

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Космических и информационных технологий
институт
Вычислительная техника
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ О.В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

«Система управления динамическими испытаниями автомобильных узлов.

Аппаратная часть»

Тема

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

код и наименование направления

Руководитель

подпись, дата

Доц. Кафедры ВТ
Канд. техн. наук
должность, ученая степень

В.Г. Середкин
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

К.Ю. Рускалев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Доц. Кафедры ВТ
Канд. техн. наук
должность, ученая степень

В.Г. Середкин
инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий

институт

Вычислительная техника

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ О.В.Непомнящий

подпись

инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме бакалаврской работы

Студенту _____ Рускалеву Константину Юрьевичу _____

фамилия, имя, отчество

Группа _____ КИ18-09Б _____ Направление (специальность) _____ 09.03.01 _____

номер

код

_____ Информатика и вычислительная техника _____

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Система управления динамическими испытаниями автомобильных узлов. Аппаратная часть

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР _____ В. Г. Середкин, доцент, доц. каф. ВТ, к.т.н _____

инициалы, фамилия, должность, учёное звание и место работы

Исходные данные для ВКР: Информационная модель системы. Схема электрическая структурная и схема электрическая функциональная системы.

Перечень разделов ВКР: Анализ предметной области. Разработка прототипа модуля сбора данных системы динамических испытаний. Агрегатирование прототипа модуля сбора данных. Испытания прототипа модуля сбора данных.

Перечень графического материала: Презентация в формате Power Point, схема электрическая принципиальная прототипа модуля сбора данных, перечень элементов.

Руководитель ВКР

подпись

В. Г. Середкин

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

К.Ю. Рускалев

инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20__ г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме дипломного проекта на тему «Система управления динамическими испытаниями автомобильных узлов. Аппаратная часть» содержит в себе 38 страниц текстового документа, 2 приложения, 14 использованных источников, 25 иллюстраций.

ПРОЕКТ, АГРЕГАТ, ИСПЫТАНИЯ, СБОР ДАННЫХ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, ПРОТОТИП.

Цель работы: разработка прототипа модуля сбора данных системы управления динамическими испытаниями автомобильных узлов, разработка программного обеспечения для прототипа.

Задачи:

- Анализ задания на выпускную квалификационную работу и обоснование выбора принятого решения;
- Обоснование выбора функциональных узлов системы;
- Разработка схемы электрической принципиальной прототипа модуля сбора данных;
- Обоснование и разработка программного обеспечения для прототипа модуля сбора данных;
- Натурные испытания модуля на стенде.

Во введении раскрывается актуальность данной работы.

В первой главе произведен анализ задания на выпускную квалификационную работу, рассмотрены несколько существующих решений, обоснование принятого решения.

Во второй главе обоснован выбор функциональных узлов, разработана схема электрическая принципиальная.

В третьей главе описаны конструктивное воплощение прототипа модуля сбора данных и его программное обеспечение.

В четвертой главе приведены результаты испытаний прототипа модуля сбора данных.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Анализ предметной области	6
1.1 Анализ задания и обоснование выбранного решения	6
1.2 Постановка требования при выполнении задачи.....	10
1.3 Цели создания системы.....	11
1.4 Функциональные возможности.....	12
1.5 Анализ существующих решений	12
1.5.1 Стенд для диагностики амортизаторов Авто Оснастка «ПС-63» ..	12
1.5.2 Стенд для диагностики амортизаторов MSG MS1000+	13
1.5.3 Стенд для диагностики амортизаторов CENTURION S1000AMR	17
1.6 Вывод.....	18
2 Разработка прототипа модуля сбора данных системы динамических испытаний	19
2.1 Принятие решения на основе результатов моделирования.....	19
2.2 Обоснование выбора компонентов для прототипа модуля сбора данных	20
2.2.1 Выбор микроконтроллера.	20
2.2.2 Выбор датчика динамических характеристик.	22
2.2.3 Выбор датчика деформации.....	24
2.2.4 Выбор аналого-цифрового преобразователя.....	24
2.2.5 Выбор температурного датчика.....	26
2.2.6 Обоснование выбора модуля питания.	27
2.3 Разработка схемы электрической принципиальной прототипа модуля сбора данных.....	29
3 Агрегатирование прототипа модуля сбора данных.....	32
3.1 Реализация физического уровня прототипа модуля сбора данных	32
3.2 Разработка ПО для прототипа модуля сбора данных.....	34
4 Испытания прототипа модуля сбора данных	36

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	38

ВВЕДЕНИЕ

За последние 20 лет конструкция гидравлических амортизаторов, применяемая в подвесках транспортных средств практически, не изменились и, по сути, себя исчерпала. Рабочие характеристики амортизаторов наиболее зависят от параметров рабочего тела – масла, а так как работа амортизатора основана на жидкостном трении, то вследствие гашения колебаний происходит нагрев масла с последующим изменением характеристик масла и самого амортизатора. Преобразованная энергия колебаний в процессе работы рассеивается в окружающую среду в среднем величина которой составляет 500-1000 Вт. К тому же гидравлические амортизаторы склонны к отказу уплотнения штока и утечки рабочей жидкости.

Альтернативой выступают электромагнитные амортизаторы, способные преобразовывать основную долю высвобождаемой энергии в полезную электрическую, что наиболее актуально для электрических и гибридных силовых установок транспортных средств.

В настоящее время основным разработчиком электромагнитной подвески является Амар Боуз (основатель Bose Corporation), создавший электромагнитные амортизационные стойки, в которых роль как упругого элемента, так и демпфера выполняют статоры, а роторы находятся в жёсткой связи с каждым из колес. Весь комплекс получает сигналы от центрального контроллера, который анализирует данные, получаемые от различных датчиков, и управляет системой по заложенным алгоритмам.

Ещё одним разработчиком электромагнитной подвески является Технологический университет Эйндрховена совместно с фирмой SKF. Разработчиками предлагается схема подвески с использованием электромагнитной "капсулы" только в качестве демпфера, а функция упругого элемента остаётся за обычной пружиной. Система состоит из электромагнитного актуатора, управляющего блока и источника питания. Общее энергопотребление системы около 500 Вт. В случае отказа электромагнитного амортизатора,

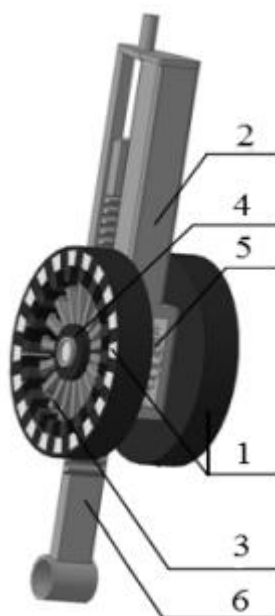
подвеска продолжает работать как обычная пружинная, только без демпфирования.

К преимуществам электромагнитной подвески относятся возможность адаптации к дефектам дорожного покрытия, путём изменения жёсткости, и управление скоростью реакции подвески. Главным недостатком этих систем является существенное энергопотребление, необходимое для поддержки работы системы. Отказ работы системы из-за отсутствия демпфирования приведёт к дискомфортному и небезопасному передвижению транспортного средства, в крайнем случае движение автомобиля станет невозможным.

1 Анализ предметной области

1.1 Анализ задания и обоснование выбранного решения

В Политехническом институте Сибирского федерального университета ведётся разработка электромагнитного амортизатора, который способен преобразовывать энергию колебаний в электрическую для передачи её в бортовую сеть автомобиля, адаптировать подвеску к условиям движения ТС и обеспечивать её работоспособность без отбора энергии из бортовой сети.



1 – генераторы; 2 – корпус; 3 – роторы генератора; 4 – обгонная муфта; 5 – мультипликатор;
6 – зубчатая рейка


Рисунок 1 – Принципиальная схема электромагнитного амортизатора
вращательного типа

На данном этапе разработки предполагается следующий вариант конструктивного исполнения электромагнитного амортизатора с применением генератора вращательного типа (рисунок 1), представляющая собой два независимо друг от друга работающих генератора (для ходов сжатия и отбоя),

закреплённых на корпусе. Привод роторов осуществлён через обгонные муфты, установленные на мультипликатор, связанный с зубчатой рейкой. Применение в данной схеме обгонных муфт и двух не связанных между собой генераторов обусловлено необходимостью снижения влияния динамических нагрузок при смене направления движения зубчатой рейки.

Данная схема возможна в довольно компактном исполнении за счёт увеличения частоты вращения роторов генераторов, что положительно отражается на КПД всего узла в целом.

С целью изучения эффективности данного амортизатора в Политехнический институт Сибирского федерального университета была доставлена стендовая установка SS20 S400AM, произведенная компанией Centurion (рисунок 4), которая включает в себя: исследуемый генератор, привод, источник питания для обмотки возбуждения генератора, систему частотного преобразования и динамометр для определения момента сопротивления генератора (все элементы приведены в рисунке 5), а также тензорезистивный датчик (рисунок 2) и угловой энкодер (рисунок 3).



Параметры датчика	Единицы измерения	Значения параметров	
Наибольший предел измерения (НПИ)	т	0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20	
Класс точности по ГОСТ 8.631-2013		С1	С3
Число поверочных интервалов		1000	3000
Минимальный поверочный интервал		НПИ / 5000	НПИ / 10000
Рабочий коэффициент передачи (РКП)	мВ/В	2 ± 0,005; 1 ± 0,0025 (10 т); 1,5 ± 0,0040 (20 т)	2 ± 0,002; 1 ± 0,0010 (10 т); 1,5 ± 0,0015 (20 т)
Начальный коэффициент передачи (НКП)	% от РКП	< 3	< 3
Комбинированная погрешность	% от РКП	≤ ± 0,040	≤ ± 0,020
Получность (30 мин.)	% от РКП	≤ ± 0,049	≤ ± 0,025
Изменение НКП от температуры	% от РКП/°С	≤ ± 0,0028	≤ ± 0,0014
Изменение РКП от температуры	% от РКП/°С	≤ ± 0,0022	≤ ± 0,0011
Наибольшее напряжение питания постоянного тока	В	12	
Сопротивление входное	Ом	380 ± 15	
Сопротивление выходное	Ом	350 ± 1	
Сопротивление изоляции	ГОм	≥ 5	
Номинальный диапазон температур	°С	-10... +40	
Диапазон температур эксплуатации и хранения	°С	-50... +50	
Степень защиты по ГОСТ 14254		IP65	
Допустимая перегрузка в течение не более 1 часа	% от НПИ	25	
Разрушающая нагрузка	% от НПИ	300	
Материал датчика		Легированная сталь	

Массо-габаритные параметры									
НПИ, т	L1, мм	L2, мм	B1, мм	B2, мм	D, мм	M, мм	H, мм	Масса датчика, кг	Длина кабеля, м
0,5; 1; 2	94	9	32	42	96	M16	90	1,5	3
3, 5, 7	120	12	50	60	126	M24	120	4	
10	140	15	74	84	154	M30x2	140	9,3	10
20								8	

Рисунок 2 - Тензорезистивный датчик Тензо-М С2



Число периодов выходного сигнала на оборот вала	XXXXXXЗ	?????? - Число периодов выходного сигнала на оборот вала Число штрихов регулярного расстра лимба: 50(кроме СН), 88, 96, 100, 120, 125, 150, 192, 200, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 600, 625, 635, 800, 840, 900, (1000) 1024, 1080, 1125, 1200, 1250, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000, 2048, 2130, 2500, 2540, 3000, 3125, 3300, 3600, 4000, 4096, 4320, 4500, 5000, 5400 Коэффициент интерполяции для Н - 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 16, 25, 50 Коэффициент интерполяции для Т - 1, 2, 5, 10	
Напряжение питания	XX4	05 - +5В	30 - +10...30В
Вид выходного сигнала	XX5	ПИ - Прямоугольные импульсы TTL СН - Синус напряжения ~1В СТ - Синус тока ~11мкА ОС - Открытый коллектор	ПИ - Прямоугольные импульсы НТЛ ОС - Открытый коллектор

Рисунок 3 - Угловой энкодер ЛИР-158А

Однако заводское ПО, идущее в комплекте со стендом, не соответствовало нужным требованиям: отсутствовала возможность анализа «сырых» показателей, отсутствовала возможность измерения рекуперативных свойств и температуры амортизаторов. Кроме того, стенд не позволял более гибко настраивать параметры диагностики, таких, как скорость вращения мотора с маховиком и длительность испытания.

Первоначально поставленная задача проекта предполагала рефакторинг данного заводского ПО с целью добавления требуемого заказчиком функционала. Однако впоследствии было принято решение о разработке с нуля новой микроконтроллерной системы управления динамическими испытаниями автомобильных амортизаторов и нового ПО по следующим причинам:

- Исходное заводское ПО не обладало открытым исходным кодом и никак не позволяло наиболее гибко взаимодействовать с собой;

- Любые изменения исходных параметров ПО могло повлечь за собой несовместимость с уже установленными компонентами аппаратной части системы;
- Заводская аппаратная часть системы, а именно микроконтроллерный блок, также обладал недостатками: один из них заключается в недостаточной точности отображения данных при диагностике автомобильных амортизаторов.



Рисунок 4 - Стенд диагностики амортизаторов SS20 S400 AM

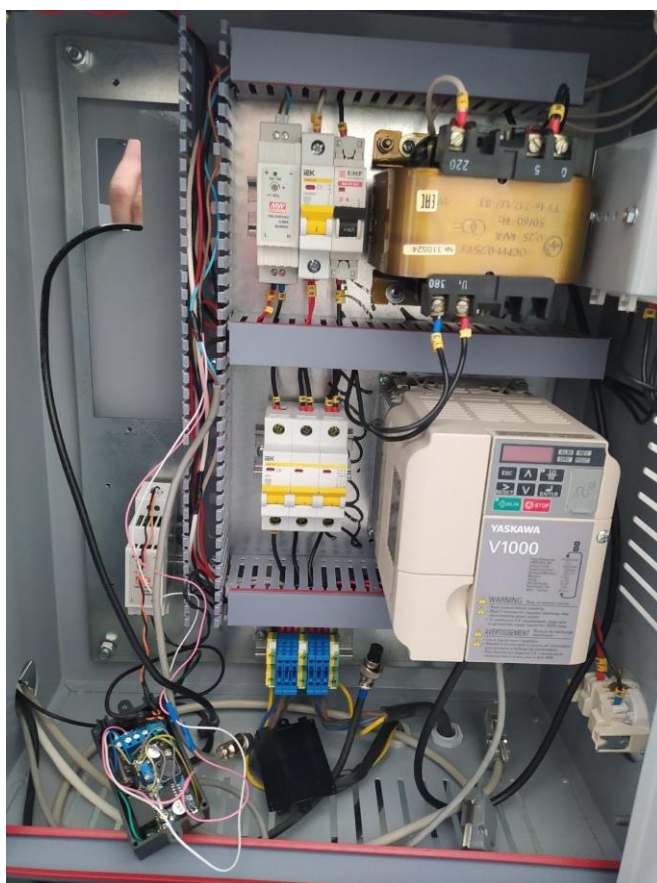


Рисунок 5 – Система питания стенда для испытания автомобильных амортизаторов

Помимо всего, для облегчения разработки проекта было принято решение разбить проект на три взаимосвязанных и взаимозависимых подпроекта: моделирование и испытания, аппаратная часть и программная часть.

1.2 Постановка требования при выполнении задачи

Целью текущей бакалаврской работы является разработка системы управления динамическими испытаниями автомобильных амортизаторов на микроконтроллерной основе. Разработанная система должна обеспечивать мониторинг испытания автомобильных амортизаторов и управление им.

Система должна удовлетворять следующим требованиям:

- Состав системы должен включать в себя микроконтроллер, обрабатывающий данные с датчиков, персональный компьютер
- При передаче данных на персональный компьютер с микроконтроллера должна сохраняться их целостность.
- Должно обеспечиваться устойчивое соединение датчиков и исполнительных устройств.
- Система должна иметь более низкие показатели энергозатрат по сравнению с аналогами системы.
- Стоимость системы должна быть ниже, чем стоимость систем аналогов.
- Точность данных должна варьироваться в пределах допустимых значений погрешности.
- Вывод данных и управление исполнительными устройствами должен осуществляться на простой в использовании пользовательский интерфейс.
- Система должна выполнять следующие задачи:
- Обеспечить сбор и обработку в реальном времени для представления их в удобном для пользователя виде.
- Обеспечить управление работой испытательной установки.

1.3 Цели создания системы

Целями создания данной системы являются:

- Автоматизация процесса диагностики автомобильного амортизатора;
- Исправление существующих недоработок стендовой установки и её системы диагностики;
- Расширение функционала стендовой установки на основе заводских параметров.

1.4 Функциональные возможности

- Отслеживание рекуперлируемой энергии;
- Отслеживание температурных свойств;
- Наличие нескольких тестовых режимов работы для проверки агрегата;
- Сопоставления данных с математической моделью и представление их в различном виде (числа, графики);
- Компоновка собираемых данных для вывода на печать.

1.5 Анализ существующих решений

1.5.1 Стенд для диагностики амортизаторов Авто Оснастка «ПС-63»

Описание: стенд (пневматический) для диагностики стоек и амортизаторов «ПС-63» предназначен для проверки всех видов амортизаторов, определяет необходимость их ремонта и работоспособность после проведения ремонтных работ. Быстро и эффективно производит диагностику амортизатора на наличие неисправности, недостаточного количества масла и газового подпора.

Стоимость 39000р.

Таблица 1 – Основные характеристики стенда диагностики амортизаторов ПС-63

Наименование параметра	Значение
Максимальное контролируемое усилие, кг/см ²	2,5
Плавная регулировка скоростей	есть
Ход штока амортизатора при диагностике, мм	80

Максимальная длина корпуса испытываемого амортизатора, мм	700
Максимальный размер корпуса испытываемого амортизатора по ширине, мм	260
Точность измерения усилий, не более, кг	0,5
Количество испытываемых амортизаторов, шт	1
Габаритные размеры В*Ш*Г, мм	1260*360*430
Масса, кг	31



Рисунок 6 – Стенд Авто Оснастка «ПС-63»

1.5.2 Стенд для диагностики амортизаторов MSG MS1000+

Особенности стенда MS1000+:

- диагностика амортизаторов различных типов конструкций;

- проверка агрегата под нагрузкой на различных скоростях с имитацией работы на движущемся автомобиле;
- сравнение результатов тестирования;
- построение динамограммы поверх уже имеющейся;
- сохранение или распечатка результатов диагностики;
- простое программное обеспечение.



1 – рабочая зона; 2 – механический отсек; 3 – блок заправки амортизаторов азотом; 4 – дисплей; 5 – пульт управления; 6 – электрический отсек; 7 – педальный узел управления пневматическими зажимами

Рисунок 7 – Стенд MS1000+ (вид спереди)

Таблица 2 – Основные характеристики стенда диагностики амортизаторов MS1000+

Наименование параметра	Значение
Напряжение, В	380±10%

Мощность, кВт	3.7
Тип питающей сети	Трехфазная (3L+N+PE)
Габаритные размеры В*Ш*Г, мм	2460*1042*482
Вес, кг	350
Управление зажимами станда	Пневматическое
Рабочее давление пневматической системы станда, бар	6
Ход штока амортизаторов	Регулируемый
Установка хода штока амортизатора	Ручная
Диапазон установки хода штока амортизатора, мм	0-140
Регулировка высоты установки амортизатора	Ручная
Максимальная нагрузка отбой/сжатие, кг	1000
Режимы работы	Ручной или автоматический
Количество режимов проверки	1-6
Типы режимов проверки (по умолчанию)	Скорость 1–30 оборотов Скорость 2–60 оборотов Скорость 3–90 оборотов Скорость 4–120 оборотов Скорость 5–150 оборотов Скорость 6–180 оборотов
Выводимые параметры	– Отбой/сжатие – Температура амортизатора – Ход амортизатора

Вывод данных на печать	Есть
Подключение к интернету	Wi-Fi (802.11 a/b/g/ac)

Диагностический стенд MSG MS1000+ предназначен для тестирования амортизаторов посредством измерения зависимости прикладываемого усилия к исследуемому агрегату от расположения штока по отношению к корпусу амортизатора.

Применение стенда MS1000+ гарантирует полную диагностику амортизаторов, согласно которой возможно установить их работоспособность, а также сформировать четкий план восстановительных работ.

Процесс диагностики амортизатора может производиться автоматически или в ручном режиме с различной скоростью: 60, 120, 180 оборотов в минуту. Безопасность крепежа амортизатора на стенде обеспечивается с помощью пневматических зажимов.

Диагностика амортизатора осуществляется путем снятия динамограммы (зависимость прикладываемой силы от положения штока амортизатора). Максимально возможная нагрузка – 1000 кг.

В стенде предусмотрено подключение к Интернету через Wi-Fi. Обновление ПО и техническая поддержка возможны при наличии Интернет-соединения.

Изготовитель может без предварительного уведомления пользователей изменить конструкцию и программное обеспечение.

Гарантийные обязательства на стенд диагностики отменяются, если использовалось компьютерное оборудование или программы, не предназначенные для работы с данным стендом.

Для проведения диагностики необходимо использовать персональный компьютер под управлением операционной системы Windows вместе с закрытым программным обеспечением производителя.

Высокая стоимость 20000\$

1.5.3 Стенд для диагностики амортизаторов CENTURION S1000AMR



Рисунок 8 – Стенд CENTURION S1000AMR

Описание стенда и его работы:

На стенде диагностики во время проведения испытания амортизатора на ходе сжатия и отбоя производится замер усилия сопротивления, сопровождающийся возможностью построения скоростной характеристики амортизатора и построения рабочей диаграммы.

Программное обеспечение стенда диагностики позволяет адаптировать испытания амортизатора под определенные условия, осуществлять выбор скорости прокачки, количество циклов работы, имеется возможность изменять параметры и типы амортизаторов, предназначенных для проведения испытаний. Доступ к базе данных программного модуля осуществляется как локально, так и по сети.

Стенд контроля и диагностики амортизаторов позволяет определять усилия ходов сжатия и отбоя амортизаторов, строить диаграмму Монро и скоростную характеристику амортизатора, определять давление газового подпора, выдавать результаты замеров в числовом, графическом виде и в виде заключения о соответствии либо несоответствии параметров. Графическое представление результатов измерений можно масштабировать, чтобы проанализировать работу разных узлов амортизатора.

Таблица 3 – Основные характеристики стенда диагностики амортизаторов S1000AMR

Параметр	Значение
Максимальное контролируемое усилие, кг	1000
Точность измерения усилий, не более, кг	0,1
Скорость испытания, м/с	0,05–0,65
Максимальная длина корпуса испытываемого амортизатора, мм	500
Максимальный размер корпуса испытываемого амортизатора по ширине, мм	300
Напряжение питания, В	380
Потребляемая мощность, не менее, кВт	3,0
Габаритные размеры, В x Ш x Г, мм	2025 x 815 x 1085

Стоимость 600000р.

1.6 Вывод

В данной главе был проведен анализ предложенного задания и поставленных требований, были поставлены цели и задачи, которые должны быть выполнены при реализации данной выпускной квалификационной работы. Обзор аналогов позволил получить представление какой должна быть система и какой функционал она должна реализовывать.

Наша система будет включать только необходимый функционал для испытаний, стоимость системы будет значительно ниже аналогов, так как будут использоваться распространенные микроконтроллерные решения и датчики. Использование открытых программных библиотек для работы датчиков позволит скорректировать программный код под конкретные условия испытаний.

2 Разработка прототипа модуля сбора данных системы динамических испытаний

2.1 Принятие решения на основе результатов моделирования

В соответствии с комплексным характером выполнения ВКР была предоставлена модель конечной микроконтроллерной системы, созданная в ПО Proteus. Она изображена на рисунке 9.

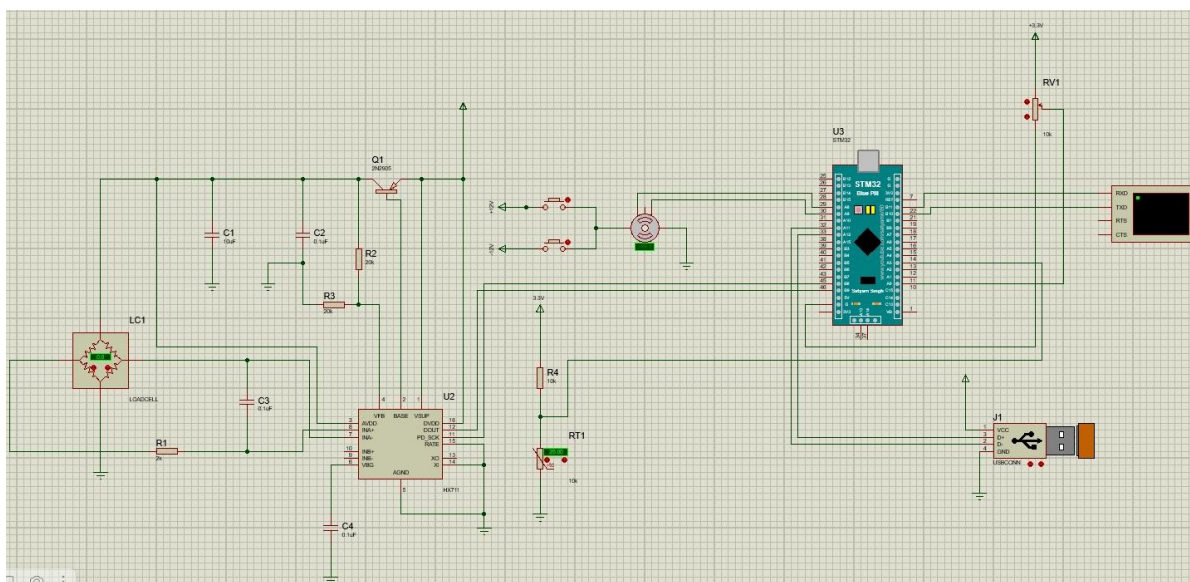


Рисунок 9 - Модель функционального узла на микроконтроллерной основе

Она включает следующие ключевые элементы:

- Микроконтроллер семейства STM32
- Тензодатчик, подключенный посредством внешнего АЦП NH711
- Угловой энкодер
- Термистор в качестве термометра

Рекуперативные свойства (ток, напряжение) экспериментального амортизатора измеряются с помощью встроенного АЦП микроконтроллера и не требуют введения дополнительных элементов, однако для имитации изменения выдаваемой амортизатором энергии на схему помещен потенциометр.

Данный концепт принят к сведению и взят за основу в разработке прототипа модуля сбора данных. В следующем пункте каждый узел рассмотрен более подробно, внесены корректировки с учетом реальных элементов.

2.2 Обоснование выбора компонентов для прототипа модуля сбора данных

2.2.1 Выбор микроконтроллера.

Ядром прототипа модуля сбора данных является микроконтроллер STM32F103C6T6 производства компании STMicroelectronics [1]. Имея схожую с Arduino Nano на базе ATmega 328 цену, он имеет ряд преимуществ, важных для данного проекта: 32-бит микропроцессорное ядро ARM Cortex M3 с частотой 72 МГц (против 16 МГц), 10 КБ ОЗУ (против 2 КБ), 12-бит АЦП (против 10-бит АЦП), аппаратную поддержку USB. 3.3 В логика микроконтроллеров STM32 также не является проблемой: на отладочных платах чаще всего имеется вход 5 В, а основная доля портов ввода-вывода толерантна к 5 В, т.е. не повреждается таким напряжением. Микроконтроллер на отладочной плате изображен на рисунке 10.

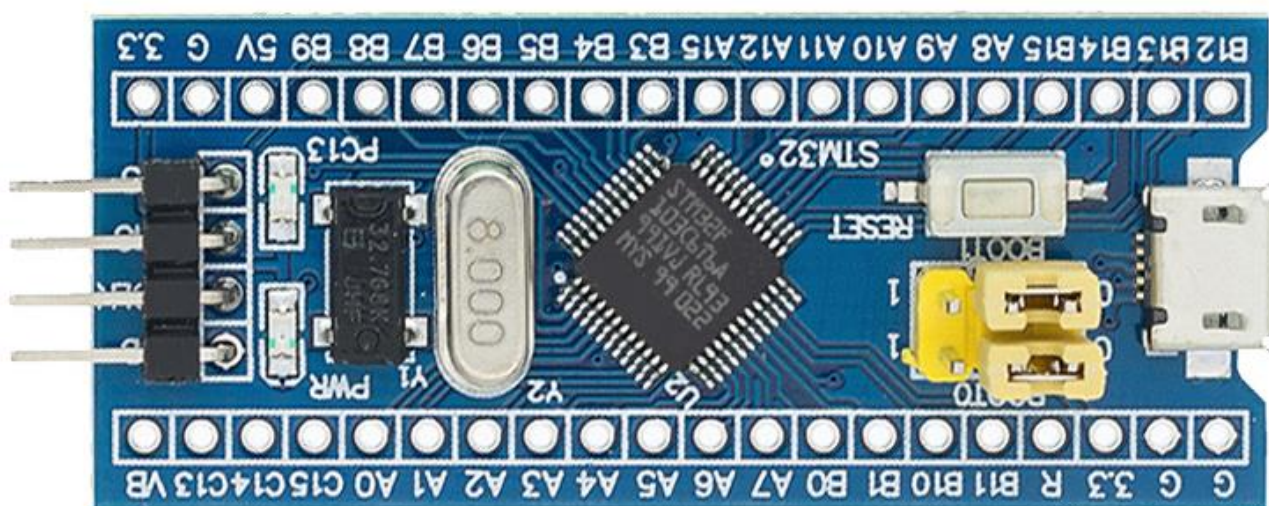


Рисунок 10 - Микроконтроллер STM32F103C6T6 на отладочной плате

Важным фактором при выборе стало и наличие т.н. режима энкодера (Encoder Mode), особого режима таймера, позволяющего вести счет импульсов инкрементного энкодера без использования прерываний и оказания нагрузки на микропроцессор. Таймер в таком режиме автоматически увеличивает и уменьшает значение собственного регистра в зависимости от числа поступивших импульсов и направления вращения вала энкодера, а разработчику достаточно получать значение этого регистра.

Технические параметры:

- Ядро: ARM Cortex-M3;
- Максимальная тактовая частота ядра, МГц: 72;
- Объем оперативной памяти, КБ: 10;
- Объем флэш-памяти, КБ: 32;
- Напряжение питания, В: 1.8...3.6;
- Порты ввода-вывода: 37 шт.;
- Аналого-цифровые преобразователи (АЦП): 2 x 12 бит;
- Универсальные таймеры: 3 x 16 бит;
- Интерфейсы: I²C, USART, SPI, CAN, USB.

2.2.2 Выбор датчика динамических характеристик.

Заказчиком в структуре системы предоставлен инкрементный угловой энкодер ЛИР-158А. Энкодеры подобного типа формируют дифференциальные пары прямоугольных сигналов с напряжением 5 В (TTL) (рис. 11).

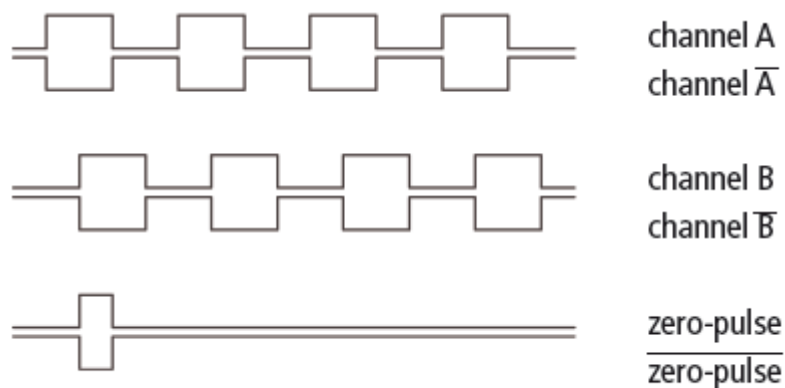


Рисунок 11 - Выходные сигналы энкодера при вращении

Два канала предназначены для счёта импульсов и определения направления вращения, третий дает информацию о прохождении полного оборота и в проекте не задействуется. Возможно подключение без

использования инверсных сигналов, то есть только по двум проводам, но для подавления шумов и получения наиболее достоверной информации требуется дифференциальный приемник. Производитель углового энкодера рекомендует применять микросхемы AM26LS32 или AM26C32 [2]. Отечественный аналог этих схем - КР559ИП11. Поскольку на рынке вышеупомянутые изделия встречаются редко, был использован аналог - AM26LS32ACN (рис. 12) производства компании Texas Instruments. В фирменной документации заявлено, что данный приёмник имеет улучшенную чувствительность [3].



Рисунок 12 - Счетверенный дифференциальный линейный приемник
AM26LS32ACN

Технические параметры:

- Тип: RS-422, RS-485 приемник;
- Количество драйверов/приемников: 0/4;
- Режим работы: приемник;
- Гистерезис приемника, мВ: 50;
- Напряжение питания, В: 4.75...5.25;
- Рабочая температура, °С: 0...+70;

- Корпус: DIP-16.

2.2.3 Выбор датчика деформации.

Тензодатчик Тензо-М С2-С3 предоставлен заказчиком в структуре системы. Предоставленный датчик относится к классу тензорезистивных датчиков и конструктивно оформлен в виде тонкопленочных резисторов, изменяющих свое сопротивление при деформации. Для фиксации этих изменений и преобразования их в числовые значения необходимо задействовать аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

2.2.4 Выбор аналого-цифрового преобразователя.

В качестве АЦП для тензодатчика был выбран модуль на основе микросхемы NX711 производства Avia Semiconductors, т.к. подобные модули удобны в подключении и эксплуатации, доступны, хорошо изучены и широко распространены. Существует несколько схожих модулей, на рисунке 13 изображен непосредственно задействованный в проекте.



Рисунок 13 - Модуль АЦП HX711 для тензорезистивного датчика

HX711 – 24-разрядный АЦП со встроенным операционным усилителем. Мультиплексор позволяет выбрать один из двух доступных входных каналов. Канал А имеет программируемый коэффициент усиления, который может составлять 64 или 128. Канал В работает с постоянным коэффициентом усиления 32 [4].

HX711 имеет встроенный стабилизатор напряжения, что позволяет работать без внешнего стабилизатора. Так же, на вход синхронизации может подаваться любой импульсный сигнал от внешнего источника, однако АЦП позволяет работать от встроенного генератора.

Характеристики модуля:

- Разрядность АЦП, бит: 24;
- Частота измерений, Гц: 10/80;
- Напряжение питания, В: 5;
- Потребляемый ток, мА: до 10;
- Размеры, мм: 34 x 21.

Коэффициент усиления:

- Вход А: 64 или 128;
- Вход В: 32;

2.2.5 Выбор температурного датчика.

В качестве температурного датчика был выбран цифровой термометр DS18B20, производимый Maxim Integrated [5]. Будучи цифровым, он нетребователен к качеству «обвязки», может работать на повышенных расстояниях и, в отличие от термистора и термопары, не зависит от достоверности показаний АЦП, как и не требует существенных вычислений при обработке результата. Также датчик откалиброван при производстве, что ускоряет развертывание системы с его применением. Немаловажно и использование протокола 1-Wire, который задействует только один провод для передачи данных и позволяет подключить множество устройств на одну шину, что обеспечивает расширяемость без серьезных дополнительных затрат. Доступен также режим т.н. «паразитного питания», позволяющий получать с провода передачи данных и питание, но в данном проекте он не задействован. На рисунке 14 датчик показан в выбранном исполнении: в металлической гильзе и с водонепроницаемой изоляцией.



Рисунок 14 - Цифровой термометр DS18B20 в водонепроницаемом исполнении

Характеристики DS18B20:

- Напряжение питания, В: 3...5.5;
- Потребляемый ток, мА: 1;
- Диапазон температур, °С: -55...+125;
- Точность, °С: 0.5;
- Разрядность, бит: 9/12;
- Время преобразования, мс: <750.

2.2.6 Обоснование выбора модуля питания.

Оригинальный модуль сбора данных требует источника постоянного тока напряжением 12 В. Во избежание внесения изменений в схему питания испытательного стенда и сохранения совместимости с оригинальным модулем сбора данных, было принято решение о введении понижающего преобразователя, который снижал бы напряжение с 12 В до приемлемых 5 В. Для этой задачи был выбран модуль на основе линейного DC-DC преобразователя LM317. Линейные преобразователи менее энергоэффективны относительно

импульсных, но создают меньше шумов, что, в свою очередь, позволяет получать более достоверную информацию от модуля сбора данных. Фотография модуля показана на рисунке 15.



Рисунок 15 - Модуль понижающего DC-DC преобразователя на базе LM317

Характеристики модуля:

- Масса, г: 12;
- Размеры, мм: 36 x 17 x 23;
- Напряжение на входе, В: 4,2...40;
- Напряжение на выходе, В: 1,2...37;
- Максимальная входная сила тока, А: 2;
- Максимальная выходная сила тока, А: 1,5...2.2;

- Эффективность (КПД), %: ~50;
- Рабочая температура, °C: 0...125;

2.3 Разработка схемы электрической принципиальной прототипа модуля сбора данных

Сначала были изучены уже имевшиеся датчики, то есть угловой энкодер и тензодатчик, их подключение, а также разъем питания оригинального модуля сбора данных. Полярность двухконтактного разъема питания была определена цифровым мультиметром при включенной установке. Назначение контактов тензодатчика было определено вскрытием разъема и сверкой с цветовой маркировкой проводов, которая приводится производителем (рис. 16). Подключение термометра и электрических выводов экспериментального амортизатора также не вызвало проблем.

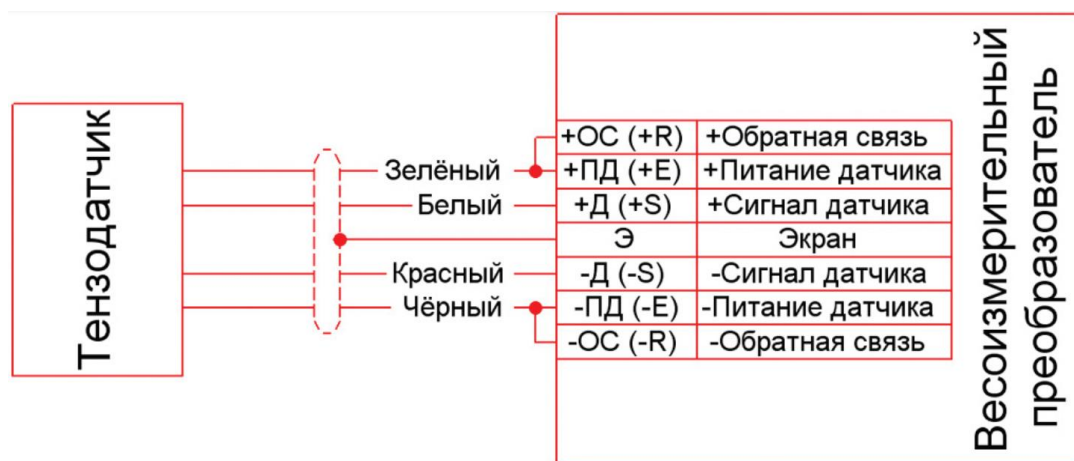


Рисунок 17 - Схема подключения тензодатчика

Определение назначения контактов разъема энкодера же оказалось менее тривиальной задачей. Изготовитель установки задействовал разъем DB9, приводимый производителем энкодера в одном из вариантов подключения [6], но фактически подключил его иным образом, чем ввел в заблуждение и замедлил

разработку микроконтроллерного блока, описанного в данной работе. Очевидно, вариант подключения, предложенный производителем для данного разъема, не давал адекватных результатов. За неимением осциллографа и склонности энкодеров к генерации существенных шумов, было предпринято несколько попыток сопряжения энкодера и микроконтроллера с помощью нескольких вариантов схемных решений, призванных так или иначе приблизить результат к эталонному. Далее, на рисунках ниже, проведен эксперимент с каждой из этих схем, все из которых в конечном итоге оказались работоспособными.

Первый эксперимент был осуществлен с возможностью использования компараторов для подавления шумов. В качестве компараторов были апробированы два модуля на основе MAX485 [7], преобразователя протоколов RS-422 и RS-485, которые также задействуют дифференциальные пары прямоугольных сигналов 5 В. Фотография модуля и его электрическая схема показаны на рисунке 17. Прямой и инверсный сигналы одного из каналов подаются на входы А и В соответственно, а отфильтрованный сигнал получается на выходе RO.

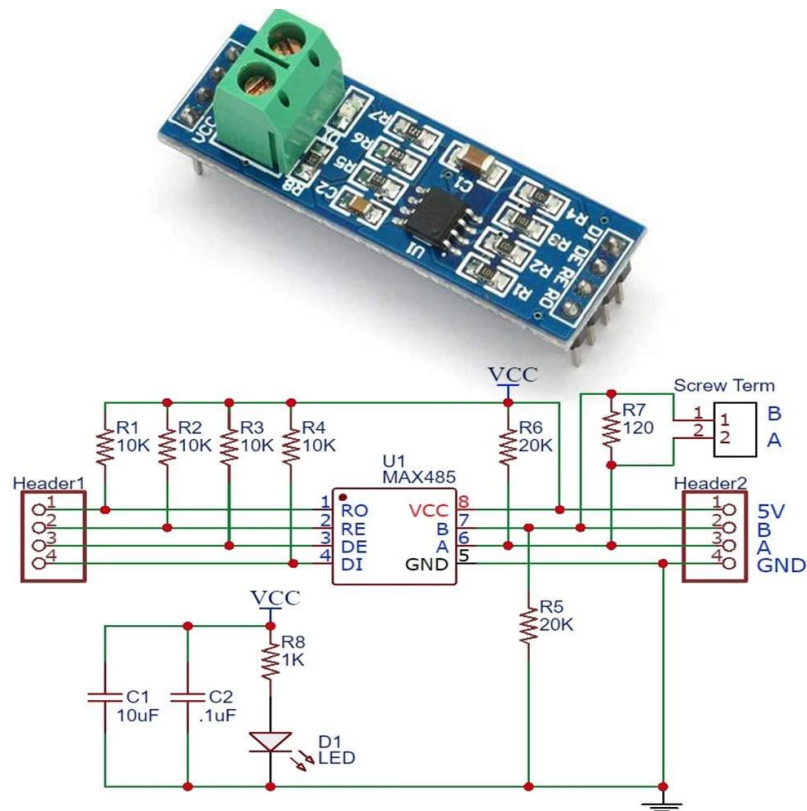


Рисунок 18 - Модуль на основе MAX485

Затем с той же идеей была испытана микросхема LM393 [8], популярный двойной компаратор в корпусе DIP-8. Назначение контактов и упрощенное устройство изображены на рисунке 19.

PIN CONNECTIONS

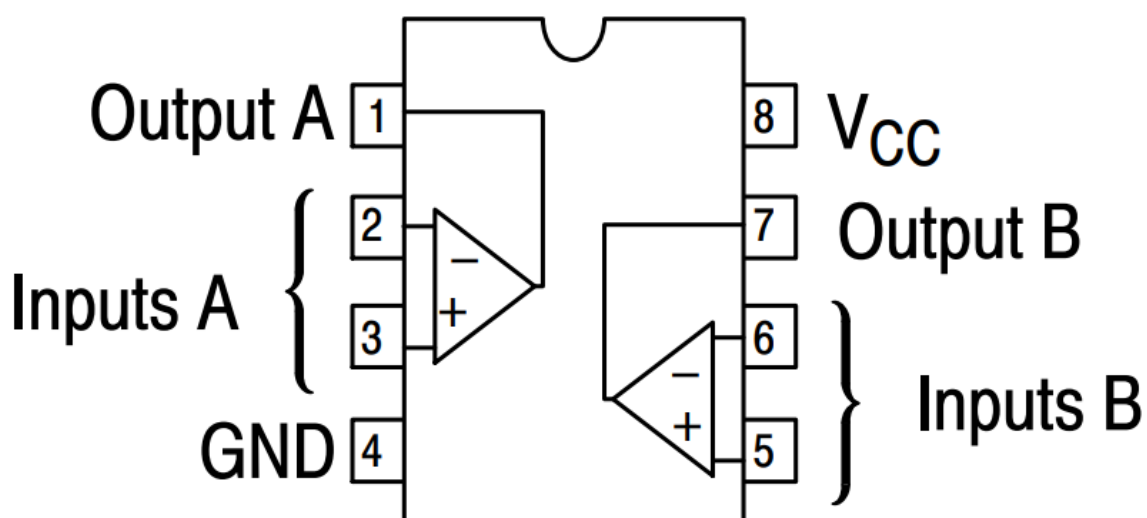


Рисунок 19 - Микросхема LM393

Следом был опробован другой подход к работе с энкодером [9], использующий триггер Шмидта и D-триггер (рис. 20). Формирует такая схема не два отфильтрованных прямоугольных сигнала, а один прямоугольный сигнал для счета импульсов на одном выводе (STEP) и логический уровень для определения направления вращения на другом выводе (DIR). Инверсные входные сигналы в схеме не задействованы, упор сделан на прямые сигналы, отфильтрованные триггером Шмидта.

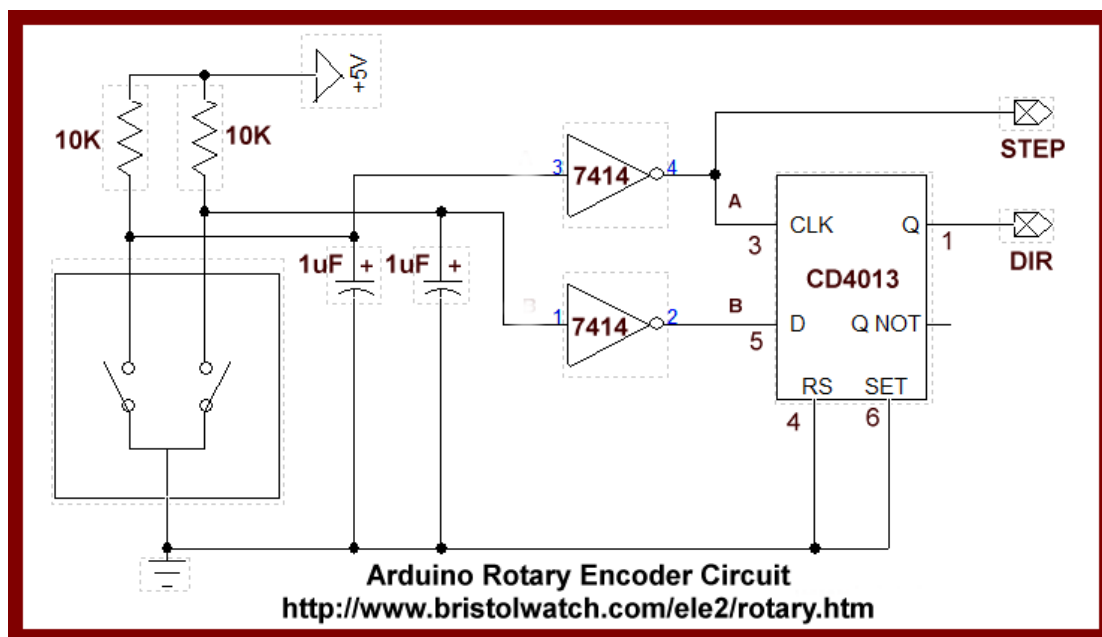


Рисунок 20 - Подключение энкодера через триггер Шмидта и D-триггер

Позже был обнаружен официальный каталог производителя энкодера, в котором приводятся рекомендуемые микросхемы для подключения, обновленная версия одной из которых и пошла в структуру прототипа модуля сбора данных. Он не был необходим, но был приобретен приблизительно в одно время с выявлением правильного назначения контактов энкодера по цветовой маркировке проводов [6], а посему вошел в конечное изделие. Подробнее микросхема уже описана в пункте 2.2.2.

Схема электрическая принципиальная прототипа модуля сбора данных приведена в приложении А.

3 Агрегатирование прототипа модуля сбора данных

3.1 Реализация физического уровня прототипа модуля сбора данных

Конструктивное исполнение прототипа выполнено в корпусе DVD-привода настольного компьютера. В структуру прототипа модуля входят модуль понижающего преобразователя напряжения и микроконтроллерный модуль,

выполненный на печатной макетной плате, закрепленные на латунных стойках. Для обеспечения обслуживаемости, ремонтпригодности, защиты от статического электричества и перегрева при пайке микроконтроллер, АЦП для тензодатчика и приемник энкодера вынесены на штырьевые гнезда с шагом 2.54 мм и панель DIP-16 соответственно. Прототип модуля данных, снятый сверху без крышки, изображен на рисунке 21.

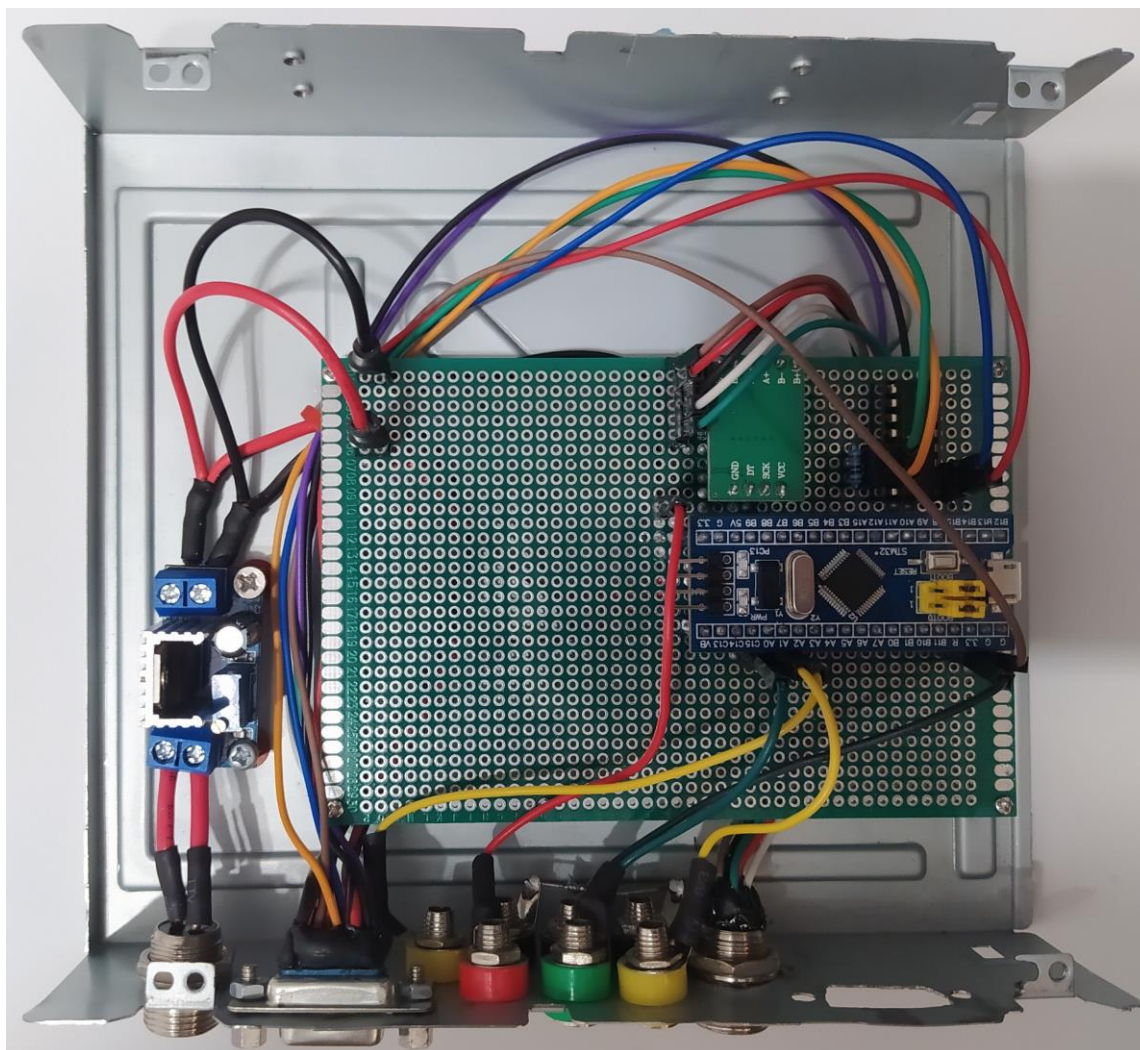


Рисунок 21 - Вскрытый прототип модуля сбора данных, вид сверху

Микроконтроллер расположен таким образом, чтобы его USB-порт находился на краю корпуса и обеспечивал удобный доступ. На рисунке 22 видны этот порт и крепления микроконтроллерного модуля.

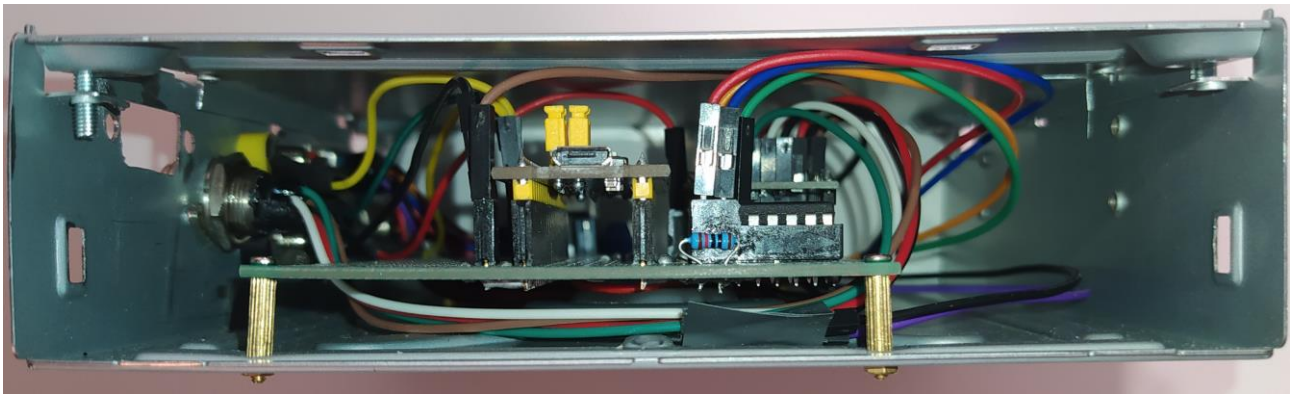


Рисунок 22 - Прототип модуля сбора данных изнутри, вид с торца

Разъемы питания и датчиков помещены на стенку корпуса, которая продемонстрирована на рисунке 23. Слева направо расположены разъемы: питания, углового энкодера, термометра (желтый, красный, левый черный), для замеров напряжения (зеленый, черный), для замеров тока (желтый, черный), тензодатчика.

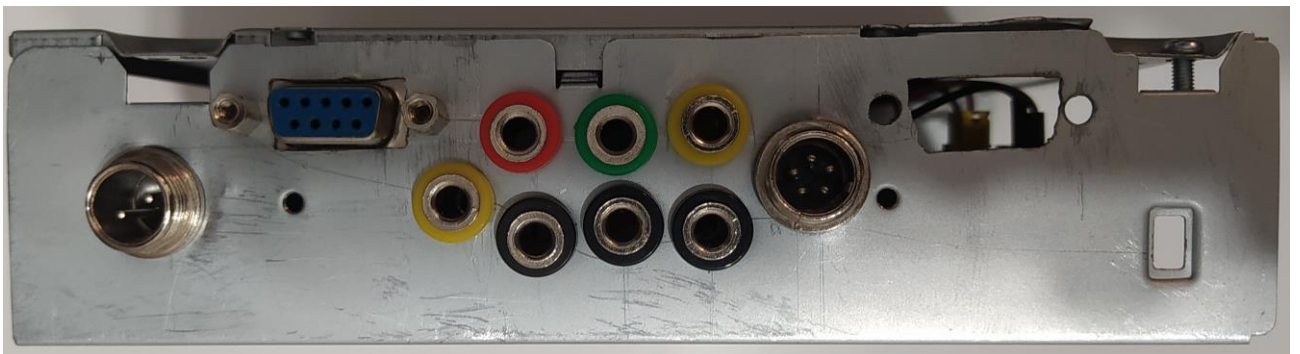


Рисунок 23 - Стенка прототипа модуля сбора данных с разъемами

3.2 Разработка ПО для прототипа модуля сбора данных

ПО для прототипа создано в интегрированной среде разработки STM32CubeIDE [10] компании STMicroelectronics, то есть в официальной среде для выбранного микроконтроллера. Среда предлагает генерацию проекта на основе выбранной микросхемы и заданных параметров выводов и внутренних блоков, редактор кода, компилятор и отладчик. Код написан на языке Си с

использованием официальной библиотеки HAL (Hardware Abstraction Layer – слой аппаратных абстракций), значительно упрощающей разработку. Такой выбор средств разработки обусловлен наибольшим объемом материалов от производителя микроконтроллера и сообщества, а также рекомендуется непосредственно производителем.

Код для работы со встроенным АЦП и таймером написан с опорой на документацию [11] производителя выбранного микроконтроллера. Код для работы с АЦП HX711 позаимствован на веб-сайте «ПАЯЛЬНИК» [12], код для работы с датчиком температуры – на веб-сайте «ControllersTech» [13].

Прошивка производится посредством ПО STM32CubeProg [14] и конвертера USB-UART на основе микросхемы CH340G. Такой конвертер изображен на рисунке 24.



Рисунок 24 - Конвертер USB-UART

Прототип модуля сбора данных, опрашивает подключенные датчики, объединяет результаты в строку и отправляет их на интерфейс USB; управление

модулем не предусмотрено. На рисунке 25 показан главный цикл «прошивки» прототипа модуля сбора данных.

```
while (1)
{
    Presence = DS18B20_Start ();
    HAL_Delay (1);
    DS18B20_Write (0xCC);
    DS18B20_Write (0x44);

    Presence = DS18B20_Start ();
    HAL_Delay(1);
    DS18B20_Write (0xCC);
    DS18B20_Write (0xBE);

    Temp_byte1 = DS18B20_Read();
    Temp_byte2 = DS18B20_Read();
    TEMP = (Temp_byte2<<8)|Temp_byte1;
    Temperature = TEMP/16;

    tim1_cnt = htim1.Instance->CNT;

    loadcell = GetWeight();

    HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, (uint32_t*)adcResultsDMA, adcChannelCount);
    while (adcConversionComplete == 0){}
    adcConversionComplete = 0;

    sprintf(buffer, "%d %lu %d %d %d\n", tim1_cnt, loadcell, adcResultsDMA[0], adcResultsDMA[1], TEMP);
    CDC_Transmit_FS((uint8_t*) buffer, strlen(buffer));
}
```

Рисунок 25 – Главный цикл «прошивки» прототипа

4 Испытания прототипа модуля сбора данных

Проведенные аппаратно-программные испытания прототипа модуля сбора данных показали полную работоспособность последнего. Значение, получаемое от АЦП тензодатчика, предсказуемо меняется при механическом воздействии на тензодатчик. Фиксируется около 1000 импульсов от инкрементного углового энкодера за оборот вала в соответствии со спецификацией. Температурный датчик выдает достоверные показатели, что было проверено замеры температуры тела человека (36.6 °С) и кипящей воды (100 °С). АЦП микроконтроллера был проверен на измерении напряжения на нескольких источниках питания и дает достоверные показания, соизмеримые с показаниями цифрового мультиметра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы выполнен обзор существующих аналогов систем динамических испытаний автомобильных агрегатов, анализ и обосновано принятое решение. Согласно заданию на ВКР разработана схема электрическая принципиальная прототипа модуля сбора данных.

Были выбраны функциональные узлы прототипа модуля сбора данных, приведены обоснования их использования. Разработана схема электрическая принципиальная прототипа модуля сбора данных, реализовано конструктивное воплощение прототипа, разработано программное обеспечение для прототипа и проведены аппаратно-программные испытания.

Разработанный прототип модуля сбора данных системы управления динамическими испытаниями автомобильных узлов полностью соответствует заданию на выпускную квалификационную работу в форме бакалаврской работы, является доступным для серийного производства. Прототип передан разработчику программного обеспечения разрабатываемой системы динамических испытаний для персонального компьютера.

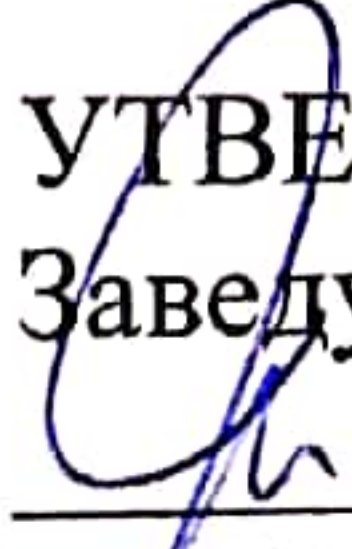
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. STMicroelectronics [Электронный ресурс]: Low-density performance line, ARM-based 32-bit MCU with 16 or 32 KB Flash, USB, CAN, 6 timers, 2 ADCs, 6 com. interfaces. - Режим доступа:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c6.pdf>
2. СКБ ИС [Электронный ресурс]: Инкрементальные преобразователи угловых перемещений. - Режим доступа:
https://skbis.ru/products_pdf_2014/angle_increment.pdf.
3. Texas Instruments [Электронный ресурс]: AM26LS32Ax, AM26LS33Ax Quadruple Differential Line Receivers. - Режим доступа:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am26ls32ac.pdf?ts=1650863482750>.
4. SparkFun Electronics [Электронный ресурс]: 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales. - Режим доступа:
https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf.
5. Maxim Integrated [Электронный ресурс]: DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. - Режим доступа:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
6. СКБ ИС [Электронный ресурс]: Инкрементный угловой энкодер ЛИР-158А. - Режим доступа: <https://skbis.ru/datasheet/lir-158a.pdf>.
7. Maxim Integrated [Электронный ресурс]: Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers. - Режим доступа:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>.
8. Texas Instruments [Электронный ресурс]: LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators. - Режим доступа:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf>.
9. Student-Hobbyist Electronics Projects Tutorials [Электронный ресурс]: Better Arduino Rotary Encoder Circuit. - Режим доступа:
<https://www.bristolwatch.com/ele2/rotary.htm>.

10. STMicroelectronics [Электронный ресурс]: STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32. - Режим доступа: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>.
11. STMicroelectronics [Электронный ресурс]: Description of STM32F1 HAL and low-layer drivers. - Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00154093-description-of-stm32f1-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf.
12. Сайт ПАЯЛЬНИК [Электронный ресурс]: Электронные весы на базе НХ711. - Режим доступа: <https://cxem.net/mc/mc416.php>.
13. ControllersTech [Электронный ресурс]: DS18B20 and STM32. - Режим доступа: <https://controllerstech.com/ds18b20-and-stm32>.
14. STMicroelectronics [Электронный ресурс]: STM32CubeProg - STM32CubeProgrammer software for all STM32. - Режим доступа: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeprog.html>.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Космических и информационных технологий
институт
Вычислительная техника
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 О.В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
« 20 » 06 2022 г.


БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

«Система управления динамическими испытаниями автомобильных узлов.
Аппаратная часть»

Тема

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
код и наименование направления


Руководитель

 22.06.22
подпись, дата

Доц. Кафедры ВТ
Канд. техн. наук
должность, ученая степень

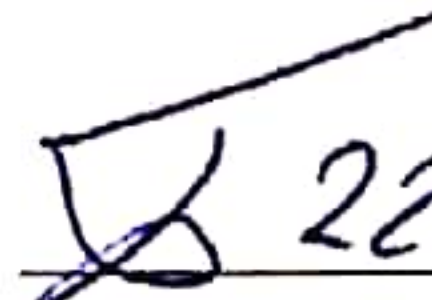
В.Г. Середкин
инициалы, фамилия

Выпускник

 22.06.22
подпись, дата

К.Ю. Рускалев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 22.06.22
подпись, дата

Доц. Кафедры ВТ
Канд. техн. наук
должность, ученая степень

В.Г. Середкин
инициалы, фамилия

Красноярск 2022