1	2.3
5	2.3	2.9

В данном проекте будем отталкиваться от параметров для двух пассажиров, из чего следует, что оптимальными показателями давления в шинах являются 2.1 бар (210 кПа) для передних колес и 2.3 бар (230 кПа) для задних.

### 1.2 Уровень топлива

Уровень топлива можно рассматривать как частный случай уровня жидкости. Уровень жидкости — это положение поверхности жидкости, находящейся выше или ниже нулевой точки, относительно которой проводятся измерения. Нулевая точка при измерении уровня жидкости обычно является начальной точкой отсчета [3]. В рассматриваемом автомобиле используется дизельное топливо и бак объемом 62 л [1].

### 1.3 Износ тормозных колодок

Тормозная колодка — часть тормозной системы и её основной рабочий компонент. Тормозная колодка создаёт тормозное ускорение, за счёт взаимодействия с поверхностью тормозного диска и преобразования силы нажатия в тормозной момент [4].

В связи с тем, что тормозные колодки основаны на принципе трения и создания сопротивления вращающему моменту колеса за счет прижатия колодок к дискам, они подвержены износу, а потому требуют тщательного внимания со стороны водителя, ведь они являются одними из самых важных компонентов автомобиля. Обычно контролю подлежат две из четырех колодок: одна передняя и одна задняя.

### 1.4 Датчики

Датчик — дешевое, но надежное устройство, способное преобразовывать измеряемую величину, обладающее умеренной точностью и пригодное для серийного изготовления [5]. Обычно выход датчика представляет собой электрический сигнал, который легко преобразовать, например, в показания индикатора. Однако это может быть и неэлектрический сигнал [6].

По виду выходной величины и необходимости внешнего источника энергии датчики можно разделить на следующие группы:

1. Генераторные (активные)
2. Параметрические (пассивные)

Выходной величиной генераторных датчиков являются электрические величины (напряжение, заряд, ток, ЭДС). Активные датчики не нуждаются во внешнем источнике питания [6].

Выходной величиной параметрических датчиков является сопротивление, индуктивность, емкость, диэлектрическая или магнитная проницаемость и т.п. В таких датчиках под действием измеряемой величины меняется какой-либо из их параметров. Для получения выходного электрического сигнала такие датчики нуждаются во внешнем источнике питания [6].

В зависимости от выбора точки отсчета датчики разделяют на:

1. Абсолютные
2. Относительные

Абсолютные датчики определяют внешний сигнал в абсолютных физических величинах, не зависящих от условий проведения измерений, в то время как сигнал с относительных датчиков может трактоваться по-разному [7].

Так же датчики разделяют по типу выходного сигнала на:

1. Аналоговые
2. Цифровые

Аналоговые датчики обладают непрерывным выходным сигналом, в то время как цифровые выдают дискретный сигнал [6].

Для проектирования системы контроля параметров автомобиля в рамках этого курсового проекта будут рассмотрены 3 вида датчиков:

1. Датчики давления в шине.
2. Датчики уровня топлива.
3. Датчики износа тормозных колодок.

## **1.5 Обзор датчиков**

### **1.5.1 Датчики давления в шинах**

Для того чтобы выбрать конкретный датчик давления в шине для начала нужно ознакомиться с классификацией датчиков давления в целом.

Существует три вида измеряемого давления:

1. Абсолютное
2. Избыточное
3. Дифференциальное

При измерении абсолютного давления точкой отсчета принято считать давление в вакууме [15].

При измерении избыточного давления за начало отсчета принимается атмосферное давление [15].

Дифференциальное давление рассчитывается как разница в давлении между двумя показателями. Нулевая отметка в использовании обычно подразумевается контекстом [15].

Далее перечислены основные виды датчиков давления:

1. Упругие
2. Электрические
3. Вакуумные
4. Дифференциальные

#### **1.5.1.1 Упругие датчики давления**

Показания упругих датчиков давления определяются путем измерения отклонения эластичной стенки в их конструкции, представляя результат некоторым отсчетом через соответствующие связи, либо через электрические сигналы. Упругие датчики давления очень чувствительны, они довольно хрупкие и подвержены вибрации. Кроме того, они обычно значительно дороже, чем манометры, и поэтому чаще всего используются для измерения разности давлений [8].

Упругие датчики в свою очередь делят на:

1. Трубки Бурдона
2. Сильфоны
3. Мембраны

Трубка Бурдона — эластичный элемент в контрольно-измерительных приборах, позволяющий контролировать давления всех



уровней, применяемых в промышленности. Она улавливает изменения давления и преобразует эти изменения в механическое движение [9].

Сильфоны имеют цилиндрическую форму и содержат много складок. Давление, которое должно быть измерено прикладывается к одной стороне сильфона, тогда как на противоположную сторону действует атмосферное давление. Сильфон может быть подключен только к включающим или выключающим переключателям или к потенциометру и используется при низких давлениях, менее 200 Па с чувствительностью 1,2 Па [8].

Мембранный датчик работает по разнице между двумя давлениями. Подпружиненная мембрана внутри датчика двигается линейно, пропорционально разнице между двумя основными давлениями. Магнит с нагнетательной стороны поршня в сборе двигается с мембраной и вращает ведомый магнит со стрелкой, расположенный рядом с напорной камерой [10].

#### 1.5.1.2 Электрические датчики давления

Электрические датчики принимают данные полученные механическое воздействие от упругого датчика и включают в себя электрический компонент, таким образом, усиливая чувствительность и увеличивая сферы применения датчиков. Обычно их разделяют на:

1. Емкостные
2. Пьезоэлектрические
3. Индуктивные
4. Потенциометрические
5. Тензометрические
6. Оптоэлектронные

Емкостные датчики – датчики давления самой простой конструкции, состоящие из двух плоских электродов с зазором. Один из электродов сделан мембраной. При оказании на него давления, изменяется емкость образованного двумя электродами конденсатора [11].

Пьезоэлектрические датчики давления содержат кристалл (чаще всего кремниевый). Когда давление прикладывается к кристаллу, он деформируется и создается небольшой электрический заряд. Измерение электрического заряда пропорционально изменению давления. Пьезоэлектрические датчики обладают быстрым временем отклика на постоянные изменения давления [8].

Индуктивные датчики давления изготавливаются в сочетании с мембраной или трубкой Бурдона. Ферромагнитный сердечник прикреплен к упругому элементу и имеет первичную, а так же две вторичные обмотки. Ток подается на первичную обмотку. Когда сердечник по центру, то же напряжение будет индуцироваться к двум вторичными обмотками. Когда сердечник перемещается под влиянием давления, отношение напряжения между двумя вторичными обмотками изменяется [8].

Потенциометрические датчики похожи на индуктивные, но, в отличие от них, не обладают вторичным преобразователем перемещения в напряжение [12].

Тензометрические датчики основаны на принципе изменения электрического сопротивления встроенного тензорезистора под действием деформации чувствительной мембраны датчика [11].

Оптоэлектронные датчики обладают Кристаллом оптического преобразователя с диафрагмой, светодиодом, и детектором, состоящим из трех фотодиодов. Работают на основе интерференции света. Являются крайне перспективными, но при этом сложными в изготовлении [13].

#### **1.5.1.3 Дифференциальные датчики давления**

Датчики дифференциального давления используются с различными видами датчиков, в которых измерение давления является результатом разности давлений. Часто используются для обнаружения малых различий при больших перепадах давления [8].

#### **1.5.1.4 Вакуумные датчики давления**

Вакуумные датчики могут измерять чрезвычайно низкие давления или вакуум, ссылаясь на давления ниже атмосферного [8]. Вакуумный датчик давления – это в какой-то степени регулятор, который позволяет поддерживать только на определенном уровне, не превышая лимиты [14].

### **1.5.2 Датчики уровня топлива**

Датчик уровня топлива (ДУТ) — устройство, предназначенное для измерения и контроля горюче-смазочных материалов (бензин, дизельное топливо, масло) на транспортных средствах и соответствующих складах. Состоит такое устройство из металлического стержня, устанавливаемого в емкость с топливом (бак), через штатное отверстие, либо же специально сделанное отверстие, подходящее по диаметру [16].

Датчики уровня топлива разделяют на следующие группы по виду выходного сигнала:

1. Аналоговые
2. Цифровые

Аналоговые датчики устанавливают зависимость между объемом измеряемой среды и уровнем выходного сигнала [16].

Реализация цифровых датчиков уровня топлива стала возможна после развития микропроцессорной техники. В большинстве современных датчиков есть микропроцессор, пересчитывающий, линеаризирующий и выравнивающий первичные измерения. Микропроцессор позволил снизить основную, относительную и дополнительные погрешности самого датчика [17].

Датчики уровня топлива так же можно разделить по принципу работы на:

1. Потенциометрические

2. Емкостные
3. Ультразвуковые

#### **1.5.2.1 Потенциометрические датчики уровня топлива**

Потенциометрические датчики являются контактными и обладают подвижными элементами (поплавок, рычаг), чье перемещение в канале стержня и обуславливает возможность измерения уровня топлива. Такие датчики имеют значительные недостатки по сравнению со второй группой: наличие подвижных элементов обуславливает их недолговечность из-за тяжелых условий эксплуатации [16].

#### **1.5.2.2 Емкостные датчики уровня топлива**

Емкостный датчик уровня топлива представляет собой конденсатор образованный двумя коаксиально расположенными алюминиевой трубой и стержнем, емкость которого изменяется в зависимости от глубины погружения его с диэлектрическую среду. Формирует выходное напряжение пропорциональное объёму заполнения топливного бака [18].

#### **1.5.2.3 Ультразвуковые датчики уровня топлива**

Ультразвуковые датчики расхода топлива включают две основные составляющие. Сам датчик устанавливают на дне бака. Электронный прибор, который контролирует уровень топлива, находится вне бака, но показывает уровень жидкости внутри. Контроль обеспечивается с помощью ультразвукового импульса, который передается к поверхности жидкости в баке от устройства. Далее он отражается и переходит на датчик расхода топлива [19].

### **1.5.3 Датчики износа тормозных колодок**

Датчики износа тормозных колодок служат для того, чтобы предупреждать водителя транспортного средства о том, что тормозные колодки требуется заменить, в случае высокой степени их износа [20].

По принципу их работы, датчики износа разделяют на:

1. Механические
2. Электрические

#### **1.5.3.1 Механические датчики износа колодок**

Механический датчик представляет собой пластинку из пружинной стали, закрепленной на базе колодки. Принцип работ механического датчика заключается в том, что пластинка, датчика расположена так, что один ее конец выходит за пределы железной базы колодки. Когда фрикционная накладка сотрется до определенной толщины, выступающий финиш пластинки начнет общаться с диском. Трение между металлом и тормозным диском будет сопровождаться звуком. Но, так как фрикционная накладка еще не стерта полностью, то повреждения диска не произойдет [21].

### 1.5.3.2 Электронные датчики износа колодок

Электронные датчики, в отличие от предыдущих, выдают некоторый электрический сигнал, по изменению которого можно судить о состоянии тормозных колодок. Принцип их работы не отличается сложностью. В его основе положено поведение электрической цепи при замыкании контактов: до тех пор, пока толщина фрикционного слоя достаточно велика, цепь разомкнута. Такие датчики делятся на следующие группы:

1. Внешние
2. Интегрированные

Внешние датчики устанавливаются на базе колодки, а в фрикционном слое для них предусмотрено особое углубление. Некоторые типы внешних датчиков позволяют переиспользовать их при замене колодок, но производители все же рекомендуют менять и их [21].

Интегрированные же датчики устанавливаются внутри фрикционной накладки. Извлечь его нереально, исходя из чего, при замене потребуются колодки с новыми интегрированными датчиками [21].

### 1.6 Контроль параметров автомобиля

Согласно поставленной задаче, проектируемая система обязана не только следить за упомянутыми ранее параметрами, но и контролировать один из них. В связи с тем, что замена колодок и дозаправка топливом не могут быть произведены без дополнительных ресурсов, в данном проекте будет осуществляться контроль давления в шинах, для осуществления которого достаточно автоматизировать работу некоторой насосной станции. При падении уровня давления ниже оптимального, с помощью реле, будет включаться насос, который поднимет показатели давления до их нормальных значений.

Для того чтобы подобрать подходящее реле, которое сможет обеспечить работу насосных станций, стоит ознакомиться с характеристиками последних. Для данного проекта примером насосной станции будет служить компрессор ECO AE-013-1. Далее приведены его характеристики [22].

Таблицы 1.2 – Характеристики компрессора ECO AE-013-1

Параметр	Значение
Мощность, Вт	130
Напряжение, В	12
Максимальное давление, бар	10
Максимальная сила тока, А	14

## 2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

В этом разделе будет описана общая структура системы и обосновано её построение в том виде, в котором она представлена на структурной схеме (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А). Ниже будет описана только общая структура, без уточнения моделей конкретных устройств и их характеристик.

Как было сказано в предыдущем разделе (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) система будет измерять давление в шинах, степень износа тормозных колодок, а также уровень топлива в баке транспортного средства. Для измерения давления необходимо четыре датчика, по одному на каждое колесо. На схеме датчики давления объединены в единственный блок. Для мониторинга состояния колодок – два датчика. Для измерения уровня топлива – один датчик (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). Все датчики отображены на схеме.

Для синхронизации работы датчиков необходимо использовать коммутатор, который бы производил мультиплексирование входных сигналов. Это позволит сделать обработку данных последовательной, что упростит ее. В данном проекте коммутатор представлен как часть АЦП.

Для управления работой коммутатора требуется узел управления. Он будет выбирать текущий активный вход, показания с которого будут обрабатываться. В данном проекте узел управления представлен как часть АЦП.

Для того чтобы отображать результаты измерений датчиков на ЭВМ система должна иметь аналогово-цифровой преобразователь. Преобразованный в цифровой сигнал будет заводиться на ЭВМ при помощи интерфейса USB, где в дальнейшем может подлежать дальнейшей обработке и последующему отображению.

Проектируемая система должна обладать блоком контроля одного из перечисленных параметров. Для этого проекта таким параметром было выбрано давление в шинах. Блок контроля будет содержать четыре компаратора, по одному на каждый датчик давления, с заведенными на них опорными напряжениями, соответствующими оптимальному значению давления в шинах. При наличии высокого уровня сигнала хотя бы на одном из компараторов, сигнал будет подан на реле, вследствие чего, включится насосная станция, которая поднимет давление до нужного уровня.

Для того чтобы обеспечить стабильный уровень сигнала и на входах АЦП и на выходах блока контроля, все датчики давления будут подключаться к АЦП через операционные усилители, работающие в режиме повторителя напряжения. Так же, чтобы нивелировать возможные помехи усилители будут совмещены с фильтрами нижних частот. На схеме все усилители-фильтры объединены в один блок.

### 3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

В этом разделе будет представлено описание функциональной схемы системы (см. ПРИЛОЖЕНИЕ Б). Далее будет приведено обоснование выбора конкретных элементов и их описание.

#### 3.1 Датчики давления в шинах

При выборе датчика давления, в первую очередь нужно определить среду, в которой будут проводиться измерения. В случае шин – это сухой газ. Т.к. проектируемая система основана на обработке аналоговых сигналов, то искомый датчик должен быть электрическим. Как говорилось ранее (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) датчики давления можно разделить на абсолютные, избыточные и дифференциальные, в зависимости от их точки отсчета. Далее, на каждый из этих видов, будет приведено по одному примеру конкретных моделей датчиков.

##### 3.1.1 MPXHZ6400A

Датчик давления MPXHZ6400A [23] является абсолютным, что означает, что давление он измеряет относительно вакуума. Датчик является пьезорезистивным и, как говорилось ранее (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ), работает на принципе изменения заряда встроенного в датчик кристалла под действием деформирующей силы давления.

Для расчета выходного напряжения можно использовать формулу [23]:

$$V_{OUT} = V_S \times (0.002421 \times (P \pm Error) - 0.00842), В \quad (3.1)$$

Где  $V_S$  – напряжение питания измеряемое в В, а  $P$  – приложенное к датчику давление в кПа,  $Error$  – погрешность, равная 5.5 кПа при температуре от 0 °С до 85 °С, и изменяющаяся по линейному закону от 5.5 кПа до 16.5 кПа при температуре от 0 °С до -40 °С [23].

Ниже приведен свод основных характеристик датчика. Данные о цене взяты с ресурса [24].

Таблица 3.1 – Характеристики датчика MPXHZ6400A [23]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Напряжение питания	4.64В	5.0В	5.36В
Измеряемое давление	20кПа	—	400кПа
Ток питания	—	6мА	10мА
Минимальное выходное напряжение	0.133В	0.2В	0.267В

Продолжение таблицы 3.1

Максимальное выходное напряжение	4.733В	4.8В	4.866В
Цена	15.50 BYN	—	—

На рисунке 3.1 представлен график зависимости выходного напряжения от измеряемого давления [23].

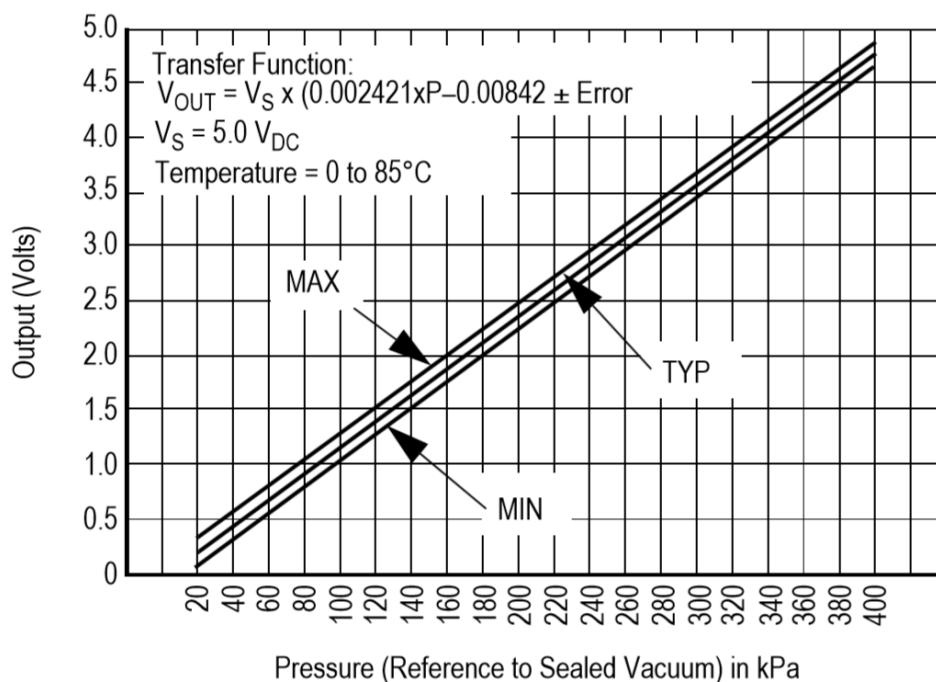


Рисунок 3.1

### 3.1.2 22PCFFA6G

Датчик давления 22PCFFA6G [25] является относительным, то есть он измеряет давление относительно атмосферного. Датчик является тензометрическим, что значит, что он работает на принципе зависимости активного сопротивления встроенного проводника или полупроводника от степени их деформации (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).

Ниже приведен свод основных характеристик датчика. Данные о цене взяты с ресурса [24].

Таблица 3.2 – Характеристики датчика 22PCFFA6G [25]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Напряжение питания	—	10В	12В
Измеряемое давление	14,5psi	—	100psi

*Продолжение таблицы 3.2*

Выходной ток	—	2мА	—
Максимальное выходное напряжение	9.775В	10В	10.225В
Цена	44.00 BYN	—	—

Где psi – фунт силы на квадратный дюйм.

### 3.1.3 MPX2050D

Датчик давления MPX2050D [26] является дифференциальным, то есть он измеряет давление относительно атмосферного. Датчик является пьезоэлектрическим, как и MPXHZ6400A,

Ниже приведен свод основных характеристик датчика. Данные о цене взяты с ресурса [24].

Таблица 3.3 – Характеристики датчика MPX2050D [26]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Напряжение питания	—	10В	16В
Измеряемое давление	0кПа	—	50кПа
Ток питания	—	6мА	—
Минимальное выходное напряжение	-1В	—	1В
Максимальное выходное напряжение	38.5мВ	40мВ	41.5мВ
Цена	16.50 BYN	—	—

Изучив основные характеристики перечисленных моделей, было принято решение в рассматриваемой системе использовать датчик MPXHZ6400A для измерения давления в шинах. Решение было принято в связи с тем, что в отличие от аналогов данный датчик обладает меньшим напряжением питания, позволяет измерять давление в допустимом для нас диапазоне, который не превышает 2.9 бар, согласно параметрам рассматриваемого автомобиля (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) и, к тому же, обладает самой низкой ценой. Все эти преимущества делают его идеальным кандидатом для использования в рамках проектируемой системы.



Таблица 3.4 – Сравнение датчиков давления

	Напряжение питания	Цена	Измеряемое давление
MPXHZ6400A	5В	15.50 BYN	20 – 400кПа
22PCFFA6G	10В	44.00 BYN	10 – 700кПа
MPX2050D	10В	16.50 BYN	0 – 50кПа

Данный датчик не имеет своего условно-графического обозначения, а потому на схеме его будем отображать так, как на рисунке 3.2.

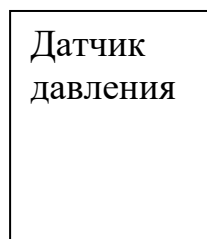


Рисунок 3.2

### 3.2 Датчики уровня топлива

#### 3.2.1 Telemetry TM-11

Датчик уровня топлива Telemetry TM-11 [27] предназначен для определения уровня топлива в баке ТС. Датчик является ёмкостным и, как говорилось ранее (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ), работает на принципе изменения диэлектрической проницаемости среды внутри трубки датчика, работающей как конденсатор.

ДУТ Telemetry TM-11 производит измерение температуры в верхней части встроенной трубки и стержня, и использует полученные значения для коррекции показаний уровня топлива в зависимости от его температуры [28].

Благодаря корпусу из изоляционного материала и гальванической развязке измерительных трубки и стержня от напряжения питания, датчик можно подключать непосредственно к аккумулятору ТС. Для датчика исключается всякое влияние на показания измерений уровня топлива из-за возможных потенциалов на корпусе бака [28].

Ниже представлены основные технические характеристики датчика Telemetry TM-11:

Таблица 3.5 – Характеристики датчика Telemetry TM-11 [27]

Параметр	Значение
Напряжение питания	7 – 36В (питание от бортовой сети ТС)
Диапазон значений выходного напряжения	0 – 10В

*Продолжение таблицы 3.5*

Ток потребления	10мА
Диапазон рабочих температур	-40 – 85°C
Основная приведенная погрешность измерений	±1%
Средняя наработка на отказ	не менее 50000ч

### 3.2.2 OMNICOМM LLS-AF 4

Датчик уровня топлива OMNICOМM LLS-AF 4 [29] является аналоговым, и обладает компактным корпусом, что делает его установку намного проще при плотной компоновке агрегатов. Так же датчик широко распространен на рынке.

Ниже представлены основные технические характеристики датчика OMNICOМM LLS-AF 4:

Таблица 3.6 – Характеристики датчика OMNICOМM LLS-AF 4 [29]

Параметр	Значение
Напряжение питания	7 – 45В
Диапазон значений выходного напряжения	0 – 10В
Потребляемая мощность	Типовая – 0,6Вт, Максимальная – 0,9Вт, при КЗ на аналоговом выходе – 1,6Вт
Диапазон рабочих температур	-40 – 80°C
Основная приведенная погрешность измерений	±1%
Средняя наработка на отказ	не менее 70000ч

Для обработки сигналов датчика требуется специальный адаптер OMNICOМM UNI-USB [30].

### 3.2.3 DUT-E A 10

DUT-E A10 – это датчик уровня топлива, который чаще всего используется в контексте комплексных систем по отслеживанию состояния ТС. Отличительными особенностями датчика являются термокоррекция с

настраиваемым коэффициентом и возможность проводить самодиагностику для контроля достоверности данных [30]. Является емкостным [31].

Ниже приведены характеристики датчика:

Таблица 3.7 – Характеристики датчика DUT-E A10 [31]

Параметр	Значение
Напряжение питания	10 – 50В
Диапазон значений выходного напряжения	2.5 – 9 В
Ток потребления	не более 25мА (24 В), не более 50мА (12 В)
Диапазон рабочих температур	-40 – 80°C
Основная приведенная погрешность измерений	±1%
Средняя наработка на отказ	не менее 44000ч

Исходя из вышеперечисленных характеристик, был сделан выбор в пользу датчика Telemtra TM-11. Как и остальные датчики, он обладает оптимальными электрическими параметрами, однако имеет большую наработку на отказ, чем DUT-E A10 и не требует дополнительных коннекторов, которые необходимы для функционирования OMNICOМM LLS-AF 4.

Таблица 3.8 Сравнение датчиков топлива

	Нарработка на отказ	Интерфейс
Telemetra TM-11	не менее 50000ч	аналоговый
OMNICOМM LLS-AF 4	не менее 70000ч	адаптер OMNICOМM UNI-USB
DUT-E A10	не менее 44000ч	аналоговый

Данный датчик не имеет своего условно-графического обозначения, а потому на схеме его будем отображать так, как на рисунке 3.3.

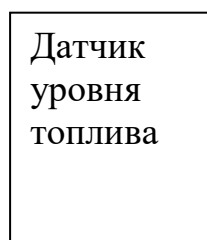


Рисунок 3.3

### 3.3 Датчики износа тормозных колодок

Как говорилось ранее в разделе ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, датчики износа тормозных колодок можно разделить на механические и электрические. Рассмотрим их немного более подробно. Схема типичного механического датчика приведена на рисунке 3.4 [32].



Рисунок 3.4

Как видно из приведенной схемы, устройство работает на принципе деформации металлической пластинки при контакте с тормозным диском. Такой вид датчиков не подходит для проектируемой системы, т.к. мало того, что он является источником потенциальных повреждений тормозного диска, так и не предоставляет никаких сигналов об износе, кроме звуковых. В связи с этим рассматриваемый датчик должен быть электрическим.

На рынке существует множество видов электрических датчиков тормозных колодок (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ), однако, несмотря на их востребованность и распространенность, данные датчики не обладают качественными спецификациями. В связи с этим будут рассмотрены только схемы этих датчиков для конкретных моделей автомобилей.

#### 3.3.1 Датчики моделей Toyota

В автомобилях марки Toyota часто применяется следующая схема контроля тормозных колодок (см. рисунок 3.5) [32].

Когда проволочная петля внутри датчика разорвана тормозным диском, ток протекает по пути наименьшего сопротивления, поэтому резистор на 1.2 кОм не влияет на силу тока в цепи. При разрыве контакта датчика износа, ток начинает протекать и через этот резистор. В этом случае блок управления регистрирует появление в цепи дополнительного сопротивления, и зажигает

индикатор, ответственный за износ тормозных колодок на приборной панели ТС [32].

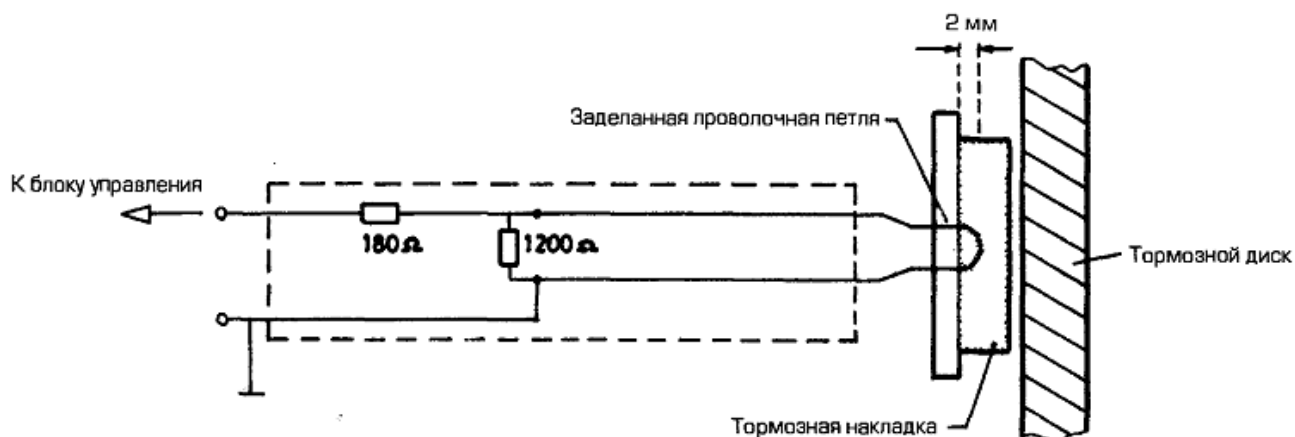


Рисунок 3.5

### 3.3.1 Датчики моделей Volkswagen

Некоторые автомобили Volkswagen, используют схему, которая так же, как и предыдущая, основана на изменении поведения цепи при пробое, однако с некоторыми отличиями [32] (см. рисунок 3.6).

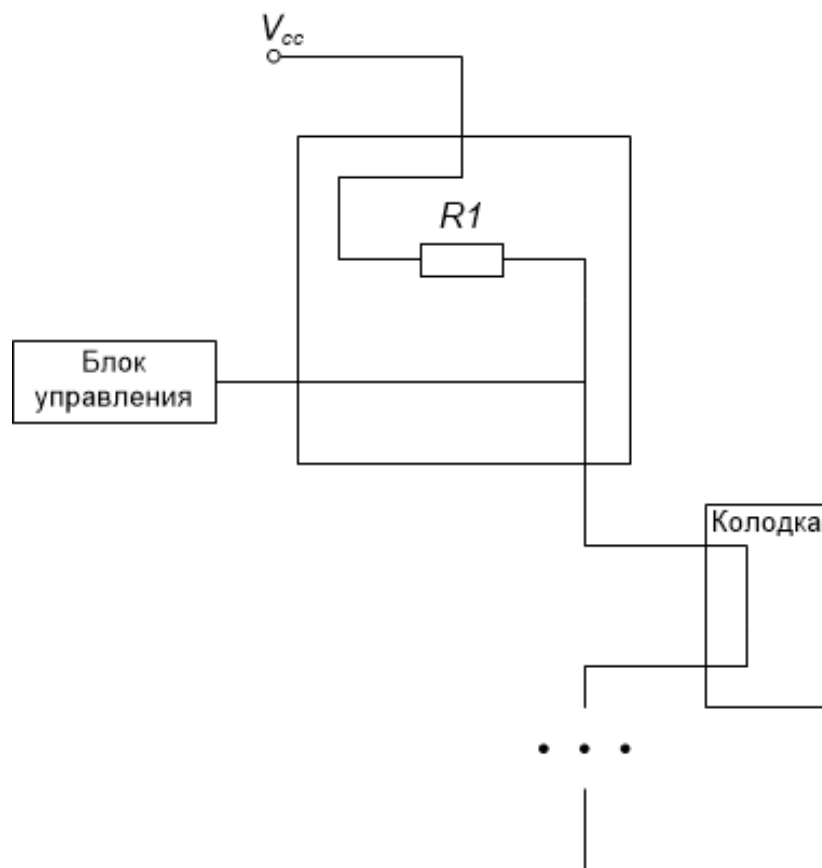


Рисунок 3.6

Когда схема замкнута, все напряжение падает на подтягивающем резисторе R1, за счет чего на входе блока управления устанавливается значение 0В. Как только происходит обрыв, ток в цепи перестает течь, за счет чего потенциал в точке подключения блока контроля возрастает до значения на клемме питания. Блок управления регистрирует это изменение и для уведомления водителя подсвечивает индикатор на приборной панели ТС.

Отличительной особенностью схемы является тот факт, что один единственный датчик контролирует сразу все колодки автомобиля, за счет последовательного соединения вмонтированных в них проводов.

В данном проекте предпочтение будет отдано схеме для моделей Toyota, в связи с тем, что такие датчики позволяют контролировать колодки отдельно друг от друга, в отличие от датчика моделей Volkswagen, где датчик хоть и следит за всеми колодками, все же не может определить, какая именно вышла из строя.

Данный датчик не имеет своего условно-графического обозначения, а потому на схеме его будем отображать так, как на рисунке 3.7.

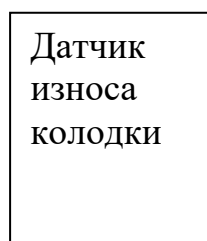


Рисунок 3.7

### 3.4 Аналого-цифровой преобразователь

Для того чтобы отображать сигналы, выдаваемые датчиками, на ЭВМ, системе будет необходимо предварительно дискретизировать их, преобразуя в цифровой сигнал. Для этого будет использован аналого-цифровой преобразователь.

В рамках данного проекта был выбран АЦП m-DAQ12 [33]. Ниже приведены его характеристики:

Таблица 3.9 – Характеристики АЦП m-DAQ12 [33]

Параметр	Значение
Количество аналоговых входов	8 (с общей землей) или 4 дифференциальных
Разрядность	12 бит

Продолжение таблицы 3.9

Предельное входное напряжение	$\pm 15\text{В}$ относительно $A_{\text{GND}}$
Входной диапазон	$\pm 10\text{В}$ , $\pm 5\text{В}$ , $\pm 2.5\text{В}$ , $\pm 1.25\text{В}$
Частота дискретизации (многоканальный / одноканальный режим)	65 Гц... 100 кГц / 65 Гц... 150 кГц
Количество аналоговых выходов	2
Сопротивление нагрузки аналоговых выходов	не менее 2кОм
Максимальный ток нагрузки аналоговых выходов	$\pm 5\text{мА}$
Выходной диапазон	0...5В, 0...10В, 0...10.8В, $\pm 10.8\text{В}$ , $\pm 10\text{В}$ , $\pm 5\text{В}$
Общее число линий дискретного в/в	8
Входное сопротивление цифрового канала (конфигурация как вход)	10.5 кОм (подтягивающий к +5В)
Входное сопротивление цифрового канала (конфигурация как выход)	430 Ом
Напряжение логической «1» (конфигурация как выход / вход)	3.3В / 3.3 – 5В
Напряжение логического «0»	$\leq 0.1\text{В}$
Тип интерфейса для подключения аналоговых и цифровых сигналов	DB-25F
Интерфейс для соединения с ЭВМ	USB 2.0

### 3.5 Коммутатор

Как уже говорилось ранее, в разделе **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ**, коммутатор будет представлен как часть аналого-цифрового преобразователя.

Аналоговый тракт m-DAQ12 выполняет функцию входной коммутации каналов и установки коэффициента усиления для них. Каждый входной канал имеет свои индивидуальные настройки, такие как режим коммутации и коэффициент усиления (который соответствует четырем диапазонам входных напряжений). В однопроводном режиме модуль позволяет опросить до 8 каналов. Оцифрованный выход представляет собой уровень сигнала (AIN 0..7) относительно земли (AGND). В дифференциальном режиме модуль позволяет опросить до 4 дифференциальных каналов. Цифровой выход представляет собой разность сигналов (AIN 0..3 – AIN 4..7) относительно земли (AGND).

Таким образом, количество опрашиваемых входных каналов может быть гибко настроено от 1 до 8 программно, путем выбора подходящего режима.

### 3.6 Узел управления

Узел управления, так же как и коммутатор, будет представлен как часть АЦП. Управление будет осуществляться программно, как говорилось при описании коммутатора.

### 3.7 Узел сопряжения

Для сопряжения АЦП с ЭВМ будет использоваться интерфейс USB 2.0 с возможностью работы в режиме высокой скорости, вплоть до 480 Мб/с [33]. Узел является составной частью АЦП.

Интерфейс USB предоставляет пользователям возможность работать с данным АЦП в режиме Plug & Play. Инициализация программных драйверов будет осуществляться операционной системой сразу после распознавания АЦП при его подключении [33].

Работа АЦП возможна и при отключенном интерфейсе USB, однако это повлечет падение предельных значений напряжений на входах модуля [33].

### 3.8 Усилители-фильтры

Как говорилось в разделе **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ**, система будет включать операционные усилители, совмещенные с фильтрами нижних частот первого порядка, для устранения помех с датчиков давления. Фильтры нужны в схеме, т.к. датчики давления, по сравнению с остальными датчиками, выдают более слабые сигналы, которые больше подвержены искажению. Операционные усилители будут включены в режиме повторителя напряжения, для стабилизации тока на выходе.



В данном проекте будет использоваться операционный усилитель MCP6001R [34].

Ниже приведены основные характеристики выбранного усилителя.

Таблица 3.10 – Характеристики ОУ MCP6001R [34]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Напряжение питания	1.8В	—	6В
Ток питания	—	100 мкА	—
Входное напряжение ( $V_{in+}$ и $V_{in-}$ )	$V_{SS} - 1.0В$	—	$V_{DD} + 1.0В$
Выходной ток	—	$\pm 30mA$	—
Выходное напряжение	$V_{SS} - 25mВ$	—	$V_{DD} + 25mВ$

Где  $V_{SS}$  и  $V_{DD}$  – входы напряжения питания.

Для обозначения сочетания усилителя и фильтра на схеме будем использовать условно-графическое изображение с рисунка 3.9.

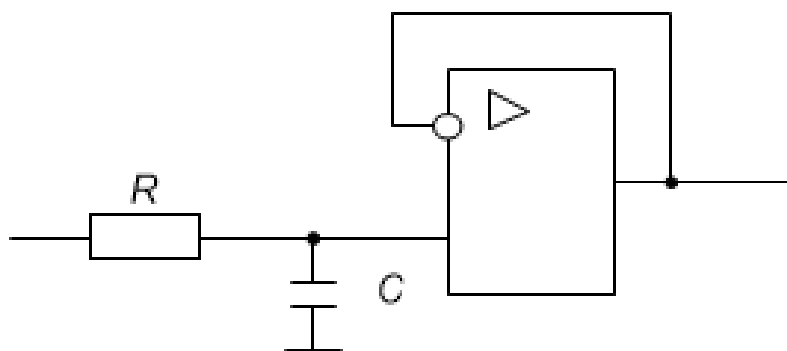


Рисунок 3.9

### 3.9 Блок контроля

Так как проектируемая система обязана осуществлять контроль давления в шинах автомобиля, как было сказано ранее (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ), нужно рассмотреть ответную реакцию в тех случаях, когда показатели давления падают ниже оптимального значения.

Блок контроля состоит из четырех компараторов, по одному на каждый датчик давления, коммутирующего логического элемента ИЛИ и реле, которое будет осуществлять управление работой насосной станции.

На компараторы заводятся показания датчиков и два вида опорных напряжений: для задних и передних колес (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). Выходы компараторов заводятся на логическое ИЛИ, который в свою очередь подключается к реле.

При падении давления хотя бы в одной шине ниже оптимального уровня, на выходе ИЛИ будет сформирован высокий уровень сигнала, достаточный для включения реле, которое в свою очередь обеспечит работу насосной станции. При восстановлении нормального значения давления в шинах произойдет автоматическое отключение реле, т.к. ни один компаратор больше не будет выдавать высокий уровень сигнала, а значит и элемент ИЛИ так же.

Далее рассмотрим составляющие элементы блока.

### 3.9.1 Компараторы

Для того чтобы обеспечить сравнение показаний датчиков с опорными значениями, соответствующими нормальному давлению в шинах (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ), необходимо определиться с выбором компараторов. В данном проекте будет использован компаратор AD790 [35], чьи входные характеристики удовлетворяют диапазону выходных значений датчиков давления.

Ниже приведены характеристики данного элемента:

Таблица 3.11 – Характеристики Компаратора AD790 [35]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Напряжение питания	—	5В, $\pm 15В$	—
Высокий уровень напряжение на выходе	4.3В (ток питания 1.6 мА)	4,45В (ток питания 1.6 мА)	4,65В (ток питания 6.4 мА)
Низкий уровень напряжение на выходе	0.35В (ток питания 1.6 мА)	0.44В (ток питания 6.4 мА)	0.5В (ток питания 6.4 мА)
Входное напряжение	$-V_S$	—	$+V_S$

Где  $V_S$  – напряжения питания.

Для обозначения этого элемента на схеме будем использовать следующее условно-графическое обозначение (см. рисунок 3.10).

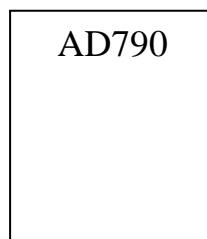


Рисунок 3.10

### 3.9.1 Логическое ИЛИ

Для того чтобы коммутировать выходы компараторов, и таким образом включать реле тогда, когда хотя бы один из них выдает высокий уровень сигнала, необходим элемент логическое ИЛИ. В данном проекте будет использован элемент IN74HC32A [36].

Ниже приведены характеристики данного элемента:

Таблица 3.12 – Характеристики Компаратора AD790 [36]

Параметр	Минимальное значение	Оптимальное значение	Максимальное значение
Минимальное напряжение логической «1» на выходе	$V_{CC} - 0.1V$	$V_{CC} - 0.1V$	$V_{CC} - 0.1V$
Минимальное напряжение логической «1» на входе	1.5V	3.15V	4.2V
Максимальное напряжение логического «0» на выходе	0.1V	0.1V	0.1V
Максимальное напряжение логического «0» на входе	0.5V	1.5V	1.8V
Напряжение питания	2V	4.5V	6V

где  $V_{CC}$  – напряжения питания.

### 3.9.3 Реле

Чтобы управлять работой насосной станции необходимо включить в схему реле, способное выдерживать ток, питающий насосную станцию, и которое бы включалось высоким уровнем сигнала с элемента ИЛИ. В данном проекте будет использоваться реле модели D1D20 [37].

Ниже приведены характеристики данного элемента:

Таблица 3.13 – Характеристики Реле D1D20 [37]

Параметр	Значение
Максимальное напряжение включения	3.5В
Минимальное напряжение выключения	1В
Управляющее напряжение	3.5В – 32В
Максимальный входной ток	1.6 мА (5В), 28 мА (32В)
Максимальный ток нагрузки	20А

Для обозначения этого элемента на схеме будем использовать следующее условно-графическое обозначение (см. рисунок 3.11).

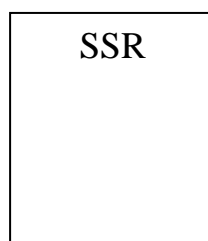


Рисунок 3.11

Реле было подобрано таким образом, чтобы удовлетворять как диапазону возможных входных напряжений, которые вырабатываются элементом ИЛИ, так и значению тока нагрузки, питающего насосную станцию (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).

## 4. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

### 4.1 Датчики давления

Как говорилось в предыдущих разделах (см. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ) всего проектируемая система будет задействовать 4 датчика давления, по одному на каждое колесо. Т.к. будут использованы датчики одной модели МРХНЗ6400А, то расчеты параметров для всех будут одинаковыми.

Ниже, на рисунке 4.1, приведена схема включения датчика.

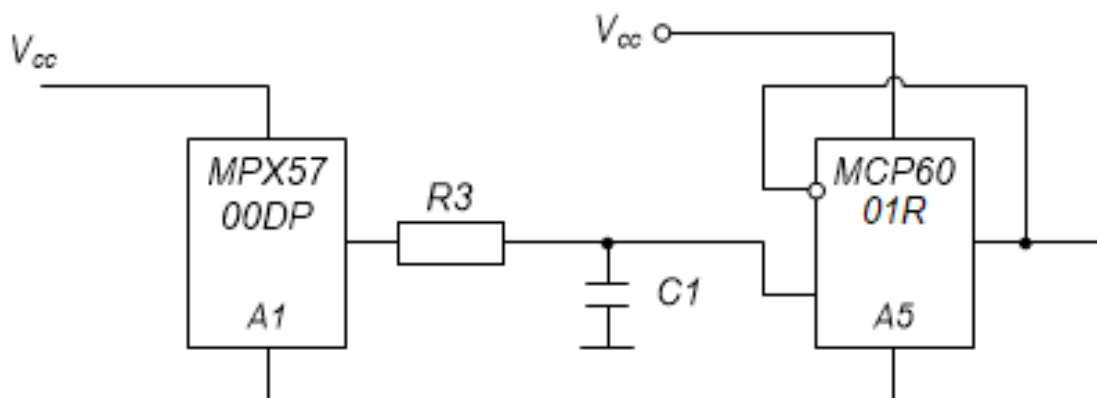


Рисунок 4.1

На приведенной схеме датчик давления подключается к связке из фильтра нижних частот на основе RC цепи и операционного усилителя, для того чтобы не пропустить на входы АЦП возможные помехи, при этом не ослабив сигнал. Напряжение питания, как датчика, так и усилителя, будет составлять 5В, от одного из выходов АЦП (см ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ).

При расчете параметров фильтра используется следующая формула:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Гц} \quad (4.1)$$

где  $f$  – частота среза фильтра,  $R$  – значение сопротивления и  $C$  – значение емкости.

В случае датчиков МРХНЗ6400А, частота среза будет соответствовать частоте обновления показаний датчика, которая, согласно спецификации [23], составляет 1кГц.

При выборе значений элементов фильтра будем отталкиваться от того, что максимальный выходной ток датчика МРХНЗ6400А составляет 0.5мА, а его чувствительность составляет 12.1мВ/кПа [23]. Исходя из этих данных, было решено использовать резисторы номиналом 16Ом, т.к. при таком значении максимально возможное падение напряжения на сопротивлении может составить всего 8мВ, что означает внесение дополнительной

погрешности измерения на 1кПа. Это является допустимым значением, т.к. давление в шинах измеряется в барах, величине, большей на порядки и погрешность измерений самого датчика составляет  $\pm 5$ кПа. Для сохранения точности измерений данную погрешность можно учитывать с помощью АЦП программно.

Если  $R = 16\text{Ом}$ , а  $f = 1\text{кГц}$ , то  $C$  мы вычислим исходя из формулы:

$$C = \frac{1}{2\pi Rf} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 10^3} \approx 9,95\text{мкФ} \quad (4.2)$$

Тогда номиналы элементов всех фильтров будут иметь приведенные выше значения, т.е.  $R3 = R4 = R5 = R6 = 16\text{Ом}$ , и  $C1 = C2 = C3 = C4 = 9,95\text{мкФ}$ .

## 4.2 Датчик уровня топлива

Проектируемая система будет использовать один датчик уровня топлива модели Telemetra TM-11 (см. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ).

Ниже, на рисунке 4.2, приведена схема включения датчика.

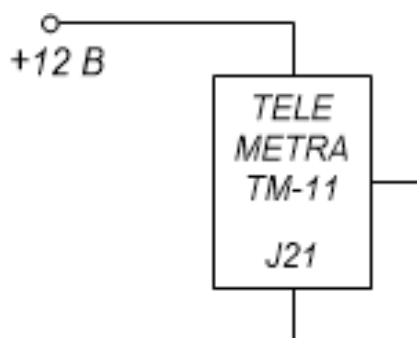


Рисунок 4.2

В отличие от используемых датчиков давления, этот датчик выдает сигнал значительно большей амплитуды, вплоть до 10В [27], при этом обладает высокой точностью [27]. По этим причинам он будет подключаться к АЦП напрямую, без усилителей или фильтров. Ключевой особенностью датчика является то, что согласно спецификации [27], ему требуется питание от бортовой сети транспортного средства. На схеме будем отображать это как подачу на клеммы 12В, что является показателем номинального напряжения бортового аккумулятора [38]. Для того чтобы избежать возможных конфликтов от работы двух независимых источников питания в одной цепи, схема будет реализовывать общую землю для них обоих.

### 4.3 Датчики износа тормозных колодок

В предыдущем разделе говорилось, что в проектируемой системе будут применены датчики давления, на основе схемы, использующейся в автомобилях марки Toyota. Для расчета параметров используемых сопротивлений рассмотрим схемы на рисунке 4.3.

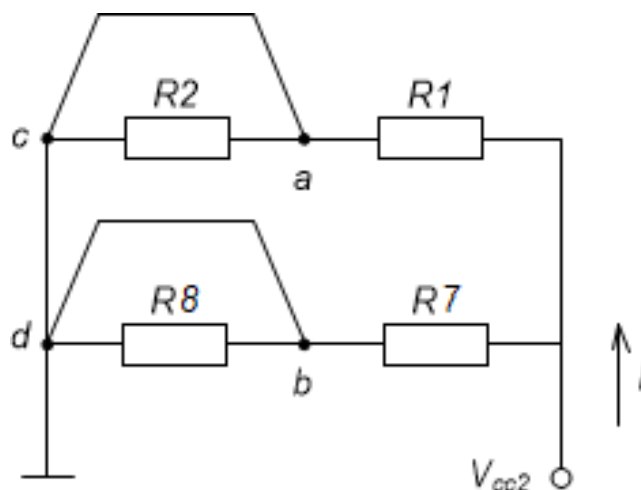


Рисунок 4.3

Датчики износа было решено питать отдельно от остальных элементов схемы для упрощения расчетов и чтобы параметры схемы не зависели от номиналов сопротивлений с вышеупомянутой схемы. Питание будет осуществляться через другой выход АЦП, способный генерировать напряжение в 15В и выдавать ток до 30мА [33]. При проведении расчетов будем отталкиваться от того, что в начальных условиях, когда резисторы  $R2$  и  $R8$  «выключены» из схемы, через нее будет протекать максимальный ток, в 30мА. Т.к. оба датчика будут иметь одинаковые номиналы сопротивлений, то схему можно упростить и рассмотреть ее только для одного датчика, учитывая, что поступающий ток будет делиться между ними поровну. Тогда схема примет вид (см. рис. 4.4):

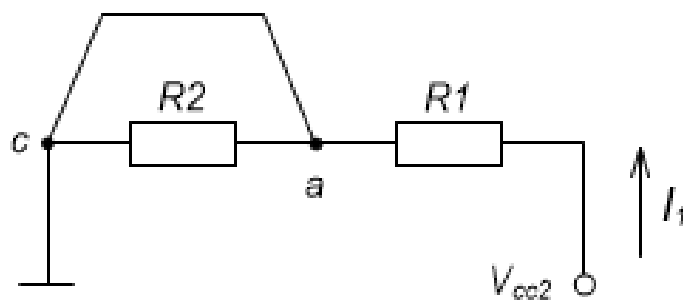


Рисунок 4.4

Тогда найдем подходящее значение  $R1$ :

$$R_1 = \frac{V_{cc}}{I_1} = \frac{15}{0,15} = 1\text{кОм} \quad (4.3)$$

Тогда и  $R_7 = 1\text{кОм}$ . Теперь рассмотрим ситуацию, когда хотя бы одна колодка пришла в негодность и контакт, замыкающий точки а и с, или b и d, разомкнулся. Зададим условие, что АЦП должен регистрировать изменение потенциала в точке а с 0В на 7,5В, т.е напряжение на резисторе R1 уменьшиться в 2 раза, при разрыве контролирующего провода. Из этого следует, что ток, потребляемый схемой, упадет, как следствие закона Ома. Рассчитаем новое значение тока для схемы на рисунке 4.5

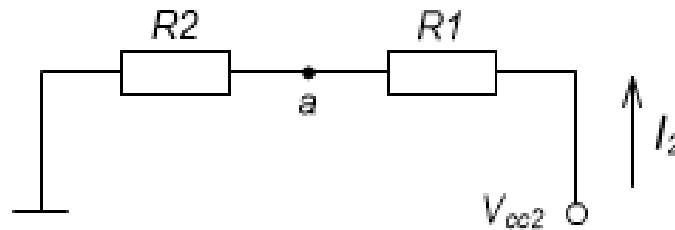


Рисунок 4.5

$$I_2 = \frac{V_{cc} - V_a}{R_1} = \frac{7,5}{1000} = 7,5\text{мА} \quad (4.4)$$

Тогда:

$$R_2 = \frac{V_a}{I_2} = \frac{7,5}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 1\text{кОм} \quad (4.5)$$

Следовательно,  $R_2 = R_8 = 1\text{кОм}$ . Удостоверимся, что рассеиваемая схемой мощность не превышает максимально возможную для АЦП, которая составляет 0,45Вт [33].

$$P \geq 2 \cdot \frac{V_{cc}^2}{R_1 + R_2} \quad (4.6)$$

$$0,45\text{Вт} \geq 2 \cdot \frac{225}{2000} = 0,225\text{Вт}, \quad (4.7)$$

Условие выполняется, а потому можно использовать данные значения сопротивлений. Тогда  $R_1 = R_2 = R_7 = R_8 = 1\text{кОм}$ . Преимуществом такой схемы является тот факт, что здесь задействованы лишь сопротивления с одинаковыми значениями и соединительные провода. Такая схема способна обеспечить простой и дешевый контроль состояния тормозных колодок.



#### 4.4 Аналого-цифровой преобразователь

В разделе ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ было решено использовать АЦП модели mDAQ-12, т.к. именно этот преобразователь соответствует требуемому диапазону входных и выходных напряжений.

Принципиальная схема АЦП приведена на рисунке 4.6.

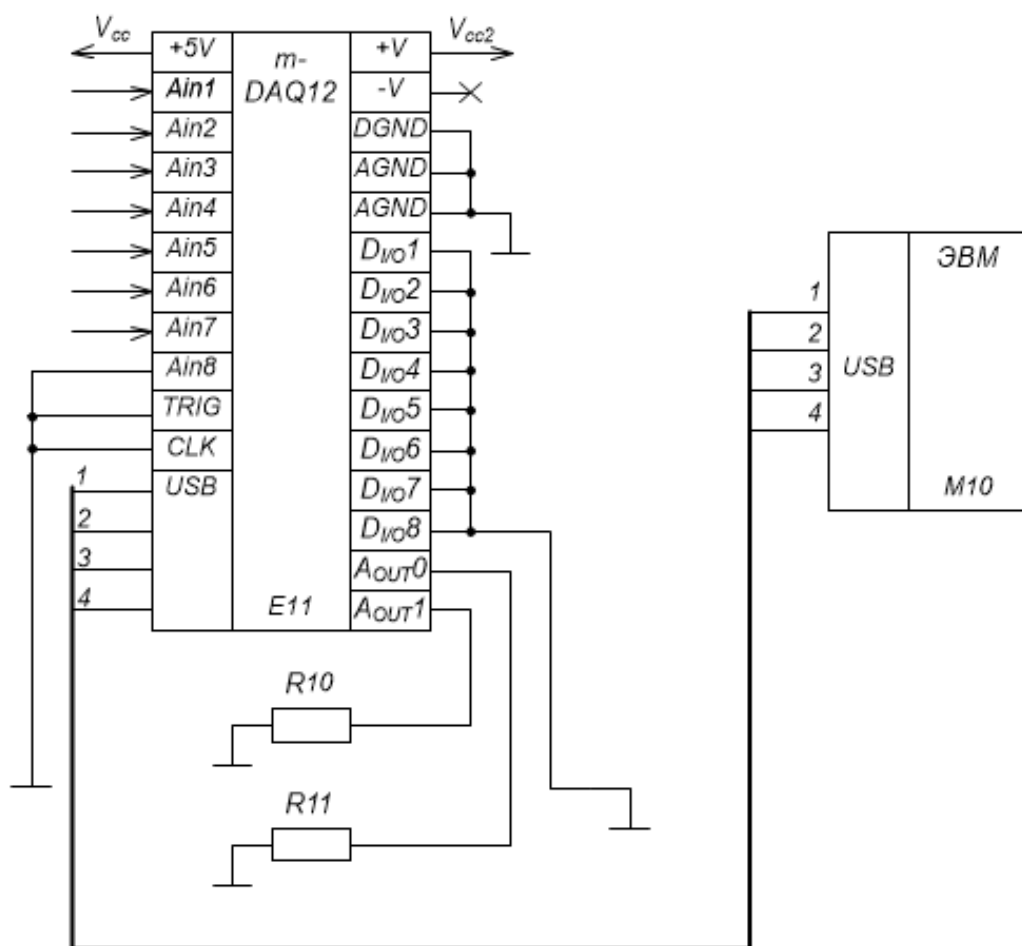


Рисунок 4.6

Питание датчиков давления, операционных усилителей, компараторов и элемента ИЛИ происходит от выхода +5V, генерирующего напряжение в 5В и способного выдавать ток до 100 мА [33]. Питание датчиков износа тормозных колодок осуществляется с помощью выхода +V, который генерирует напряжение в 15В и ток до 30 мА [33]. Как говорилось ранее, сделано это, чтобы блоки схемы были менее зависимыми друг от друга, а так же для упрощения расчетов.

Далее обоснуем способы подключения всех остальных входов и выходов:

Входы Ain1 – Ain7 используются для снятия показаний с датчиков: Ain1 – Ain4 для датчиков давления, Ain5 и Ain6 для датчиков износа тормозных колодок и Ain7 для датчика уровня топлива.

Вход Ain8 будет заведен на землю, т.к. в схеме использоваться не будет. В спецификации не уточняется, какой ток является максимальным для входных линий, из чего был сделан вывод, что вход так же оборудован токоограничивающим резистором, поэтому подключаться к земле он будет напрямую.

Линии Di/o1 – Di/o8 могут работать как входы, так и выходы – режим выбирается программно. Для того чтобы минимизировать схему, эти линии будут по умолчанию запрограммированы как входы. Т.к. эти входы оборудованы встроенными токоограничивающими резисторами на 10,5 кОм [33], то они будут заведены на землю напрямую.

Входы CLK и TRIG обладают такими же характеристиками, как и линии Di/o1 – Di/o8, поэтому они подключаются к земле напрямую.

Выходы Aout1 и Aout2 будут заведены на землю через резисторы  $R11 = R12 = 2\text{кОм}$ , равному минимальному сопротивлению нагрузки согласно спецификации [33].

Выход –V останется в «подвешенном» состоянии, т.к. он тоже является выходом, генерирующим напряжение.

Линии AGND и DGND заводятся на землю напрямую.

Для связи АЦП с ЭВМ используется интерфейс USB 2.0, который обладает 4 сигнальными линиями: два для передачи сигнала и 2 для подачи напряжения питания.

#### **4.5 Блок контроля**

Принцип работы блока контроля был описан ранее в разделе **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ**, поэтому в этом разделе будет приведен расчет основных параметров и описание подключения элементов блока.

##### **4.5.1 Компараторы**

В блоке контроля содержится четыре компаратора AD790, по одному на каждый датчик давления. Все компараторы будут одинаковыми, а потому расчет и описание будут проводиться только для одного элемента, не считая расчета опорных напряжений.

На рисунке 4.7 приведена принципиальная схема компаратора AD790:

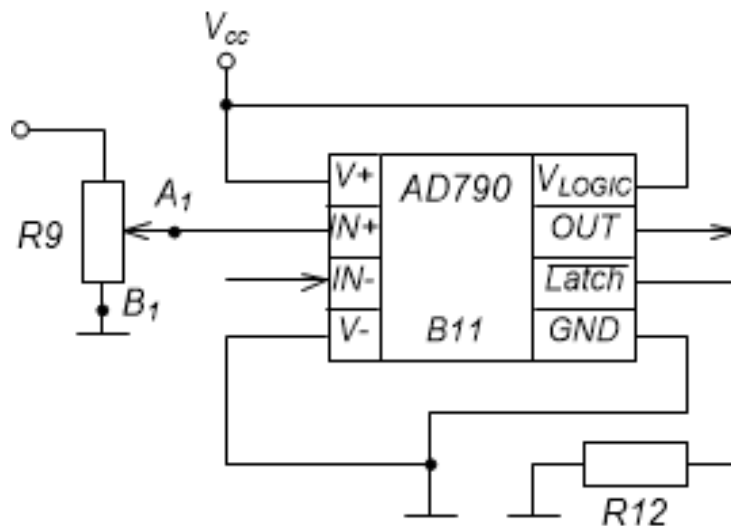


Рисунок 4.7

Схема построена в соответствии с тем вариантом, который предложен в спецификации элемента, при питании от одного источника [35].

Согласно спецификации сопротивление резистора  $R12 = 510 \text{ Ом}$  [35].

На вход  $-IN$  будем подавать показания датчика давления, а на вход  $+IN$  опорное значение, чтобы контролировать те ситуации, когда выход датчика становится меньше значения опорного напряжения.

Для задания опорного напряжения будет использоваться переменный резистор: это позволит контролировать разные значения давления в шинах, что сделает блок контроля более универсальным.

Как говорилось ранее (см. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ) в задних и передних колесах оптимальное значение давления отличается друг от друга. Для передних колес это 2.1 бар (210 кПа), а для задних 2.3 бар (230 кПа). Произведем расчет выходных напряжений датчика MPXHZ6400A, соответствующих этим параметрам давления. Для этого используем формулу, упомянутую ранее, при описании датчика в разделе ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ:

$$V_{OUT} = V_S \times (0.002421 \times (P \pm Error) - 0.00842), \text{ В} \quad (4.8)$$

Расчет будем производить для нормальных условий, при температуре от 0 до 85°C.

$$V_{OUT1} = 5 \times (0.002421 \times (210 \pm 5.5) - 0.00842) \approx 2,5\text{В} \quad (4.9)$$

для передних колес.

$$V_{OUT1} = 5 \times (0.002421 \times (230 \pm 5.5) - 0.00842) \approx 2,75\text{В}, \quad (4.10)$$

для задних колес.

Из этого следует, что необходимо сформировать опорные напряжения 2,5В и 2,75В. Для этого воспользуемся переменными резисторами.

Для обоснования выбора переменного резистора, рассчитаем, какой ток будет приходить на его вход. Линия АЦП +5V способна выдавать ток до 100мА [33]. Рассмотрим, какой ток потребляют элементы схемы.

Датчики давления потребляют 6 мА каждый [23], т.е. 24 мА в сумме.

Компараторы потребляют ток в 10 мА каждый [35], т.е. 40 мА в сумме.

Операционные усилители потребляют всего 100 мкА [34].

Элемент ИЛИ потребляет до 10 мкА при н.у. [36].

Таким образом, получаем, что ток, потребляемый схемой без учета опорных напряжений равен:

$$I = 4 \cdot I_p + 4 \cdot I_{comp} + I_{OR} + 4 \cdot I_{amp}, \quad (4.11)$$

где  $I_p$  – ток, потребляемый одним датчиком давления,  $I_{comp}$  – потребляемый одним компаратором и  $I_{OR}$  – потребляемый элементом ИЛИ.

$$I = 4 \cdot 6 + 4 \cdot 10 + (1 + 40) \cdot 10^{-2} \approx 64,4 \text{ мА}, \quad (4.12)$$

Тогда ток, примем ток, который будет поступать на переменные резисторы за:

$$I_R = I_{max} - I = 100 - 64,4 = 35,6 \text{ мА}, \quad (4.13)$$

При выборе переменных резисторов, будем отталкиваться от их максимальной рассеиваемой мощности, учитывая то, что потреблять они будут одинаковое количество тока:

$$P_{Rmax} = V_{cc} \cdot I_R / 4 = 5 \cdot 35,6 / 4 = 44,5 \text{ мВт}, \quad (4.14)$$

Было решено использовать переменные резисторы модели RK163, т.к. рассеиваемая ими мощность составляет 100мВт [40], что соответствует установленному выше требованию.

Для того, чтобы произвести настройку переменного резистора, необходимо подключить к точкам  $A_i$  и  $B_i$  вольтметр, после чего повернуть вал так, чтобы напряжение между точками  $A_i$  и  $B_i$  составило 2,5В для передних и 2,75В для задних колес. Если же потребуются контролировать другие оптимальные значения давления, то необходимо лишь рассчитать то напряжение, которое соответствует нужному давлению, и произвести настройку переменных резисторов таким же образом, как было описано выше.

#### 4.5.2 Логическое ИЛИ

В проектируемой системе будет использоваться один элемент IN74HC32A [36], содержащий четыре встроенных логических ИЛИ. Схема его включения приведена ниже (см. рисунок 4.9).

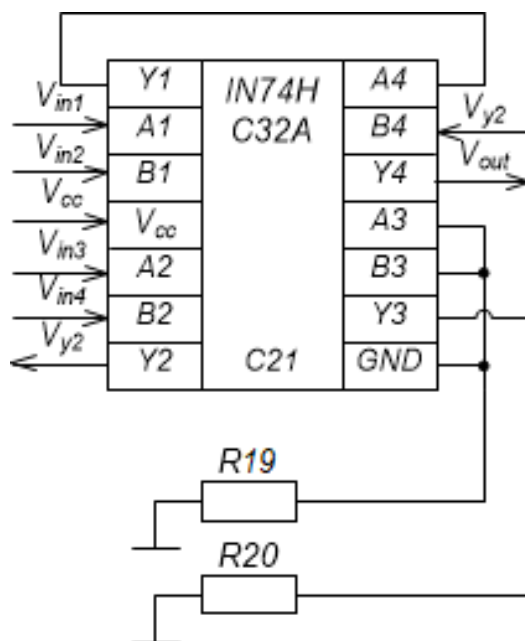


Рисунок 4.9

На входы A1, B1, A2, B2 подаются выходные напряжения с компараторов, в то время как соответствующие выходы Y1, Y2 коммутируются с помощью входов A4 и B4. Таким образом, на выходе Y4 будет формироваться потенциал, управляющий включением/выключением реле. Неиспользуемые входы A3 и B3 и выход Y3 будут заведены на землю через резисторы. Согласно спецификации [36] максимальный входной ток равен 20мА, а максимальное входное напряжение, в нашем случае, 6,5В. Таким образом, по закону Ома, получаем  $R19 = 325\text{Ом}$ . Максимальный же ток на выходе составляет 25мА, максимальное выходное напряжение составляет, в нашем случае, 5,5В. Исходя из закона Ома  $R20 = 220\text{ Ом}$ .

#### 4.5.3 Реле

Как говорилось в предыдущем разделе (см. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ), к выходам реле будет подключена насосная станция, чьим питанием оно и будет управлять, а на входы будет заведено напряжение с блока логического ИЛИ. Выбранное реле D1D20 [37] обладает максимальным напряжением включения равным 3,5В, в то время как напряжение логической 1 микросхемы IN74HC32A, в нашем случае, составляет 4,9В. Эти параметры согласуются, а значит элементы подобраны верно.

Принципиальная схема системы представлена в ПРИЛОЖЕНИИ В.

## 5. РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Последним этапом проектирования системы контроля параметров автомобиля является разработка печатной платы.

Далее будут рассмотрены основные правила проектирования печатных плат и ключевые свойства разрабатываемой платы.

Одними из самых важных параметров при разработке печатных плат являются ширина и толщина дорожек. В связи с тем, что дорожки на плате не являются идеальными проводниками – они обладают некоторым сопротивлением. Согласно стандарту IPC-2221 [41], дорожки нужно подбирать исходя из значения максимальной силы тока в рассматриваемой цепи, по формуле:

$$I_{max} = k \cdot \Delta T^{0,44} \cdot A^{0,725} , \quad (5.1)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения проводника,  $\Delta T$  – разность максимальной температуры платы и максимальной температуры среды, где будет проходить эксплуатация, а  $k$  – коэффициент либо для внутренних, либо для внешних слоев.

Для нашего случая максимальная сила тока равна 100мА – максимальному току выхода питания +5В от АЦП или выхода датчика уровня топлива. Разность максимальных температур возьмем равной 10 °С. Программное обеспечение KiCad, в котором производилась разработка, самостоятельно проводит нужные расчеты по описанной выше формуле. Исходя из полученных результатов расчетов, минимальная ширина дорожек должна составлять 0,051 мм и толщина 0,035мм для внешних слоев. Для данной платы было решено использовать дорожки шириной 0,5мм, потому что они обладают большей прочностью и надежностью. Так же использовались дорожки шириной 0,25мм для тех случаев, когда было необходимо соединить входы элементов, с малыми размерами.

Разработанная плата является двусторонней, т.к. это упрощает проектирование и уменьшает размеры платы.

Для того чтобы можно было производить настройку потенциометров на нужное выходное напряжение, на плате расположены один разъем земли и еще 4, по одному на каждый потенциометр, где формируется соответствующий выходной потенциал, чья разность с землей и является искомым напряжением.

В связи с тем, что питание датчиков происходит как от линий АЦП, так и от бортовой сети ТС, необходимо обеспечить общее заземление для этих цепей. Для этого на плате расположено отверстие, с помощью которого можно соединить земли платы и корпуса ТС.

Питание датчиков также будет обеспечиваться через специальные отверстия в плате, на которые соответственно заведены линии АЦП +5В и +15В.

Отдельное отверстие в плате есть и для управления реле, куда заведен выход логического ИЛИ. Реле должно подключаться к этому отверстию и корпусу ТС либо отверстию земли на плате.

При расположении элементов на плате использовались готовые посадочные места из библиотек KiCad. Для тех элементов, чьи посадочные места отсутствовали в стандартных библиотеках, были использованы те, что предоставляются сайтом/библиотекой SnapEDA [42].

Трассировка платы была произведена в несколько этапов:

1. Расположение элементов на плате
2. Проведение автотрассировки
3. Оптимизация положения элементов
4. Повторная автотрассировка
5. Проведение ручной трассировки на основе результатов предыдущего шага

Для проведения автотрассировки было использовано программное обеспечение TotoroR.

При проведении трассировки важно следить за тем, под каким углом происходит поворот дорожек: прямым, острым или тупым. Важно избегать прямых углов, острые углы допустимы, а тупые углы и дугообразные повороты являются наиболее приемлемыми.

В результате проведенной работы была спроектирована плата, слои которой приведены в ПРИЛОЖЕНИИ Г и ПРИЛОЖЕНИИ Д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного курсового проекта была разработана система, способная осуществлять мониторинг одних из самых важных параметров автомобиля, таких как износ тормозных колодок, уровень топлива и давления в шинах. Последний параметр данная система способна контролировать и поддерживать на оптимальном уровне. При разработке были изучены основные особенности датчиков, необходимых для измерений выше упомянутых параметров, и выбраны конкретные модели, лучше всего подходящие для данной системы.

Основными плюсами системы являются:

1. Многофункциональный модуль АЦП, с возможностью подключения к ЭВМ, что дает возможность программно корректировать результаты измерений и удобно их отображать.
2. Достаточно дешевые и распространенные аналоговые компоненты, такие как датчики давления, усилители и т.д.
3. Обеспечение контроля давления в шинах автомобиля независимо от текущей нагрузки или, иными словами, от числа пассажиров, за счет использования потенциометров.

Можно выделить и некоторые минусы системы:

1. Высокая цена аналого-цифрового преобразователя.
2. Значительное увеличение размеров платы из-за использования механических потенциометров

В будущем система может быть улучшена, путем расширения числа как отслеживаемых, так и контролируемых параметров. Будет необходимо приспособить систему к работе вне нормальных условий, в связи с тем, что ее эксплуатация будет проходить в разных погодных условиях. Потребуется проектирование корпуса.

В заключение можно сказать, при разработке системы был получен большой опыт работы с аналоговыми устройствами, с проектированием электрических схем и с проектированием печатных плат. Были изучены различные параметры автомобиля и современные методы их измерения и контроля. На основе этой информации получилось спроектировать систему контроля параметров автомобиля, обладающую гибкостью параметров измерений и высоким качеством используемых компонентов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Технические характеристики Mercedes-Benz C220 CDI [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.autonet.ru/auto/ttx/mercedes-benz/c/269931>.
- [2] Давление в шинах [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://avtopulsar.ru/chto-takoe-davlenie-v-shinax-i-kakim-ono-dolzno-byt/>.
- [3] Уровень жидкости [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://kipiavp.ru/info/izmerenie-urovnya-jidkosti.html>.
- [4] Тормозная колодка [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тормозная\\_колодка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тормозная_колодка).
- [5] Датчики. / Г. Виглеб – М. : Мир, 1989. – 196 с.
- [6] В.М. Шарапова. Датчики. / В.М. Шарапова [и др.] – М. : Техносфера, 2012. – 58 с.
- [7] Дж. Фрайдан. Современные датчики. / Дж. Фрайдан – М. : Техносфера, 2005. – 589 с.
- [8] Датчики давления [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://kontech-system.com.ua/articles/datchiki-davlenija-tipy-harakteristiki-osobennosti-podbor>
- [9] Трубка Бурдона: подробно простым языком [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://kipiavp.ru/pribori/trubka-burdona.html>
- [10] Мембранный датчики давления серии 1516 [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://dmliefer.ru/sites/default/files/pe-orange-research.pdf>
- [11] Датчики давления. Виды и принцип работы [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/datchiki-davlenija/>
- [12] Индуктивные датчики давления [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://studopedia.org/2-103130.html>
- [13] Электрические датчики давления [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/1762-jelektricheskie-datchiki-davlenija.html>
- [14] Вакуумные датчики давления [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://tek-prom.ru/vakuumnyj-datchik/>
- [15] Абсолютное, избыточное и дифференциально давление – точка отсчета [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://prompribor.com.ua/ru/pages/924/>
- [16] Датчик уровня топлива [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/fuel/fuel-level-sensor.html>

[17] Какие бывают датчики уровня топлива? [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://glonass24.com/kakie-byvayut-datchiki-urovnya-topliva/>

[18] Telemetra TM-11 Manual [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://dut.by/gallery/telemetra%20tm11.pdf>

[19] Ультразвуковые датчики уровня топлива [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.xn--80aafey1amjhcre.xn--plai/monitoring/oborudovanie/dop-oborudovanie/ultrazvukovye-datchiki-urovnya-rasxoda-topliva.html>

[20] Датчик износа тормозных колодок [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Brake\\_wear\\_indicator](https://en.wikipedia.org/wiki/Brake_wear_indicator)

[21] Как работает датчик износа тормозных колодок [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://iru-cis.ru/kak-rabotaet-datchik-iznosa-tormoznyh-kolodok/>

[22] Компрессоры автомобильные ECO AE-013-1 и ECO AE-015-1 [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: [https://instrument-opt.by/userfiles/tools/Kompressor-avtomobilnij-ECO-AE0151-40lmin-10atm-150Vt\\_5.pdf](https://instrument-opt.by/userfiles/tools/Kompressor-avtomobilnij-ECO-AE0151-40lmin-10atm-150Vt_5.pdf)

[23] Датчик давления MPXHZ6400A [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/005/DOC003005142.pdf>

[24] Интернет магазин ChipDip [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – <https://www.chipdip.by/>

[25] Датчик давления 22PCFFA6G [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/180/DOC000180372.pdf>

[26] Датчик давления MPX2050D [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/180/DOC000180381.pdf>

[27] Датчик уровня топлива Telemetra TM-11 [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://dut.by/gallery/telemetra%20tm11.pdf>

[28] Датчики Telemetra [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: [http://dut.by/gallery/telemetra\\_re.pdf](http://dut.by/gallery/telemetra_re.pdf)

[29] Датчик уровня топлива OMNICO MM LLS-AF 4 [Электронный ресурс]. - Электронные данные. – Режим доступа: [https://doc.omnicomm.ru/ru/omnicomm\\_lls\\_3x-manual-af4?pdf&document](https://doc.omnicomm.ru/ru/omnicomm_lls_3x-manual-af4?pdf&document)

[30] Датчики DUT-E руководство по эксплуатации. - Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.technoton.by/data/dc/DUT-E\\_SK\\_DUT-E\\_rukovodstvo\\_po\\_ekspluatatsii.pdf](http://www.technoton.by/data/dc/DUT-E_SK_DUT-E_rukovodstvo_po_ekspluatatsii.pdf)

[31] Датчики DUT-E. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.ckpt.ru/bortovoe?id=24>

[32] Принцип работы и проверка датчика износа тормозов. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://autolirika.ru/remont/datchik-iznosa-tormoznyh-kolodok.html>

[33] АЦП m-DAQ12. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://old.holit.ua/download/common/docs/hds/m-DAQ.pdf>

[34] Операционный усилитель MCP6001. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.mouser.com/ds/2/268/21733h-26779.pdf>

[35] Компаратор AD790. - Электронные данные. – Режим доступа: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48360/AD/AD790.html>

[36] Логическое ИЛИ IN74HC32A. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://belchip.by/sitedocs/00002312.pdf>

[37] Реле D1D20. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/226/DOC000226845.pdf>

[38] Номинальные напряжения аккумуляторов. - Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.akbservice.ru/naprjzenie\\_akb.html](http://www.akbservice.ru/naprjzenie_akb.html)

[39] АЦП E-154. - Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.lcard.ru/download/e154\\_manual.pdf](http://www.lcard.ru/download/e154_manual.pdf)

[40] Потенциометры RK163. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.alps.com/prod/info/E/PDF/Potentiometer/RotaryPotentiometers/RK16/RK16.pdf>

[41] Generic Standard on Printed Board Design IPC-2221. - Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.sphere.bc.ca/class/downloads/ipc\\_2221a-pcb%20standards.pdf](http://www.sphere.bc.ca/class/downloads/ipc_2221a-pcb%20standards.pdf)

[42] Parts library SnapEDA. - Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.snapeda.com>

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
*(обязательное)*

Схема структурная

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
*(обязательное)*

Схема функциональная

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
*(обязательное)*

Схема принципиальная

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
*(обязательное)*

Печатная плата. Верхний слой

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
*(обязательное)*

Печатная плата. Нижний слой



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
*(обязательное)*

Перечень элементов

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**  
*(обязательное)*

Ведомость документов