

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника
(код и наименование направления подготовки)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Система измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя

Обучающийся

С. К. Савельев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, М. В. Позднов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Система измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя».

Объем 51 страница, 42 рисунка, 2 таблицы, 20 источников, 5 графических представлений на листах формата А2.

Объектом исследования является измерительное устройство, управляемое цифровыми сигналами.

Цель работы: разработка прототипа системы измерения с применением электронного управления непосредственно датчиками и периферийными устройствами.

Задачи работы:

- анализ современных аналогов и методов измерения контактного усилия,
- подбор компонентной базы для измерительной системы,
- конструкторская разработка корпуса и вспомогательных элементов,
- создание электронного блока управления и принципиальной схемы,
- программная реализация алгоритмов измерения на микроконтроллере.

Степень внедрения: подобраны необходимые комплектующие, спроектирован корпус устройства и добавочные элементы, имитирующие поверхность стекла, разработан блок электронного управления и написана программа для микроконтроллера.

Разработана система для измерения распределения контактного усилия по длине щетки стеклоочистителя. Работа включала: обзор существующих подходов, подбор комплектующих, проектирование корпуса и элементов, имитирующих стекло, разработку электронного блока управления и ПО микроконтроллера.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is "A system for measuring the force distribution of a wiper blade."

The volume is 51 pages, 42 figures, 2 tables, 20 sources, 5 graphical representations on A2 sheets.

The object of the study is a measuring device controlled by digital signals.

The purpose of the work: to develop a prototype of a measurement system using electronic control directly by sensors and peripheral devices.

Work objectives:

- analysis of modern analogues and methods of measuring contact force,
- selection of the component base for the measuring system,
- design development of the hull and auxiliary elements,
- creation of an electronic control unit and a schematic diagram,
- software implementation of measurement algorithms on a microcontroller.

The degree of implementation: the necessary components have been selected, the device body and additional elements imitating the glass surface have been designed, an electronic control unit has been developed and a program for the microcontroller has been written.

A system has been developed to measure the distribution of contact force along the length of the wiper blade. The work included: a review of existing approaches, the selection of components, the design of the housing and elements imitating glass, the development of an electronic control unit and microcontroller software.

Содержание

Введение.....	5
1 Постановка задачи	6
1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта	6
1.2 Исследование существующих решений	7
1.3 Анализ исходных данных, определение концепции проекта.....	11
2 Разработка проекта	19
2.1 Проектирование кинематики устройства	28
2.2 Разработка системы управления.....	35
2.3 Проектирование принципиальной схемы.....	38
3 Написание программы для микроконтроллера.....	40
Заключение	48
Список используемой литературы и используемых источников	49

Введение

Совершенствование автомобильных стеклоочистительных систем остается актуальной задачей в свете повышения требований к безопасности, комфорту и долговечности транспортных средств. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность работы стеклоочистителей, является равномерность распределения усилия щетки по поверхности стекла. Неравномерное давление может привести к снижению качества очистки, повышенному износу щетки, возникновению шумов и даже повреждению стекла.

Разработка новых конструкций щеток и контроль их соответствия техническим требованиям требуют точного измерения распределения усилий по рабочей кромке. Однако существующие методы оценки зачастую ограничены точечными измерениями или субъективными испытаниями, что не позволяет получить полную картину контактного взаимодействия щетки со стеклом.

В связи с этим возникает необходимость в создании специализированной системы измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя. Такая система позволит: оптимизировать разработку новых моделей щеток, обеспечить контроль качества, повысить эффективность испытаний, снизить затраты на доводку конструкции.

Таким образом, разработка системы для измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя представляет собой важную практическую задачу, решение которой будет способствовать совершенствованию автомобильных систем очистки стекол. В данной работе рассматриваются методы построения такой системы, включая выбор датчиков, методику измерений и обработку полученных данных.

1 Постановка задачи

1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность данного проекта определяется потребностью автомобильной промышленности в усовершенствовании конструкций щеток стеклоочистителей. Для тестирования и оптимизации рабочих характеристик этих элементов требуется специализированное измерительное оборудование, способное оценивать ключевые параметры, включая равномерность контактного давления вдоль всей рабочей поверхности. Именно эта потребность послужила основанием для разработки уникальной измерительной системы.

Исходное техническое задание не содержало конкретных требований к типоразмерам тестируемых щеток и параметрам сопрягаемых устройств. Это обстоятельство обусловило необходимость создания универсального измерительного комплекса, адаптированного для работы с различными модификациями щеточных элементов.

Цель работы – создание измерительной системы на основе комплекса датчиков для фиксации давления щетки на стеклянную поверхность в различных точках.

Для реализации этой цели решены следующие задачи:

- проведен аналитический обзор существующих технических решений и патентных разработок,
- осуществлен подбор оптимальной элементной базы и измерительных компонентов,
- создана архитектура электронного управляющего модуля,
- разработана принципиальная электрическая схема устройства,
- реализовано программное обеспечение для микропроцессорной системы сбора и обработки данных.

1.2 Исследование существующих решений

Для начала был произведен патентный поиск и было обнаружено несколько решений.

Самым подходящим по конечной цели исследования патентом является SU1654686A1 (Устройство для контроля равномерности усилия прижатия щеток стеклоочистителя), ключевой мыслью в котором является использование датчиков, включенных между щеткой и резинкой (рисунок 1) [10].

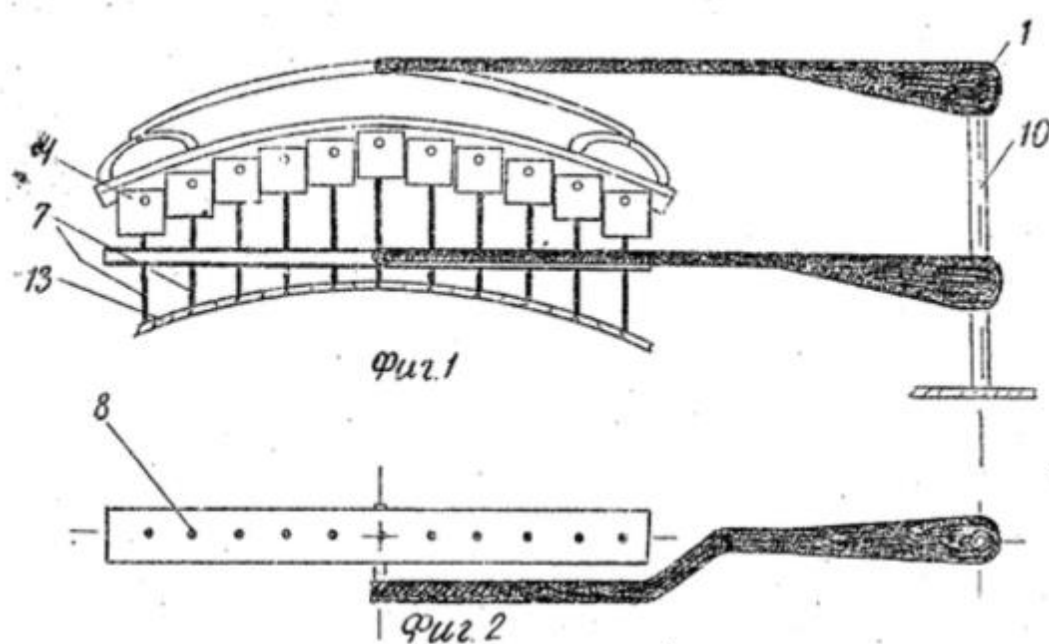


Рисунок 1 – иллюстрация из патента SU 1 654 686 A1

Данный способ вносит большие погрешности в качество измерения свойств самой щетки из-за изменений конструкции щеткодержателя, и больше подходит для исследования влияния новых форм стекла, так же не было найдено в открытом доступе реализации данного патента.

В патенте US8695441B2 «Flexible force or pressure sensor array using semiconductor strain gauge, fabrication method thereof and measurement method thereof» (Гибкий массив датчиков силы или давления с использованием полупроводникового тензометрического датчика, способ его изготовления и

метод измерения) описывается принцип измерения давления в множестве точек, используя гибкую подложку и матрицу из тензодатчиков (рисунок 2).

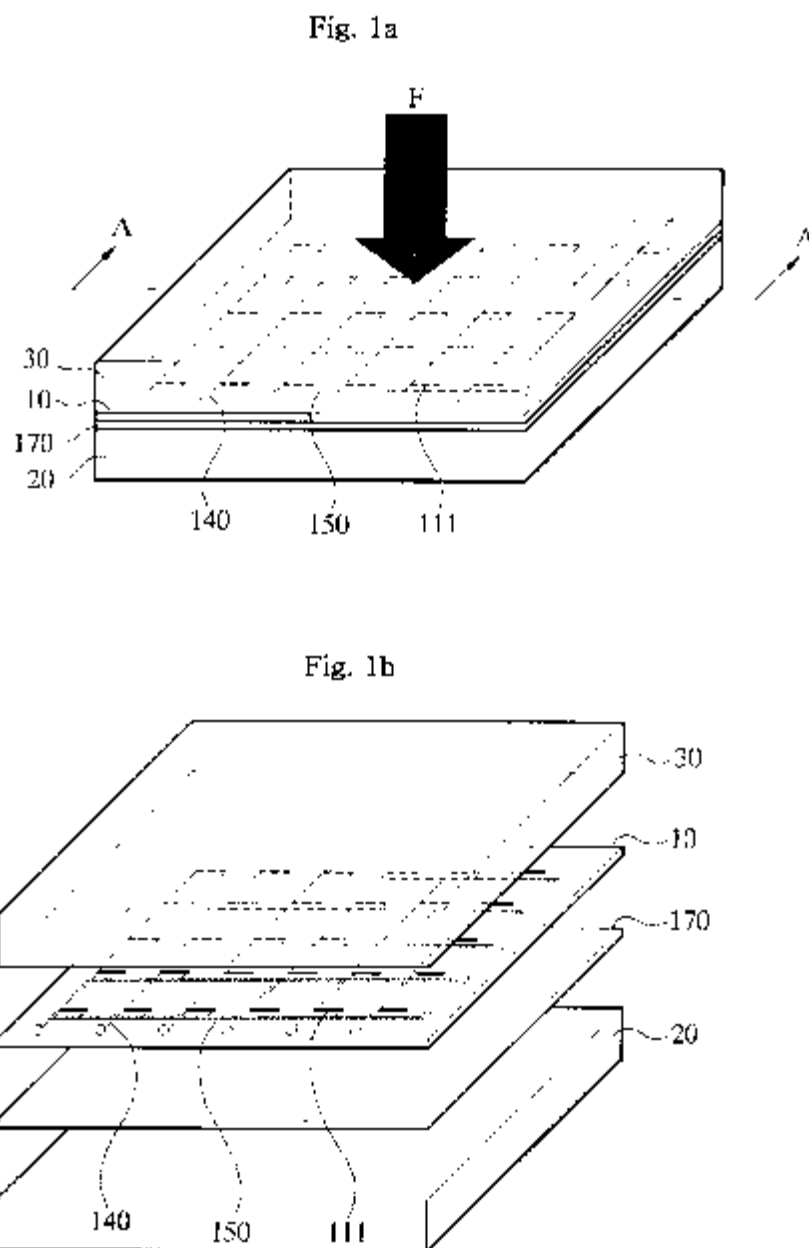


Рисунок 2 – иллюстрация из патента US8695441B2

Похожий принцип использует группа компаний «ТЕХСКАН», используя некую параллельно-полосатую матрицу датчиков (рисунок 3) для анализа равномерности прижатия двери к уплотнителю.

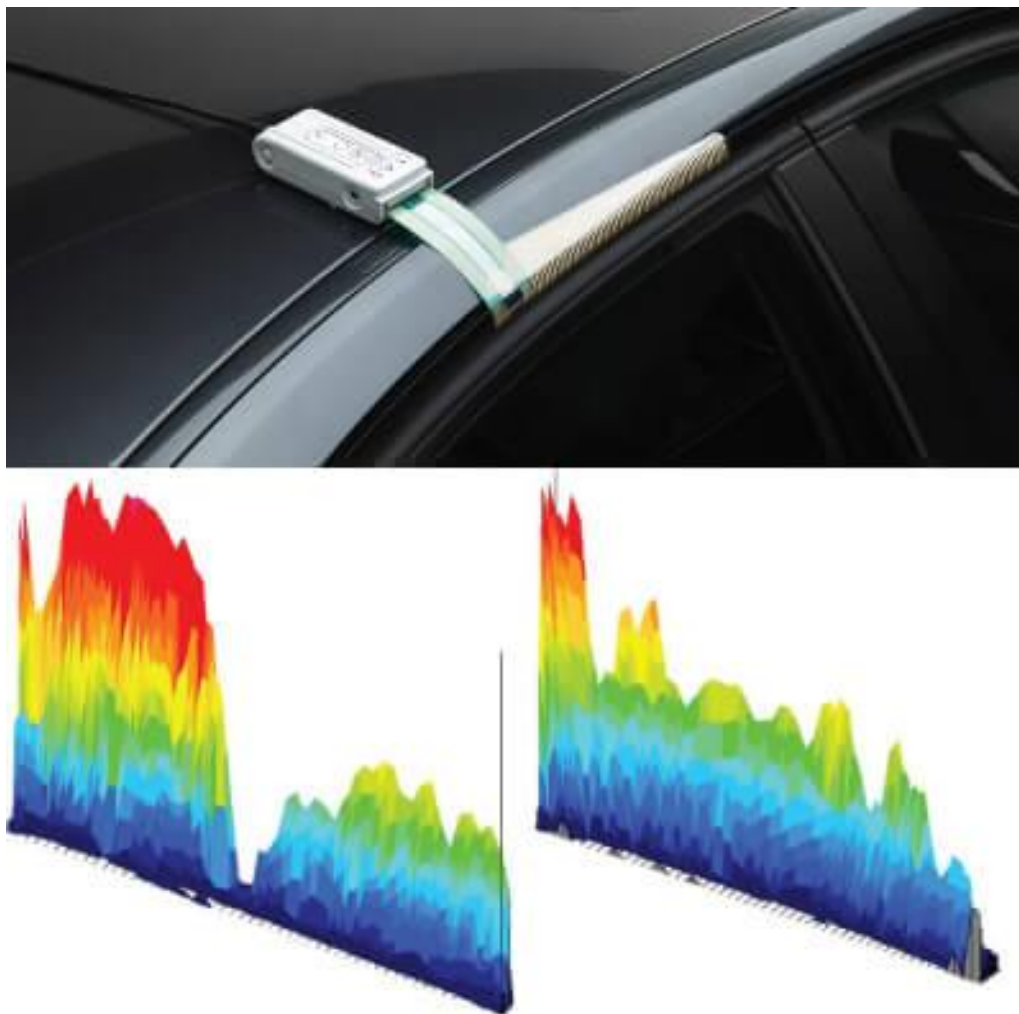


Рисунок 3 – иллюстрация с сайта техскан, применение технологии I-Scan™

Сила прижатия щетки стеклоочистителя равна сумме сил тяжести массы щетки и силы прижатия пружины. Сумма этих сил приложена к линии соприкосновения щетки и стекла равномерно настолько, насколько совершенна конструкция самой щетки. В каждом отдельном участке силу прижатия можно измерить весами. Другим ближайшим аналогом необходимого устройства являются весы — прибор для измерения массы тел по их весу, который приближённо равен силе тяжести, основными датчиками которых являются тензодатчики (пример работы на рисунке 4) [19].

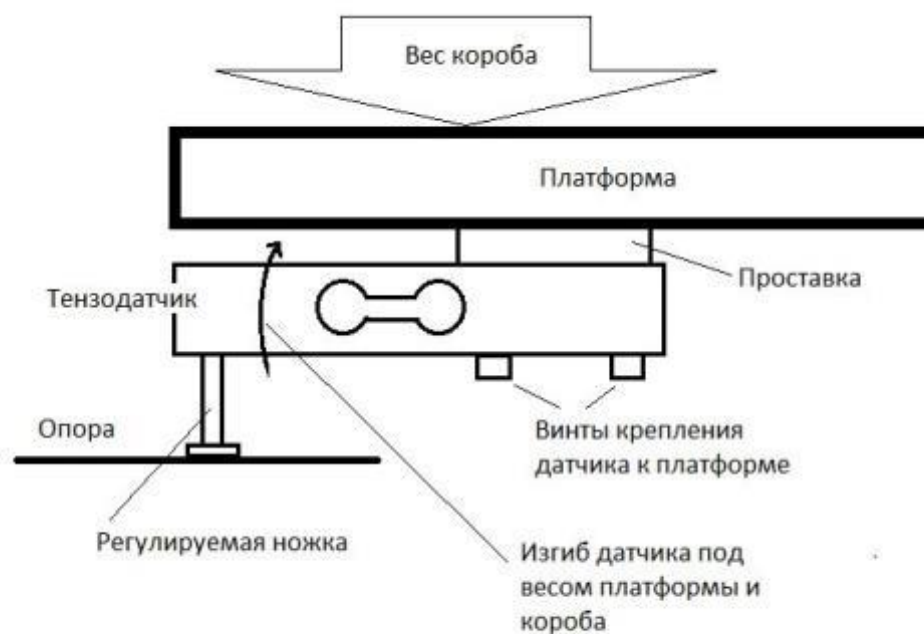


Рисунок 4 – работа тензодатчиков

Патент JP2007240352A [17] описывает полное решение поставленной задачи, в варианте для массового производства – для нормоконтроля изготавливаемых щеток стеклоочистителя через систему тензодатчиков (рисунок 5).

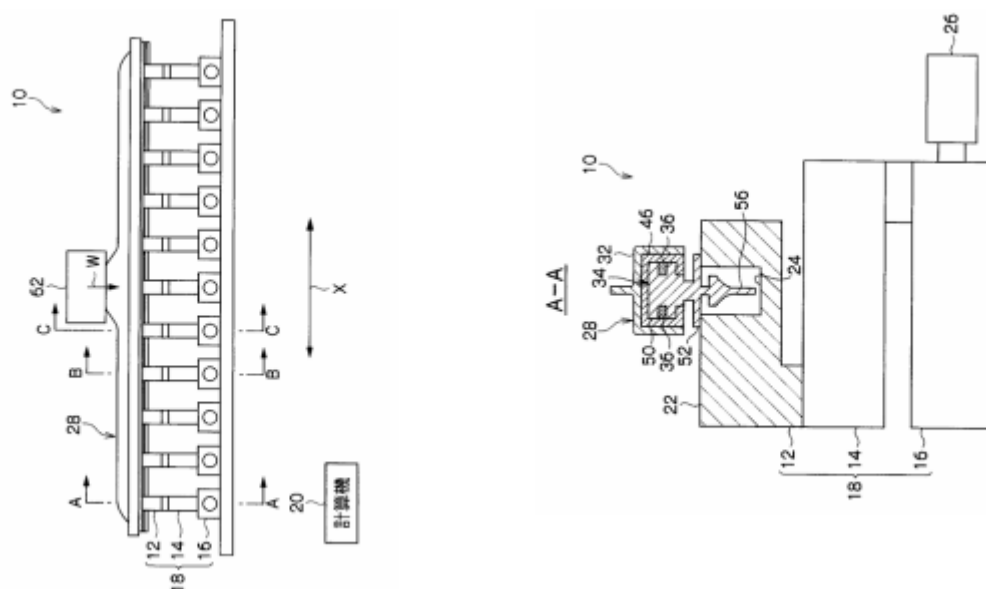


Рисунок 5 – система тензодатчиков по JP2007240352A

В патенте подробно описано решение и возникающие проблемы, например, что лучше всего измерять дефекты распределения не через сам кончик щётки 56, а через боковые выступы 52 – так дефекты будут более явными и не сглажены геометрическими свойствами резиновой части щетки, быстрее проходит нормоконтроль, так как не нужно позиционировать щетку под наклоном к очищаемой поверхности.

Проблемы существующих решений:

- недоступность – из-за отсутствия доступных решений по некоторым патентам, нет возможности их использовать. Так же многие решения недоступны из-за ограничений импорта и санкций;
- высокая стоимость – промышленные решения (например, Tekscan) требуют значительных инвестиций;
- сложность обработки данных – не все системы обеспечивают удобную визуализацию и анализ.

Вывод: Эти ограничения подтверждают необходимость разработки альтернативного решения, которое будет доступным, экономически выгодным и удобным в использовании. В дальнейшей работе предлагается рассмотреть варианты реализации такой системы с учётом выявленных недостатков.

1.3 Анализ исходных данных, определение концепции проекта

В исходных данных отсутствует такой важный параметр, как размерность измеряемых щеток, сил, приложенных к ним и прочих немаловажных параметров.

Для начала определим исследуемый объект: щетка стеклоочистителя.

На рынке в данный момент присутствуют каркасные (рисунок 6), бескаркасные щетки, множество видов, но объединяет их пятно контакта в виде линии или двух параллельных линий, то есть при определении геометрии измерительного устройства можно выполнить измерительные площадки в виде параллельных линий, а не в виде матрицы датчиков.



Рисунок 6 – каркасная щетка

Непосредственно давит на очищаемую поверхность резиновый чистящий элемент (резиновая лента) (рисунок 7), за счет своей формы и материала дополнительно сглаживает распределение усилий прижима. Исходя из ставящихся задач при разработке патента JP2007240352А можно сделать вывод, что для задач определения дефекта самой щетки лучше измерять давление не с конца щетки, а с боковых выступов.



Рисунок 7 – резинка щетки

Размеры щёток можно определить по имеющимся в продаже и коммерческим каталогам, как на рисунке 8.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ			СПЕЦИАЛЬНЫЕ		
				левая	правая
33см 13"	1шт	универсальные	AUDI A6	56см 22"	56см 22"
35см 14"	1шт	универсальные	BMW 3 SERISE	61см 24"	48см 19"
38см 15"	1шт	универсальные	BMW 5 SERISE	61см 24"	59см 23"
41см 16"	1шт	универсальные	FORD FOCUS	65см 26"	43см 17"
43см 17"	1шт	универсальные	OPEL CORSA	65см 26"	45см 18"
45см 18"	1шт	универсальные	OPEL ASTRA	56см 22"	45см 18"
48см 19"	1шт	универсальные	PEUGEOT 307	71см 28"	65см 26"
51см 20"	1шт	универсальные	RENAULT CLIO	61см 24"	41см 16"
53см 21"	1шт	универсальные	VOLKSWAGEN WERK	65см 26"	65см 26"
56см 22"	1шт	универсальные	TOUAREG, PORSCHE		
61см 24"	1шт	универсальные	VOLVO	61см 24"	59см 23"
71см 28"	1шт	универсальные	SKODA OCTAVIA	69см 27"	48см 19"

Рисунок 8 – коммерческое предложение фирмы дистрибьютера щеток

Длину щёток принимаем 14-28 дюймов или 330-700 мм исходя из имеющихся в продаже (рисунок 9). Примем длину измерительной поверхности в 700 мм с некоторым запасом на иные щётки.



Рисунок 9 – размерный ряд продаваемых щёток фирмы «eparts»

Для подбора измерительных элементов необходимо знать порядок измеряемых сил, то есть нужно определить силу прижима [8]:

В ГОСТ 18699-2017 Стеклоочистители электрические тех требования и методы испытаний нет особых требований к силе прижима щетки стеклоочистителя. В ГОСТ 28465—1990 УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ЛОБОВЫХ СТЕКОЛ КАБИНЫ МАШИНИСТА ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА находится пункт "2.3 Щетка стеклоочистителя должна прилегать к поверхности стекла по всей ее длине с силой прижатия, измеренной в месте крепления ее к рычагу, равной 3—5 Н." [6]. Ранее в этом документе была обозначена длина щёток, 200-500 мм, следовательно можно посчитать порядок силы действующей на 1 мм длины щётки: 0,006-0,025

Н/мм или 0,61-2,55 граммсил/мм.

Так как датчики слишком малых размеров будут подвержены значительным шумам, для повышения точности и снижения стоимости лабораторного стенда прием пятно контакта щетки с датчиком порядка 5-20 мм.

При выбранной длине пятна контакта на одном модуле равной 20 мм, результирующая сила прижима будет порядка 12-50 граммсил.

Пятно контакта щётки с стеклом представляет собой линию и в короткий отрезок времени перемещение щетки по стеклу образует фигуру, приближенную к узкому прямоугольнику независимо от того, какой способ перемещения щетки - радиальный или пантографный - используется, причем чем меньшее расстояние пройдет щётка, тем меньше силы прижатия к стеклу изменяют своё направление. В то же время имитировать всю поверхность стекла нет большой необходимости, если имеется возможность менять угол наклона измерительного блока и изменять геометрию поверхности, которая будет вступать в контакт с щёткой: в таком случае, измерительная система сможет имитировать любое сочетание положения машины.

Исходя из имеющихся на рынке решений есть смысл рассматривать два варианта исполнения системы:

- с использованием гибкой матрицы пьезоэлектрических датчиков, уложенной на реальном стекле, как в решениях фирмы техскан (рисунок 10) [3];
- с использованием системы тензодатчиков, каждый из которых измеряет давление отдельного сегмента щетки.



Рисунок 10 – Датчик давления Taidacent FPC

Каждый вариант имеет свои плюсы и минусы:

– гибкий датчик легко калибровать, он идеально ляжет на поверхность стекла и покажет давление по нормали [9]. Из-за толщины в 0,25 мм его можно использовать на конечном изделии – автомобиле или другой технике [4]. Размер одноточечного зондирования 5 мм * 5 мм, что дает достаточно высокую разрешающую способность. Минусы в том, что подобрать датчик по требуемой чувствительности очень сложно, при частом использовании датчик быстро изнашивается, не подходит для массового производства. Под рассчитанную ранее силу прижима на один элемент 20x20 мм в 10 граммсил не было найдено подходящего датчика, чувствительность датчиков давления в матричном исполнении начинается с 50 грамм на 5x5 мм площади, что на порядок выше. Изготовление по спецзаказу обойдется в внушительные затраты времени и средств;

– система из тензоизмерительных датчиков требует использования отдельного лабораторного стенда. Плюсы в том, что имеющиеся на рынке тензодатчики имеют высокую точность и прецизионность, низкий дрейф по параметрам, можно измерять распределение давления не только по острию контакта, но и по другим точкам щетки, имеется подробный патент с использованием системы тензодатчиков, подходит для массового контроля за изготовленными щетками, есть задел на дальнейшую автоматизацию процесса.

До нахождения подходящего патента и незнания актуальных проблем была предварительно рассмотрена система, состоящая из набора секторов имитации исследуемой поверхности в связке с тремя тензодатчиками, определяющими проекции силы прижатия, по которым с помощью математической обработки можно вычислить результирующую силу в данном секторе при условии известной геометрии линии контакта в текущий момент и угла наклона к земной поверхности измерительного устройства. При рассмотрении чужих решений и патентов был сделан вывод, что много осевой контроль — это излишне, достаточно измерять распределение усилий по одной оси, так как остальные составляющие силы пропорциональны измеряемой.

Было принято решение использовать систему измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя подобной системе из патента JP2007240352A, состоящей из ряда блоков измерения и элемента, который обеспечивает заданное давление на поводок щетки. Исходя из того, как реализовано в большинстве случаев прижатие щетки к стеклу (рисунок 11), достаточно будет сделать отверстие для фиксации поводка коллинеарно вектору измерения усилий с возможностью отвода в сторону щетки от измерительной площадки для замены контролируемой детали или для калибровки.



Рисунок 11 – Щетка на автомобиле

Принцип калибровки тензодатчиков изображен на рисунке 12.

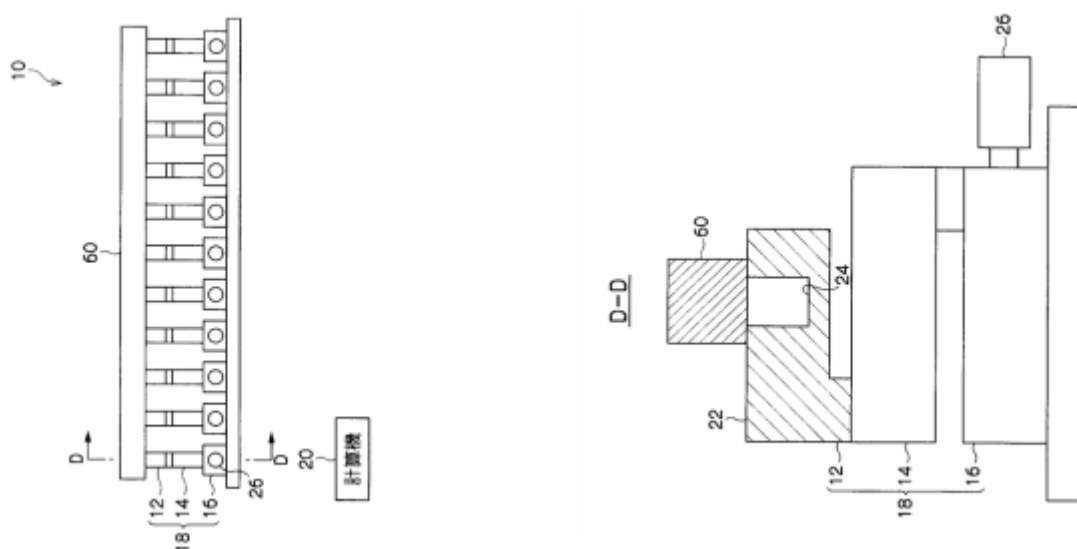


Рисунок 12 – изображения из патента JP2007240352A, принцип калибровки тензодатчиков

Каждый блок измерения должен содержать тензодатчик 14, способный выдерживать вес элемента 22 плюс максимальный измеряемый прикладываемый вес, деленный на два – при калибровке и измерениях калибр или щетка опираются минимум на две точки. Для настройки тензодатчиков используется прут 60, который имеет вес, эквивалентный измеряемому. Для настройки нужна возможность изменять высоту тензодатчика и это обеспечивается элементом 16 и 26, основанием и ручкой

для регулировки соответственно.

Выводы: в рамках данного раздела проведен анализ существующих решений и исходных данных с целью формирования концепции проекта – по образу и подобию реализации системы измерения распределения давления из патента JP2007240352A.

2 Разработка проекта

На этапе проектирования измерительной системы первоочередной задачей был выбор компонентов, удовлетворяющих требованиям по точности, воспроизводимости и допустимому диапазону измеряемого давления. Все эти требования необходимо рассчитать для большего соответствия исходным условиям. Исходя из предварительных условий 6 Н сила прижатия щетки и 11 точек измерения на длину 200 мм, получаем максимум веса, который будет воздействовать на 1 датчик:

$$6 \text{ Н} / 2 = 3 \text{ Н} = 306 \text{ г}$$

В свободной продаже имеются тензодатчики с диапазоном измерения 0,5, 0,75, 1, 2 кг и для целей большей точности нужно выбрать датчик с возможным наименьшим диапазоном – 0,5 кг (рисунок 13), технические характеристики которого указаны в таблице 1 [2].

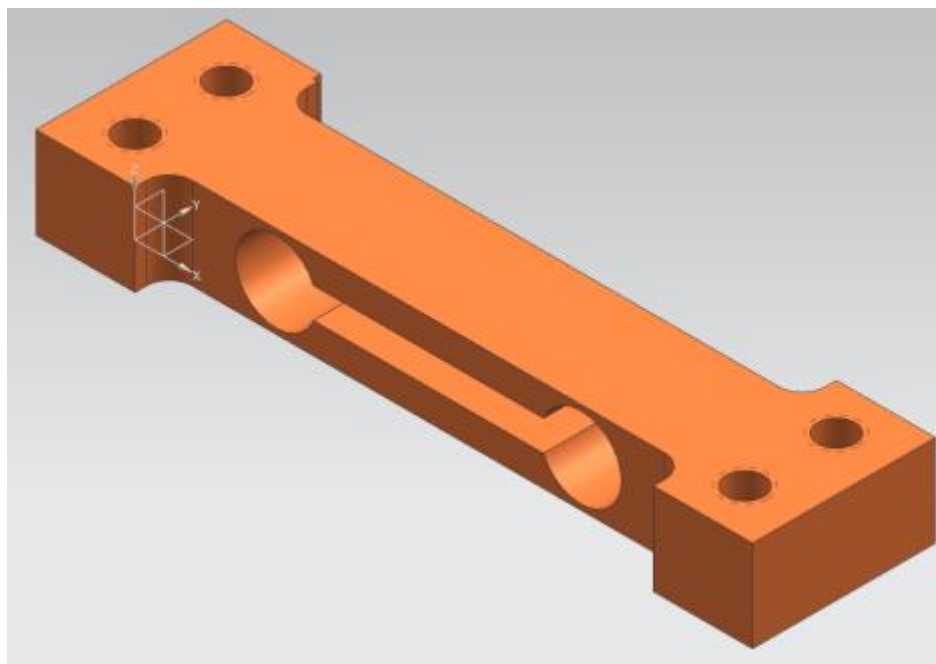


Рисунок 13 – 3-D модель тензодатчика

Таблица 1 – Технические характеристики датчика веса XNQJALYCY 500 g

«Номинальная мощность, мВ/В	$0,6 \pm 0,15$
Нелинейность, от полной шкалы	0,03%
Гистерезис, от полной шкалы	0,03%
Повторяемость, от полной шкалы	0,03%
Темп. Влияние на ноль, ФС/10	0,03%
Нулевой баланс, мВ/В	$\pm 0,1$
Входное/выходное сопротивление, Ом	1090 ± 10
Рекомендуемое напряжение возбуждения, В постоянного тока	3-10
Допустимое напряжение возбуждения, В постоянного тока	3-18
Диапазон рабочих температур, °C	-10 -+ 40
Безопасная перегрузка, от полной шкалы	120%
Предельная перегрузка, от полной шкалы	150%»

Указанные данные взяты от дистрибьютера [2].

Тензодатчик выдает аналоговый сигнал, его нужно преобразовать аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), для дальнейшей его обработки. Для этих целей к каждому тензодатчику будет подключен АЦП НХ711 (рисунок 14) с характеристиками которого указаны в таблице 2 [1], [12].

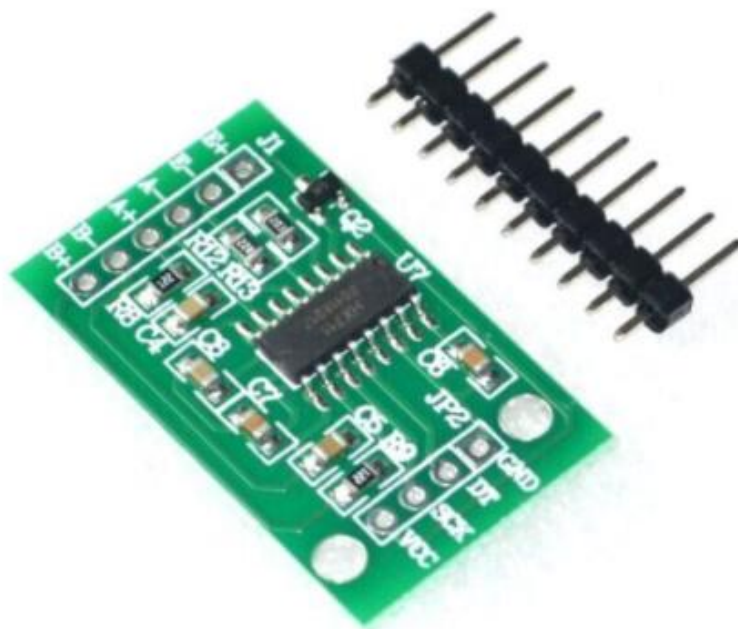


Рисунок 14 – микросхема НХ711, внешний вид

Таблица 2 – Технические характеристики микросхемы НХ711

«Разрядность АЦП, бит	24
Коэффициент усиления	64, 128
Частота измерений, Гц	10/80
Напряжение питания, В	5
Потребляемый ток, мА	до 10
Размеры, мм	34 x 21

От HX711 к плате Arduino отходит 4 провода:

VCC - напряжение питания;

GND – общий контакт;

DT – линия данных;

SCK – линия синхронизации.» [1].

Между тензодатчиком и щеткой необходимо расположить платформу, обеспечивающий достаточный вылет, форму регистрирующей поверхности. Соединение происходит с помощью болтов М3х12 (весом порядка 6 грамм). Вес этой платформы не должен превышать 190 грамм, если же это не получится по конструкторским соображениям, то необходимо пересчитать систему с тензодатчиками на больший вес. Для расчета веса данного элемента была построена 3D модель и с помощью CAD программы был рассчитан вес – 38 грамм, значит можно оставлять тензодатчик на 500 грамм.

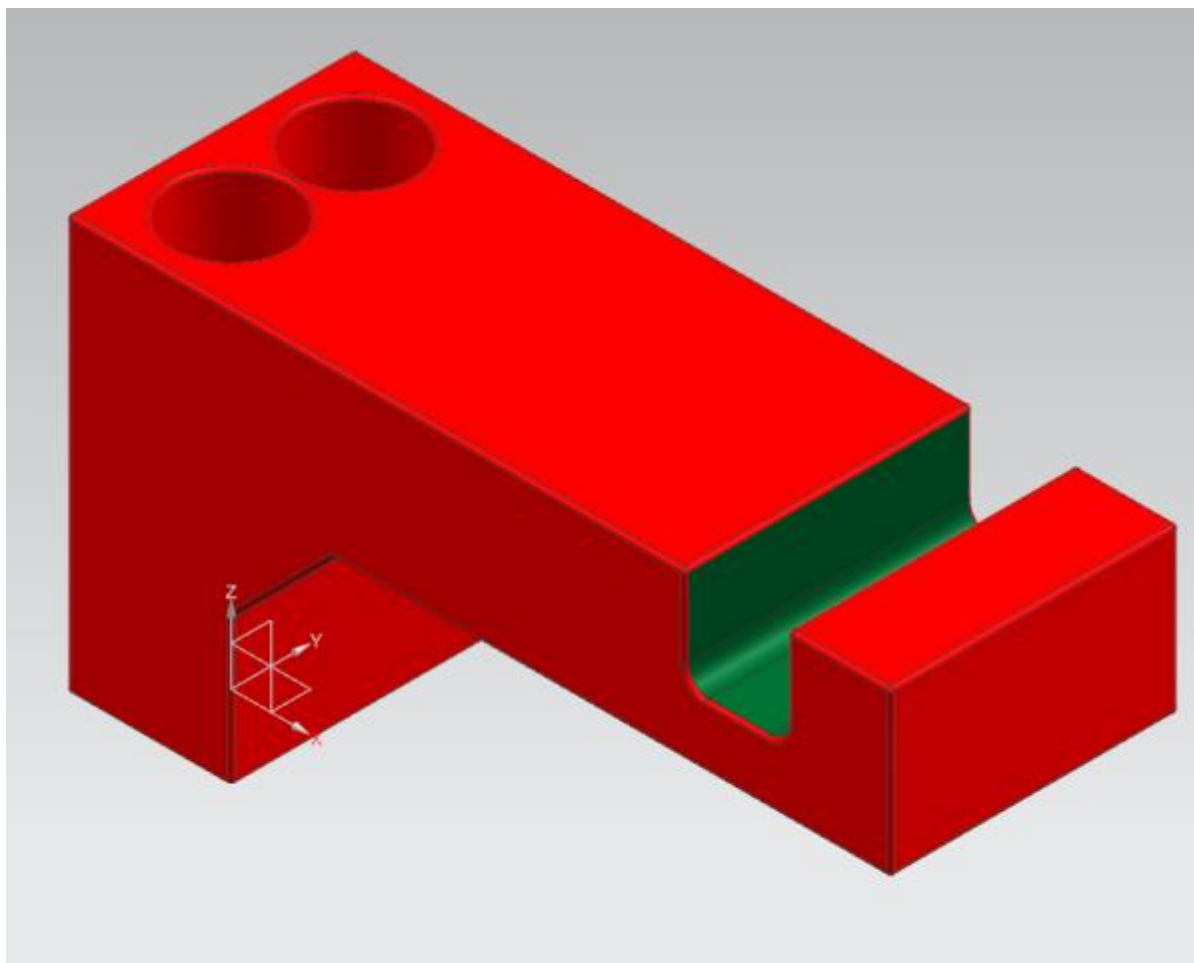


Рисунок 15 – 3D модель платформы

Для регулировки высоты измерительного блока было принято решение использовать зубчато-реечную передачу – один конец тензодатчика будет монтироваться на алюминиевую зубчатую рейку 10x12 1М (рисунок 16) с помощью двух болтов М3х12. Рейка будет направляться точно изготовленным пазом в корпусе измерительного блока, что лишит её пяти степеней свободы. Для большей жесткости крепления после регулировки положения тензодатчика рейка фиксируется двумя стопорными болтами М5.

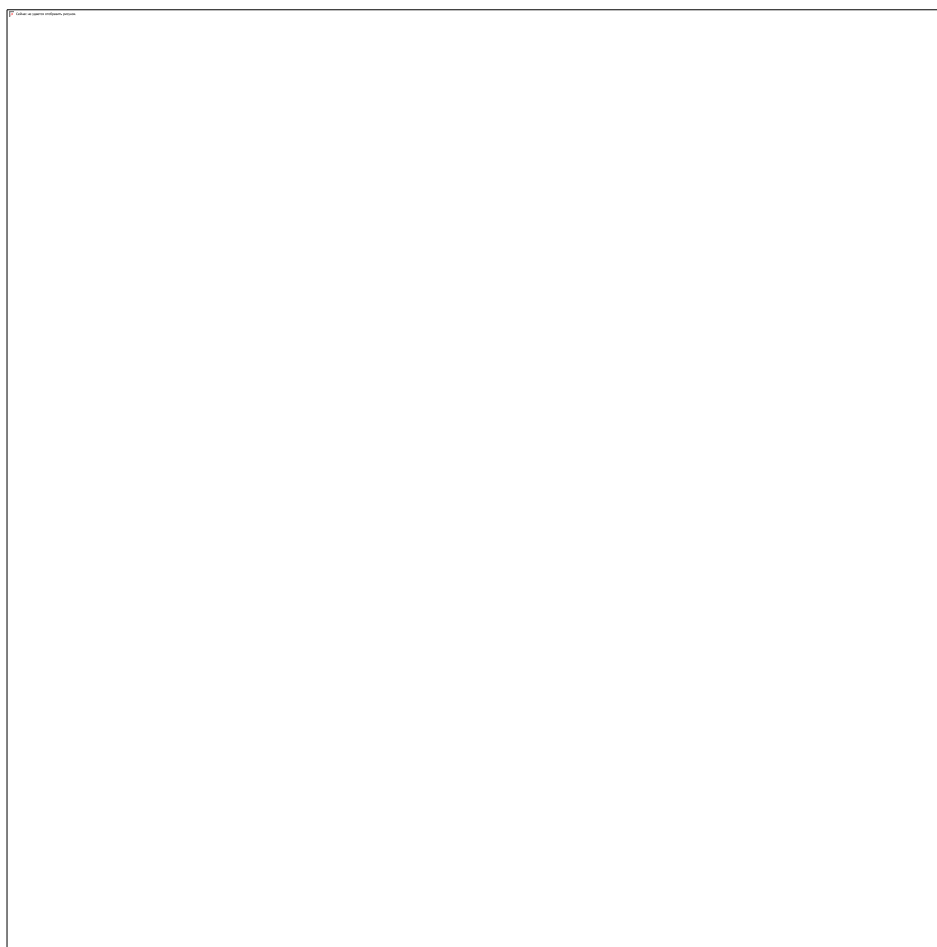


Рисунок 16 – зубчатая рейка

Другой конец рейки будет соединен с зубчатым колесом 1М 17 зубьев с внутренним отверстием 6 мм (рисунок 17).

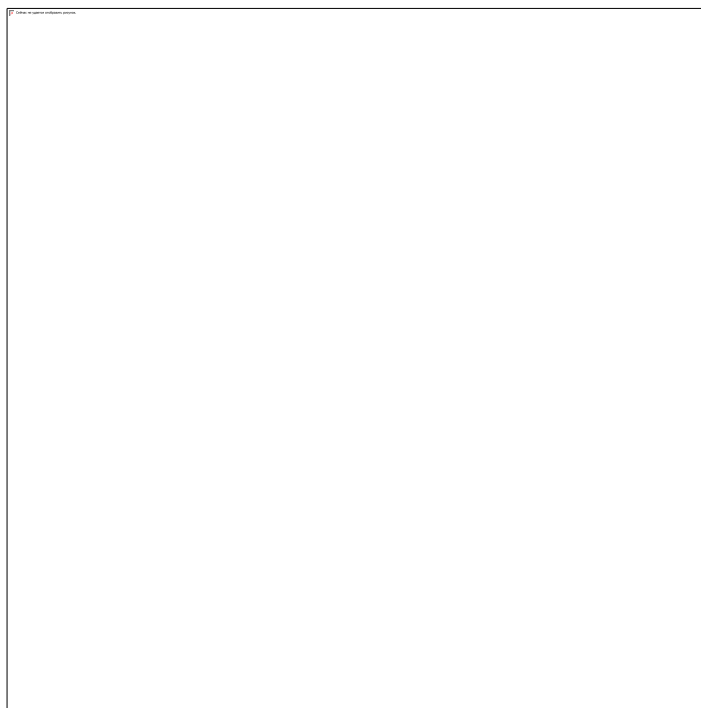


Рисунок 17 – зубчатое колесо

Для плавной работы подъемного устройства и долговечности корпусных деталей нужно использовать подшипники, в данном проекте были выбраны РВЗ 80026 626-ZZ (рисунок 18) как самые дешевые на рынке.

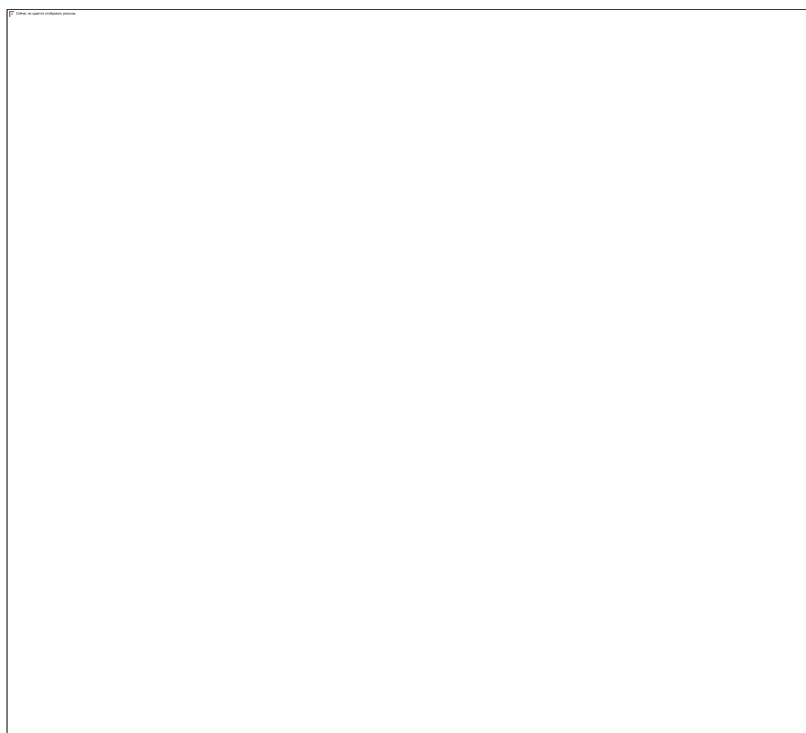


Рисунок 18 – подшипник РВЗ 80026 626-ZZ

Для ручного вращения была выбрана самая дешевая круглая ручка с удобным хватом (рисунок 19). Все тела вращения будут соединены штифтом $\varnothing 6 \times 60$ (рисунок 20).

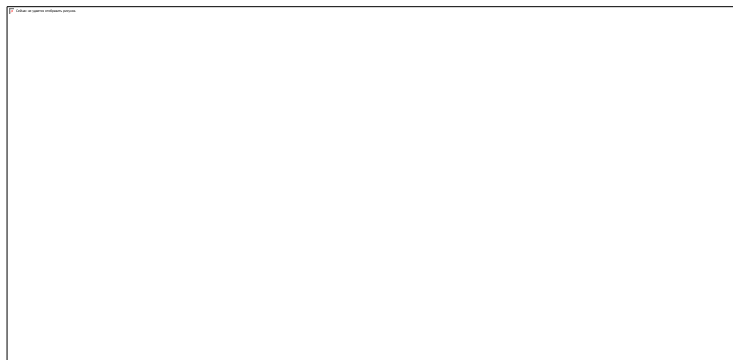


Рисунок 19 – Круглая пластиковая ручка $\varnothing 20 \times 12$ мм

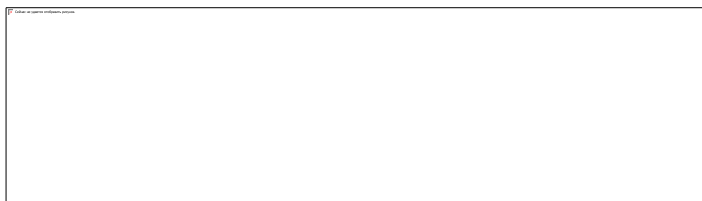


Рисунок 20 – штифт $\varnothing 6 \times 60$

"Электронный блок управления построен на базе микроконтроллера ATmega328p, установленного на отладочной плате Arduino Uno (рисунок 21).



Рисунок 21 – Отладочная плата Arduino Uno

Микроконтроллер ATmega328P работает на частоте 16 МГц и оснащен 32 КБ Flash-памяти, 2 КБ ОЗУ и 1 КБ EEPROM. Отладочная плата Arduino Uno включает стабилизатор напряжения с широким диапазоном входного питания (6-20В) при выходном напряжении 5В, что совпадает с требованиями по питанию для иных комплектующих измерительной системы. Arduino Uno имеет 14 цифровых (макс. ток 20 мА) и 5 аналоговых линий ввода-вывода, а также интерфейс USB Type B для связи с компьютером. При использовании библиотеки Serial входа RX и TX работают как последовательный порт, что оставляет доступными 12 цифровых выхода. Аналоговые входа A4 и A5 могут работать как порта SDA и SCL соответственно при подключении других схем через интерфейс I2C.

При использовании 11 пар тензодатчик плюс АЦП суммарный потребляемый ток будет порядка 110 мА и 20-22 мА на саму плату ардуино. Питание всей системы можно обеспечить использованием разъёма постоянного тока (2.1mm DC power jack) на отладочной плате. В системе будет использован самый дешевый адаптер преобразователя переменного тока из 220 В в 7,5 В 1 А (рисунок 22) [13].



Рисунок 22 – блок питания

На отладочной плате имеется встроенный в плату регулятор напряжения понижает его до необходимых 5 и 3,3 В, далее через общую шину обеспечивается питание всех остальных элементов системы.

При разработке системы возникает следующая проблема: система использует 11 АЦП, у каждого 2 выхода должны быть связаны с микроконтроллером, но контроллер имеет всего 19 входов. Данная проблема решается использованием 8-разрядного расширителя портов PCF8574 (рисунок 23). Характеристики данной схемы:

- «микросхема: PCF8574;
- напряжение питания: 3 — 5.5 В;
- интерфейс: I2C;
- количество портов GPIO: 8;
- размеры: 55 x 15 x 12 мм;» [11].



Рисунок 23 – модуль PCF8574

Итоговое количество доступных портов станет равно двадцати пяти, чего хватает для разработанной схемы.

Если в дальнейшем потребуется модернизация системы через

добавление измерительных блоков, аналогично можно добавить до семи модулей расширения PCF8574, так же имеется запас по потребляемой мощности – используется 150 мА из допустимых 1000 мА – других изменений в конструкции системы не потребуется.

2.1 Проектирование кинематики устройства

После определения функций блоков устройства и покупных комплектующих было необходимо разработать 3D-модель устройства и основных корпусных и рабочих деталей для последующей оценки стоимости их изготовления, определения проблемных мест разрабатываемой технологии.

Для проектирования системы использовалось программное обеспечение «NX 11» [18], представленное на рисунке 24.

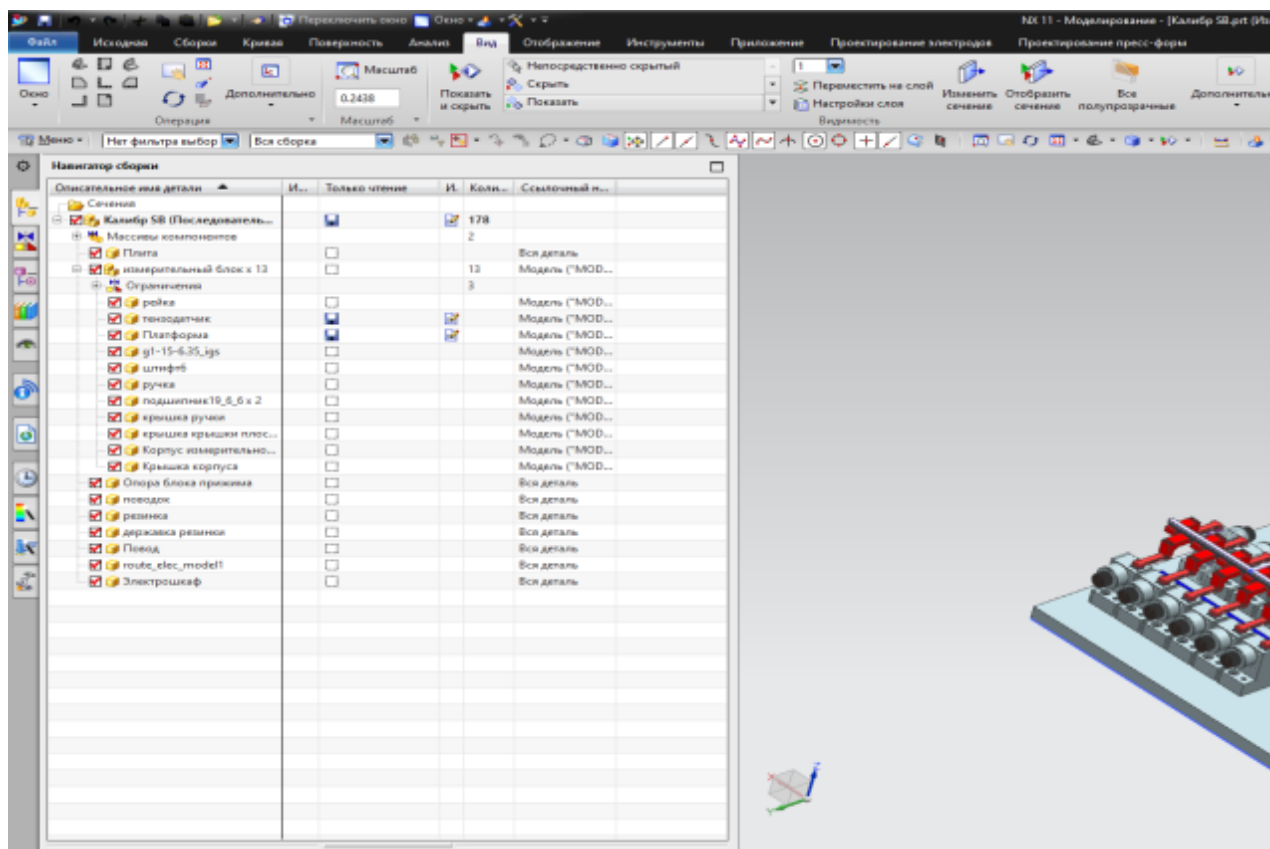


Рисунок 24 – Программа для проектирования NX 11

Проектирование позволяет проработать разрабатываемое устройство с большой точностью. Для подобранных в предыдущей главе комплектующих были созданы с нуля 3D модели, либо по возможности скачаны с официальных сайтов дистрибьютеров. Использование моделей от производителя позволяет проектировать устройства более точно без необходимости приобретать комплектующие на этапе разработки и не тратить время на построение моделей по чертежам и описаниям.

Первым делом была разработана модель платформы, используя внутренние инструменты CAD системы был определен вес (0,378 Н) при изготовлении этого элемента из стали (рисунок 25).

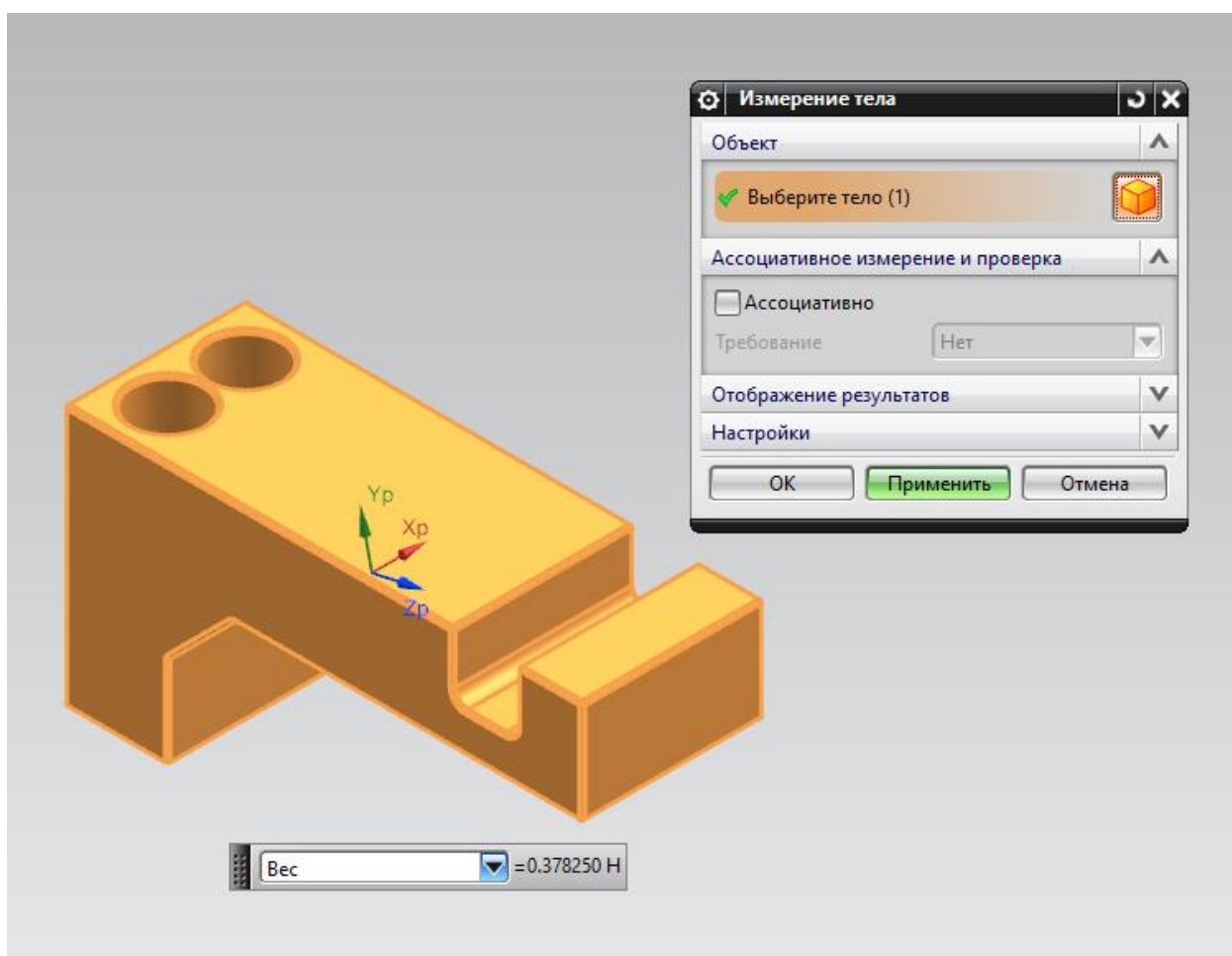


Рисунок 25 – измерение веса платформы

Далее было проработаны соединение платформы, тензодатчика, рейки:

подобраны межосевые расстояния для крепежа, выяснены необходимые доработки покупных комплектующих, как-то нарезка реек и сверление дополнительных отверстий, нарезание резьбы и т. п. (рисунок 26).

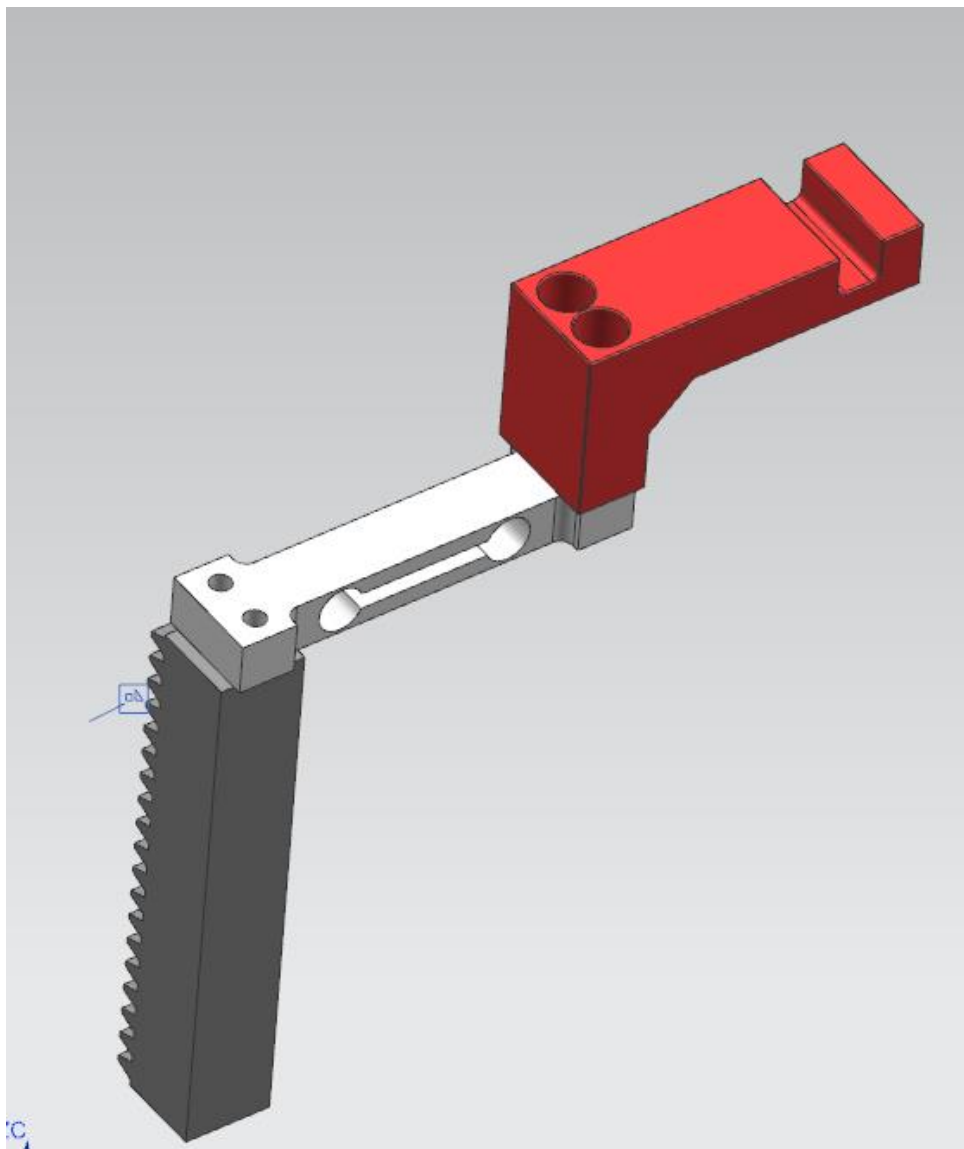


Рисунок 26 – разработка измерительного блока, элемент «крепеж платформы»

В сборку добавляются элементы, отвечающие за ручную настройку высоты платформы относительно основания: вал, зубчатое колесо, подшипники и ручка, стопорные винты (рисунок 27).

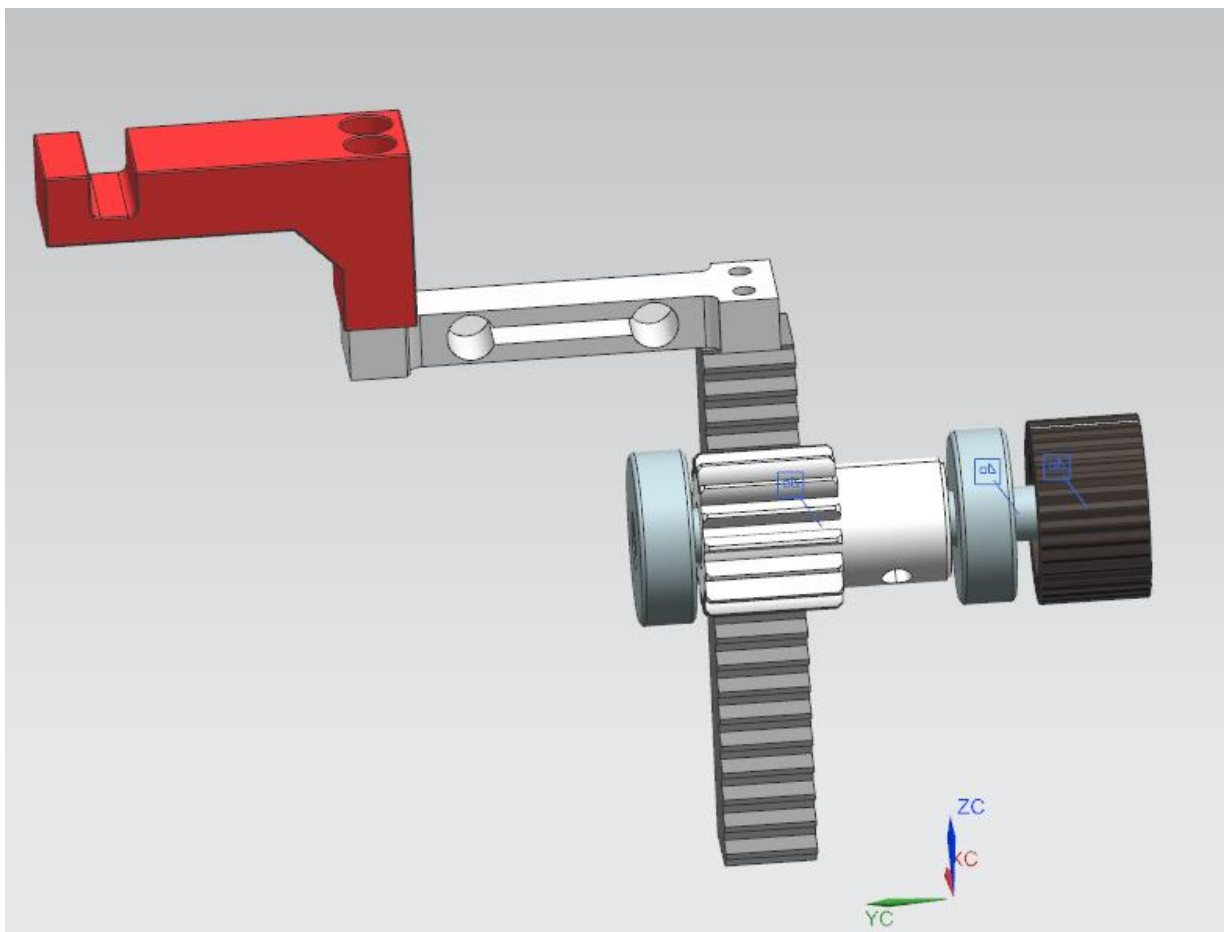


Рисунок 27 – разработка измерительного блока

Вокруг внутренних элементов измерительного блока был спроектирован корпус, состоящий из тела корпуса, крышек, ступенчатой втулки. Дальнейшее разбиение или объединение элементов корпуса на составляющие может быть оправдано технологически.

Для разработки корпусной детали необходимо ещё было учесть метод позиционирования на плите основания, в нашем случае это классическое позиционирование 2 штифта 2 винта крест-накрест. Разработанный корпус с габаритами 35x90x100 изображен на рисунке 28. Перемещение по вертикали обеспечивается в диапазоне 40 мм, что достаточно для любых дальнейших модернизаций.

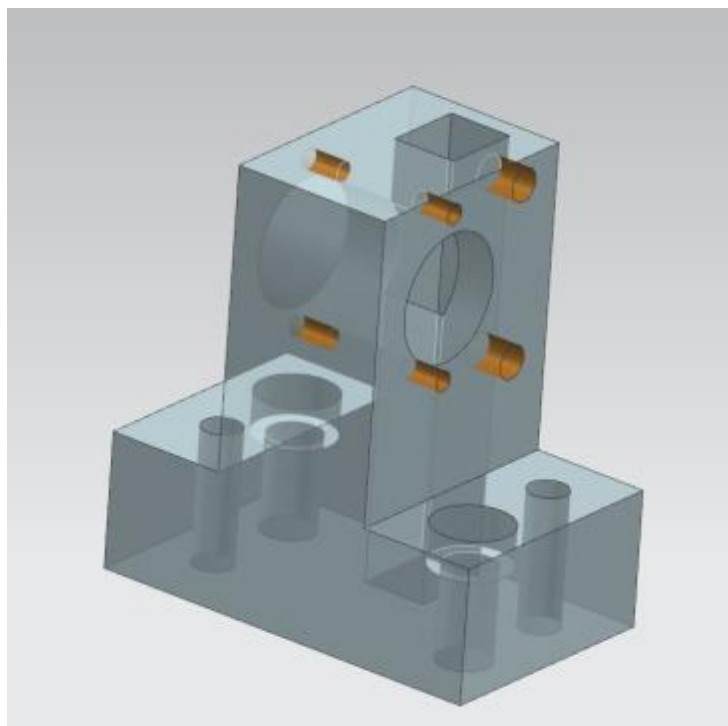


Рисунок 28 – Корпус измерительного блока

Измерительный блок со всеми смонтированными элементами в двух разных положениях изображен на рисунках 29 и 30.

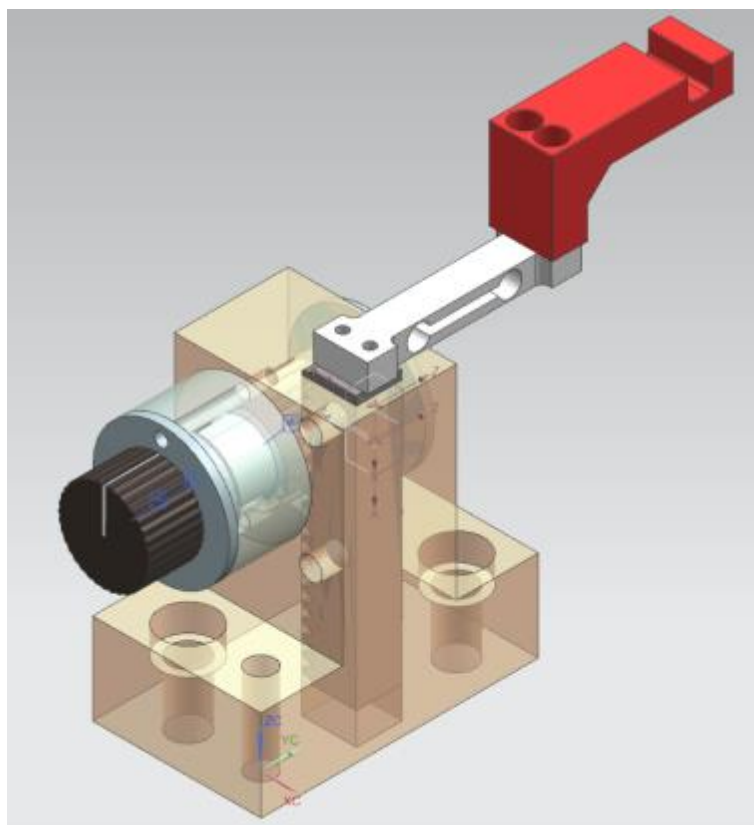


Рисунок 29 – измерительный блок в сборе в нижнем положении

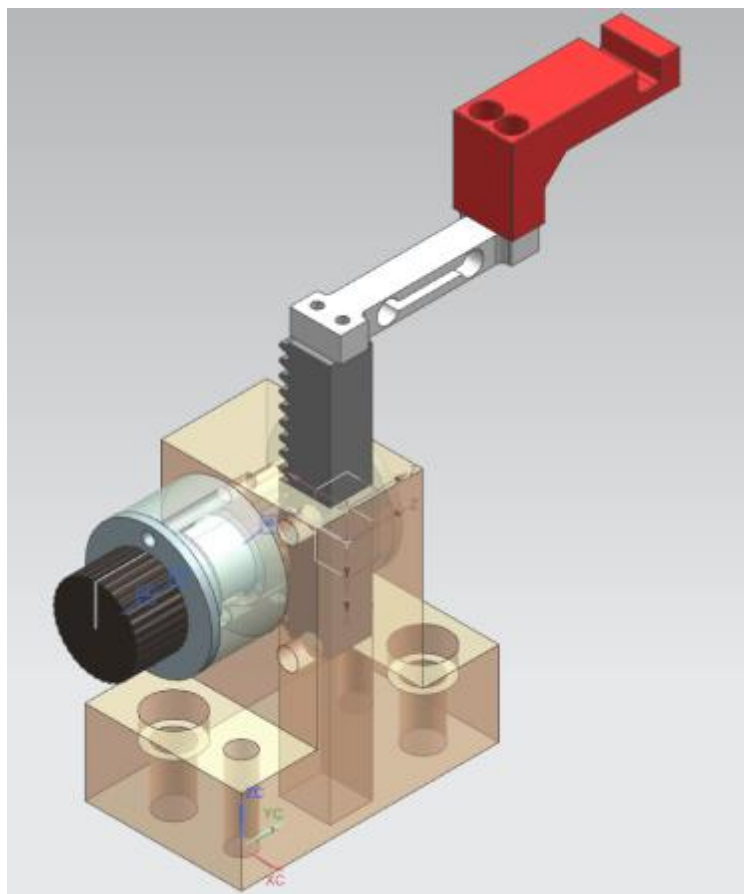


Рисунок 30 – измерительный блок в сборе в верхнем положении

Из-за большой ширины измерительных блоков было принято решение устанавливать их не в одну линию, как указано в патенте, а в две, таким образом, чтобы блоки соседствовали только платформами, тогда ширина одного блока в конфликтном месте будет всего 15 мм и это позволит их расположить согласно первоначальному заданию (рисунок 31).

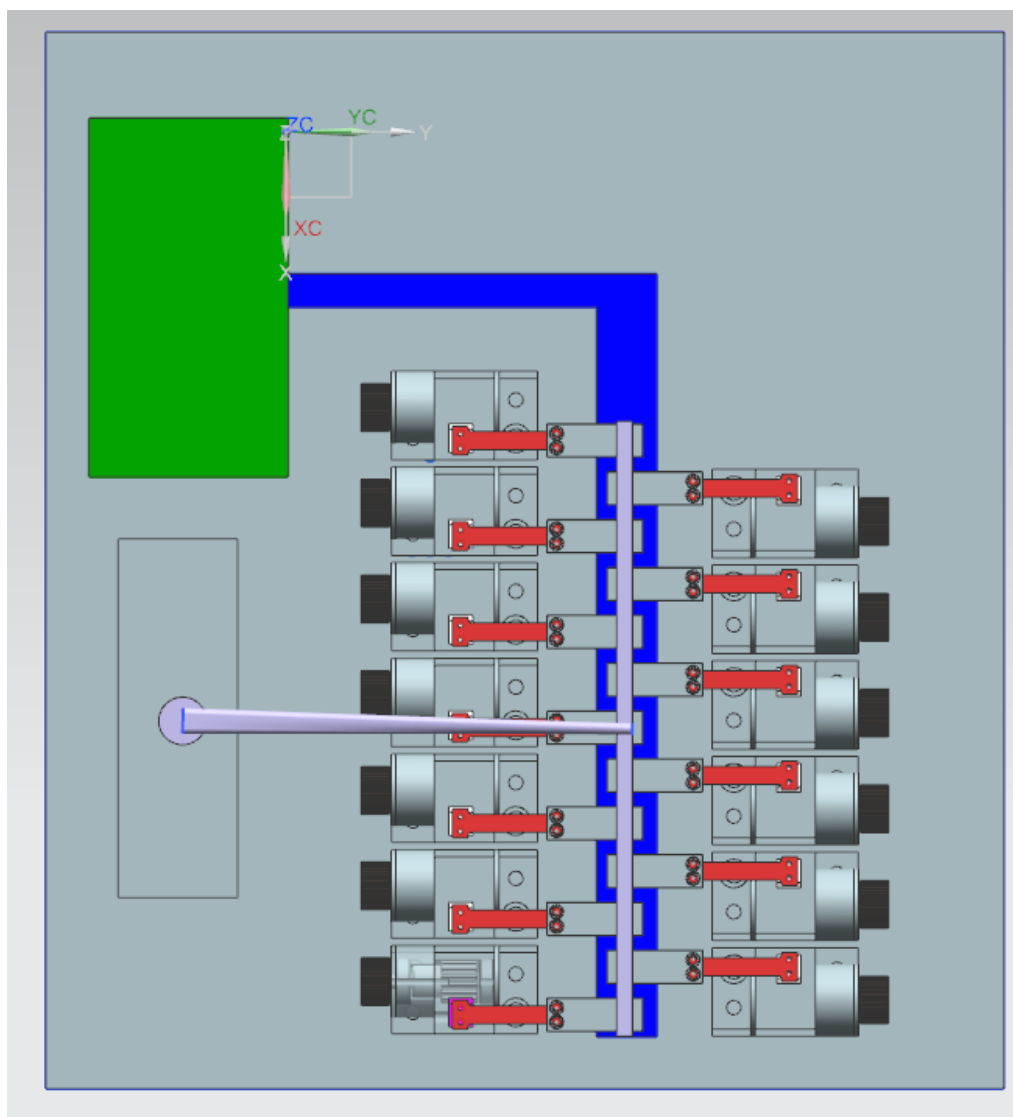


Рисунок 31 – система измерения, вид сверху

При использовании системы измерения в массовом производстве, предусматривается дополнение ручной настройки высоты автоматической, через использование сервоприводов.

На плите основания смонтированы транспортировочные элементы, электронный блок, в котором будет проходить обработка полученной информации с датчиков. В рассматриваемом варианте исполнения системы смену щётки, поворот поводка в разные положения выполняет оператор, предусматривается модернизация до полной автоматизации с помощью робота.

Система измерения в общем виде предоставлена на рисунке 32.

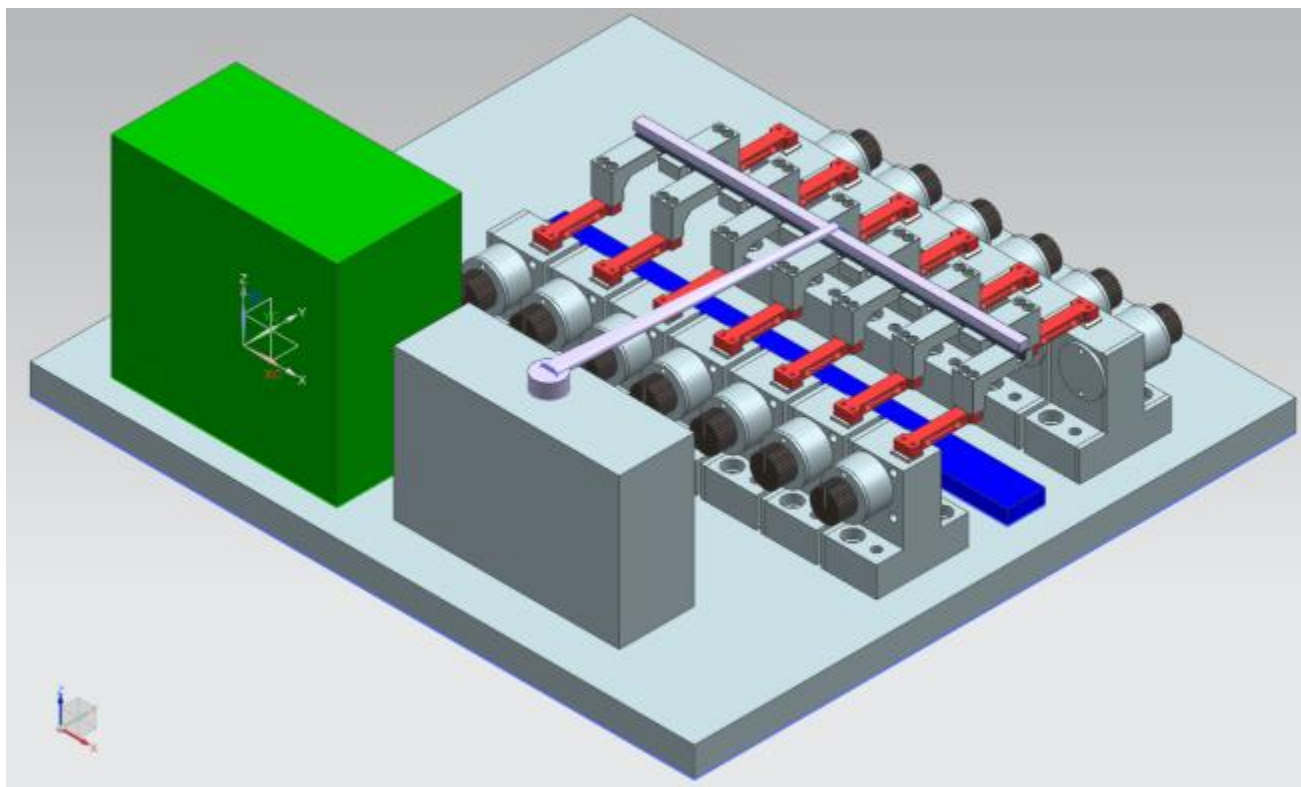


Рисунок 32 – Система измерения

2.2 Разработка системы управления

Проектом предусмотрена разработка электронного блока управления (ЭБУ) для системы измерения. На рисунке 33 изображена его структурная схема.



Рисунок 33 – Структурная схема измерительной системы

Микроконтроллер принимает показания с АЦП через модуль расширения и напрямую с пинов, отправляет полученные данные на ПК через USB модуль. Напряжение 220В, поступающие из общей сети электропитания, понижается до 7,5В, необходимых для питания микроконтроллера и других элементов уже через пониженное до 5 В встроенным стабилизатором в отладочную плату [16].

В разработанной системе используются тензорезисторные датчики, работающие схемой «мост Уинстона»: «четыре датчика включены в два плеча питаемые постоянным напряжением 5 В. Два датчика работают на сжатие, два на растяжение, снимают информацию по изменению усилия с диагонали моста (рисунок 34)» [20].

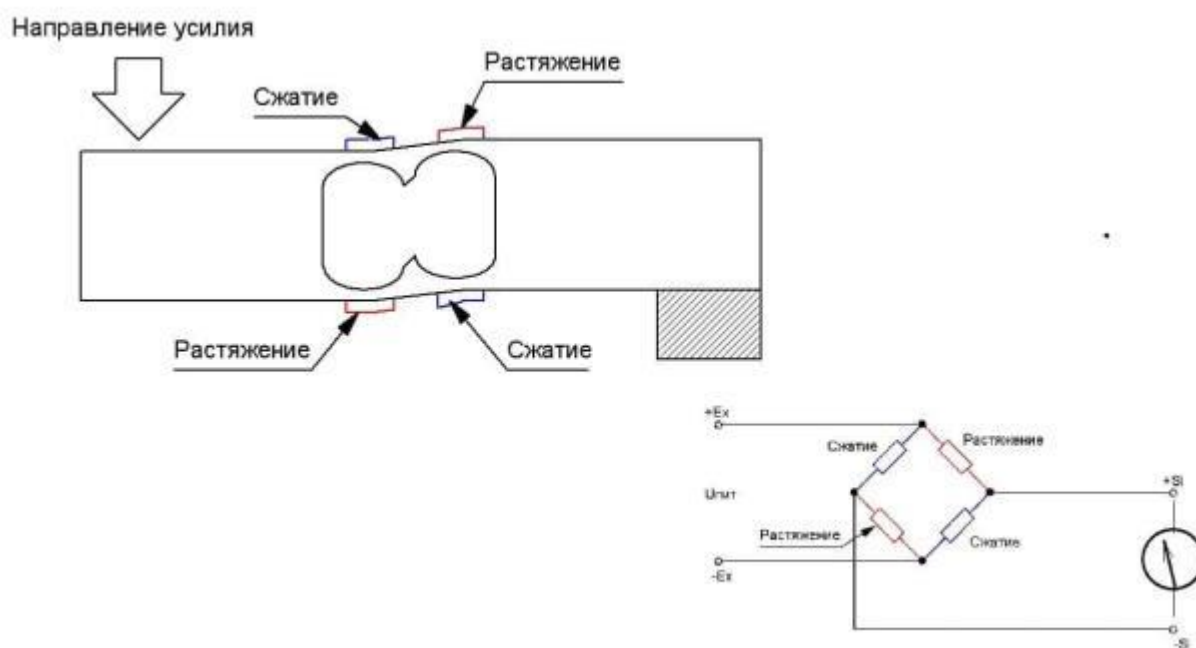


Рисунок 34 – Принцип работы тензодатчиков

Информация, получаемая с тензорезисторных мостов, поступает в аналоговом виде на близкорасположенный аналогово-цифровой преобразователь, который переводит информацию в цифровой сигнал.

Такое расположение датчиков и АЦП уменьшает вероятность

возникновения помех, ведь как известно, аналоговый сигнал имеет свойство искажаться при передаче на всё большие расстояния, каковой проблемы лишен сигнал цифровой.

Информация о измеренном усилии в микроконтроллер приходит необработанной, в виде безразмерного числа, пропорционального измеряемому весу, поэтому необходима калибровка тензодатчиков.

Для калибровки тензодатчика необходимо получить показания без нагрузки, с эталонным весом, далее установить калибровочный коэффициент. Так как система состоит из множества датчиков, которые должны быть определённым образом расположены по высоте, необходимо так же откалибровать высоту тензодатчиков, используя специально изготовленный эталонный брус.

Сборка электронного блока управления осуществляется на беспаячной макетной плате из набора Arduino, приведенной в рисунке 35. Это решение даёт возможность корректировать структуру блока, не меняя кардинально его конструкцию. Соединения элементов схемы предполагается обеспечивать проводами Dupont, разработанными специально для использования в связке с беспаячными макетными платами.



Рисунок 35 – беспаячная макетная плата

2.3 Проектирование принципиальной схемы

Принципиальная схема системы измерения распределения усилий, изображенная на рисунках 36 и 37, проектировалась в программе «Компас-Электрик», оформлялась согласно единой системе конструкторской документации [5].

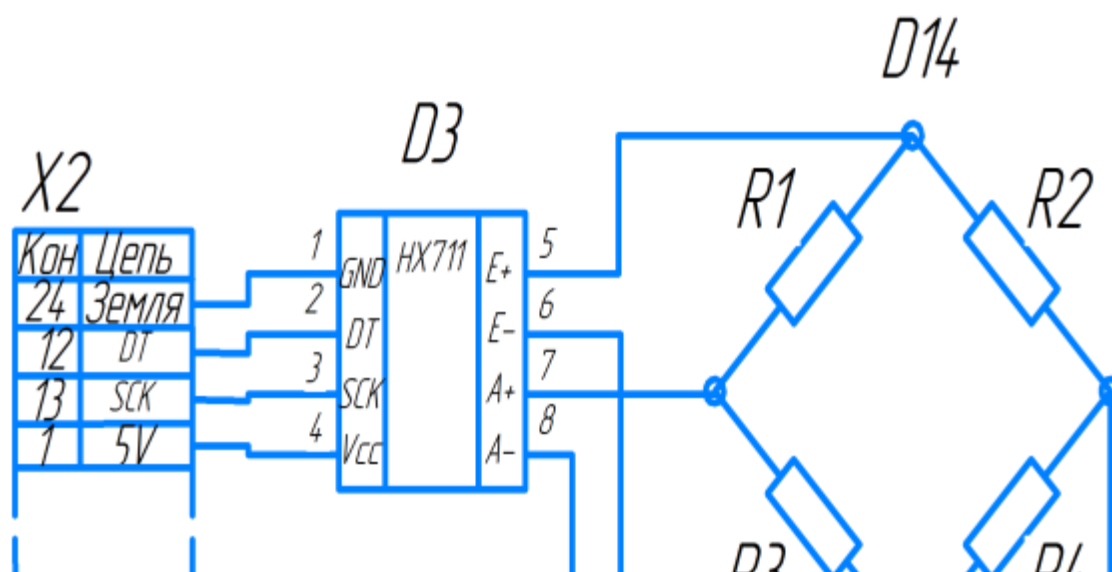


Рисунок 36 – Принципиальная схема измерительного блока

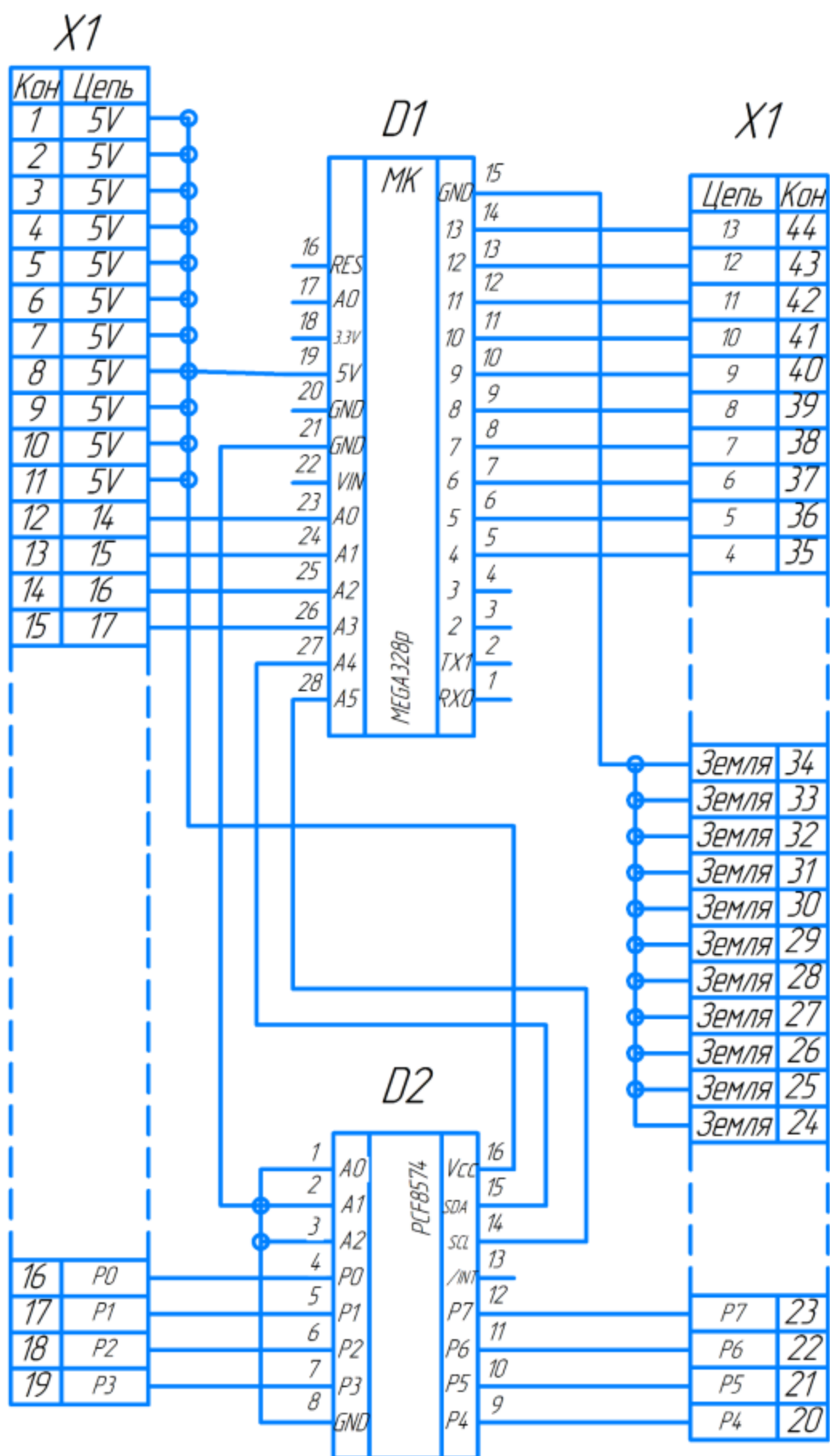


Рисунок 37 – Принципиальная схема электронного блока управления

Для каждой пары тензодатчик и АЦП необходимо четыре провода, два из которых надо соединить с пинами микроконтроллера.

Напряжение питания и общий контакт снимаются с общих шин, линии данных и линии синхронизации следуют напрямую с микроконтроллера или с модуля расширения. Напряжение питания для АЦП обеспечивается стабилизатором микроконтроллера на 5В.

Выводы по разделу 2: Раздел содержит проектные решения по системе измерения распределения усилий, включая:

- разработку 3D-модели измерительной системы,
- проектирование электронного блока управления,
- разработку принципиальной электрической схемы.

3 Написание программы для микроконтроллера

Для написания программного кода использовалась среда разработки Arduino IDE, позволяющая создавать и загружать программы на совместимые платы Arduino [14, 15]. При написании программы активно использовались скетчи, приведенные для примера работы с различными модулями, используемыми в системе измерения. Программа для микроконтроллера в составе системы измерения приведена ниже.

```
« #include "HX711.h"                                     // подключаем
библиотеку для работы с платой HX711
#include "PCF8574.h"                                       // Подключение библиотеки PCF8574

PCF8574 pcf8574(0x20);                                   // Создаем объект и указываем адрес
устройства 0x20

HX711 scale;                                             // создаём
```

объект scale для работы с калибровкой тензодатчиков

```
HX711 load_cells[11]; // создаём 11
```

объектов для работы с тензодатчиками

```
const uint8_t CLK[11] = { 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
P0, P1, P2, P3}; // создаём массив с номерами выводов Arduino, к
которым подключен вывод SCK
```

```
const uint8_t DOUT[11] = { 11, 12, 13, 14, 15, 16,
17, P4, P5, P6, P7}; // создаём массив с номерами выводов
Arduino, к которым подключен вывод DOUT
```

```
float GAIN[11]{}; // создаём массив с корректирующими
коэффициентами для каждого датчика
```

```
float loads[11]{}; // создаём массив для хранения значений с
каждого датчика
```

```
float const weight_of_standard = 167.8; //
указываем эталонный вес
```

```
float const conversion_rate = 0.035274; //
указываем коэффициент для перевода из унций в граммы
```

```
const int z = 10; // указываем
количество измерений, по которым будет найдено среднее значение
```

```
float calibration_value[z]; // создаём
массив для хранения считанных значений
```

```
float calibration_factor = 0; // создаём
переменную для значения калибровочного коэффициента
```

```
// функция для калибровки
тензодатчиков:
```

```
float kalibrait(uint8_t dout_pin, uint8_t sck_pin) {
scale.begin(dout_pin, sck_pin); //
инициируем работу с платой HX711, указав номера выводов Arduino, к
которым подключена плата, вот
```

```
scale.set_scale(); // не
```

калибруем полученные значения

```
scale.tare(); // обнуляем вес
```

на весах (тарируем)

```
Serial.println("enter any number after setting the reference weight");
```

// выводим в монитор порта текст "введите любое число после установки эталонного веса"

```
while (Serial.available() == 0) { // пока
```

не введено число, программа ожидает

```
}
```

```
calibration_factor = 0; //обнуляем
```

калибровочный коэффициент

```
Serial.print("calibration factor: "); //
```

выводим текст в монитор последовательного порта

```
for (int i = 0; i < z; i++) { // запускаем
```

цикл, в котором

```
calibration_value[i] = scale.get_units(1) / (weight_of_standard /  
conversion_rate); // считываем значение с тензодатчика и переводим его в  
граммы
```

```
calibration_factor += calibration_value[i]; //
```

суммируем все значения

```
}
```

```
calibration_factor = calibration_factor / z; //
```

делим сумму на количество измерений

```
return calibration_factor; // завершение
```

функции и возврат итогового значения

```
}//»[7].
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(57600); // иницилируем работу с последовательным  
портом на скорости 57600 бод
```

```
for (int i = 0; i < 11; i++) { // выполняем цикл, в
```

котором

```
GAIN[i]=kalibrait(DOUT[i], CLK[i]); // иницилируем
```

корректирующие коэффициенты для каждого тензодатчика

```
}
```

```
for (int i = 0; i < 11; i++) { // «выполняем цикл, в
```

котором

```
load_cells[i].begin(DOUT[i], CLK[i]); // выполняем
```

инициализацию 11 тензодатчиков

```
load_cells[i].set_scale(GAIN[i]); // устанавливаем
```

корректирующие коэффициенты для каждого тензодатчика

```
load_cells[i].tare(); // обнуляем значение на
```

каждом датчике (тарируем)

```
}
```

```
} //» [7].
```

```
«void loop() {
```

```
for (int i = 0; i < 11; i++) { // выполняем цикл, в
```

котором

```
loads[i] = load_cells[i].get_units(1) * conversion_rate; // считываем
```

значение веса на каждом тензодатчике и преобразуем их из унций в граммы

```
Serial.print(loads[i], 3); // выводим значения веса
```

```
Serial.print(" "); //»[7]
```

```
delay(10);
```

```
}
```

```
Serial.println(" next "); // перенос на следующее
```

измерение

```
delay(1700); // задержка между измерений
```

```
}
```

На рисунках 38 – 40 изображена блок-схема разработанной программы для системы измерения распределения усилий.



Рисунок 38 - Блок-схема разработанной программы

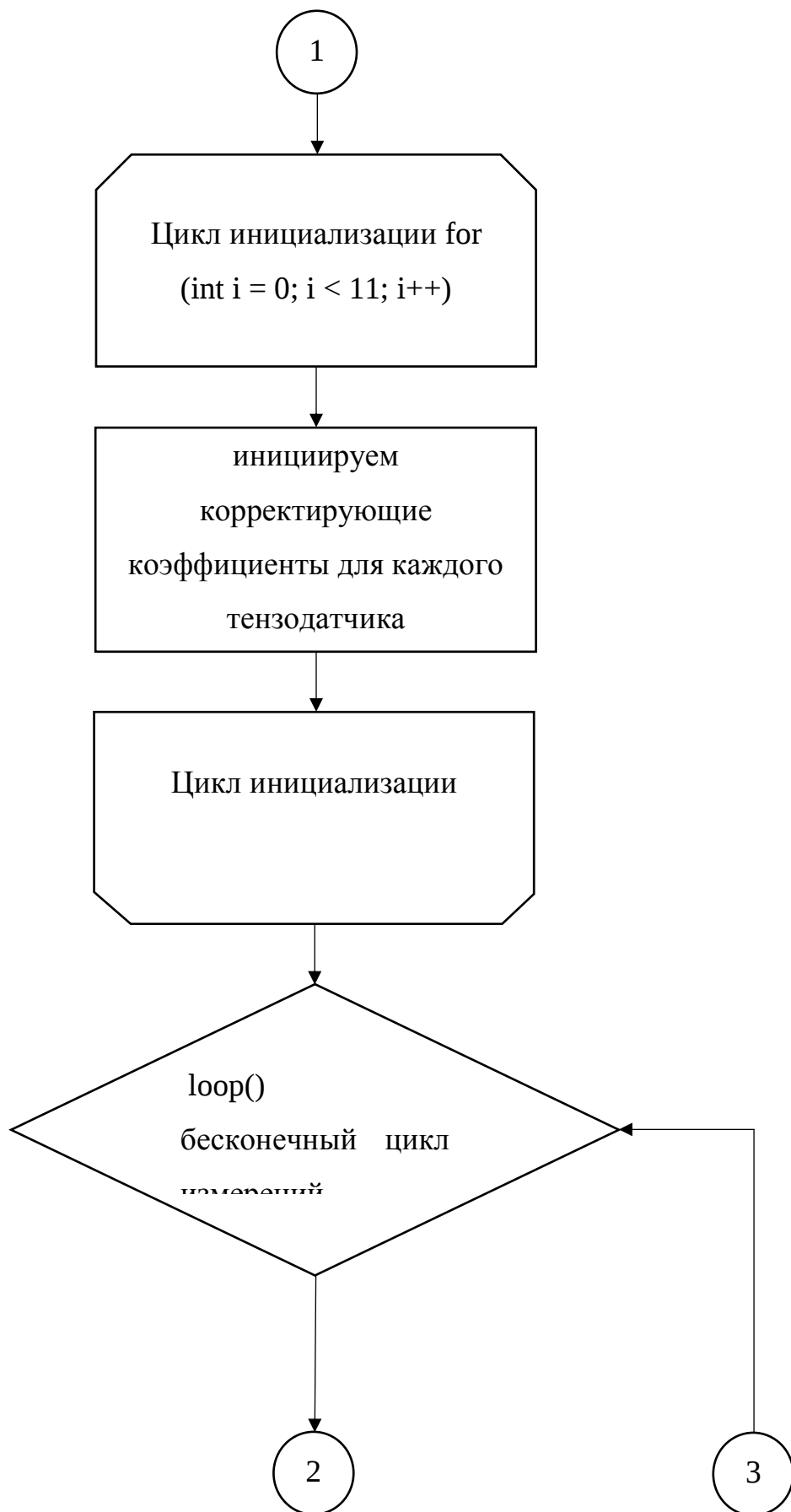


Рисунок 39 - Блок-схема разработанной программы (продолжение)

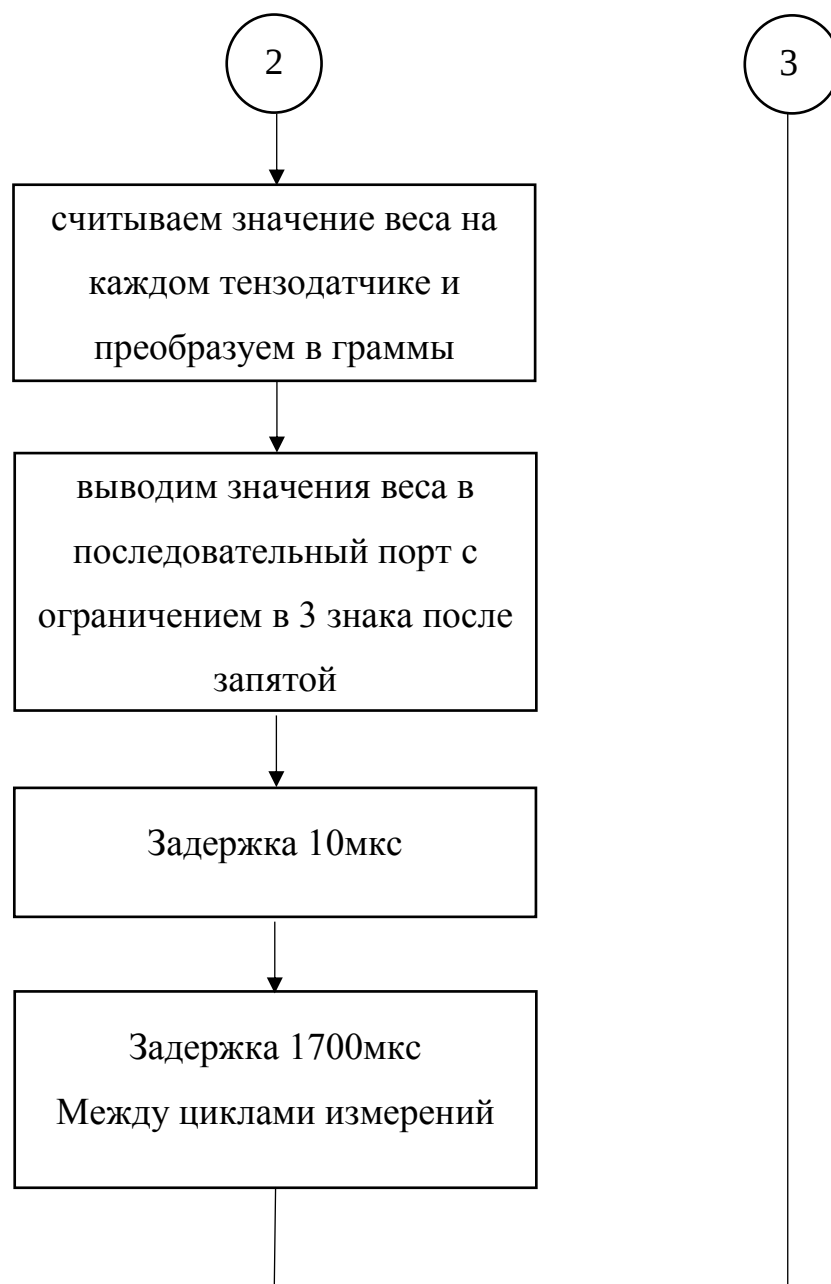


Рисунок 40 - Блок-схема разработанной программы (продолжение)

Система управляется через последовательный порт. Для начала работы необходимо откалибровать тензодатчики, для этого в состоянии тензодатчиков без нагрузки отправляется на микроконтроллер число 50. Далее при последовательной установке эталонного веса на каждый тензодатчик необходимо послать на микроконтроллер число, совпадающее с номером тензодатчика, таким образом произойдет калибровка системы.

Данные о измеренных величинах с каждого тензодатчика поступают на последовательный порт персонального компьютера (рисунок 41).

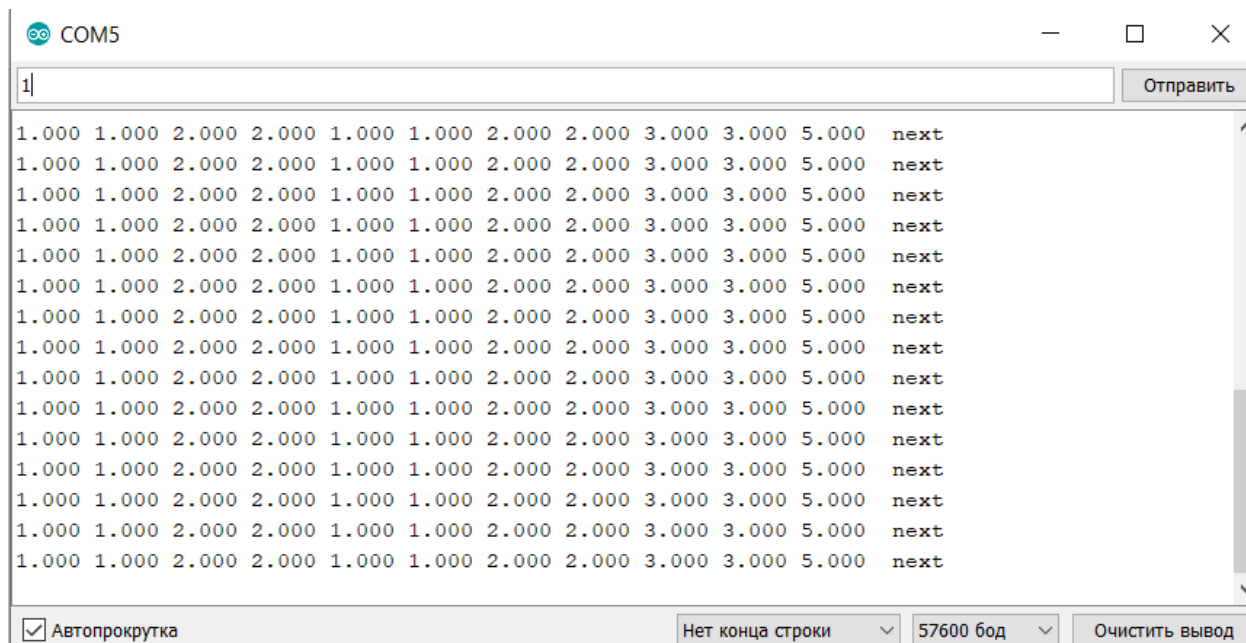


Рисунок 41 – Управление системой измерения через последовательный порт и полученные данные

Выводы по разделу 3: для управления электронным блоком системы измерения разработано программное обеспечение микроконтроллера. В разделе приведен код программы и ее блок-схема. Отработаны механизмы получения требуемых данных.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был составлен подробный проект прототипа устройства для измерения распределения усилий щетки стеклоочистителя, разработанной в рамках выполнения целевых задач от ОАО «АВТОВАЗ».

Система разрабатывалась как подтверждение концепции, так как реальной промышленной задачи не было предоставлено. Для углубления проработанности системы и её специализации на конкретные задачи были оставлены заделы под модернизацию, аппаратную и программную: возможно подключить к существующей системе дополнительные измерительные блоки, добавить специализированный человеко-машинный интерфейс, автоматизировать настройку по высоте для измерительных платформ.

Большую часть комплектующих для разработанной системы можно свободно купить, только лишь корпусные элементы необходимо создавать с нуля. Была проведена консультация с технологами действующего единичного производства для повышения технологичности и уменьшения стоимости изготовления разработанных деталей. Итоговая минимальная стоимость разработанного устройства составляет 250.000р, что меньше, чем у зарубежных аналогов.

Максимально используется инструментарий для прототипирования устройств (семейство устройств Arduino, беспаячные платы и соответствующие провода, готовые источники питания), что позволяет сосредотачиваться на целевой работе.

Написана программа с полным необходимым функционалом: калибровка через уточнение коэффициентов тензодатчиков, получение структурированной информации о распределении и величине усилий щетки стеклоочистителя.

Составлена блок-схема программы и вид получаемых системой человеко-машинного интерфейса данных.

Список используемой литературы и используемых источников

1. АЦП для аналоговых весов HX711. Обзор, применение, характеристики. I Блог 3DIY shop [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-diy.ru/blog/acp-dlya-analogovykh-vesov-hx711/> (дата обращения 28.05.25).
2. Датчик взвешивания нагрузки XNQJALYCY 100г/200г/300г/500г/750г | AliExpress [Электронный ресурс]. URL: https://aliexpress.ru/item/32793602151.html?ysclid=mc1piljy6d43956065&sku_id=12000016338831669 (дата обращения 11.05.25).
3. Датчик давления Taidacent FPC, гибкий сенсор для измерения давления в ногах | AliExpress [Электронный ресурс]. URL: https://aliexpress.ru/item/4000430567907.html?sku_id=10000001781697441 (дата обращения 05.01.25).
4. Датчик давления Taidacent, пьезорезистивная матрица, гибкий датчик давления, тонкая пленка, датчик давления тела | AliExpress [Электронный ресурс]. URL: https://aliexpress.ru/item/1005007480395512.html?spm=a2g2w.detail.rcmdprod.0.67896808Xe4aUV&mixer_rcmd_bucket_id=aerabtestalgoRecommendAbV2_testRankingSasRecI2IFeaturesI2I&pdp_trigger_item_id=0_4000430567907&ru_algo_pv_id=3137cc-476f2e-eed290-2b0e0e-1745298000 (дата обращения 07.12.24).
5. Единая система конструкторской документации правила выполнения электрических схем ГОСТ 2.702-2011 [Электронный ресурс]. URL: <https://stds.ru/document/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%202.702-2011.pdf?ysclid=mc1hwu75cs448361872> (дата обращения 11.06.25).
6. ГОСТ 28465-90 Устройства очистки лобовых стекол кабины машиниста тягового подвижного состава. Общие технические условия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reglament.by/wp-content/uploads/docs/gost/GOST-28465-90.pdf> (дата обращения 15.12.24).

7. Тензодатчики и HX711. Руководство пользователя. - Описания, примеры, подключение к Arduino [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.iarduino.ru/page/hx_711_with_tenzo/ (дата обращения 11.02.25).

8. Прижим щеток стеклоочистителя к стеклу — Hyundai Elantra (3G), 1,6 л, 2010 года | своими руками | DRIVE2 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/l/535664748818071653/?ysclid=m459yh898q489420026> (дата обращения 11.12.24).

9. Системы измерения распределения удельного давления [Электронный ресурс]. URL: <https://industrial.team-dz.com/catalog/sistemy-izmereniya-udel'nogo-davleniya/> (дата обращения 11.05.25).

10. Устройство для контроля равномерности усилия прижатия щеток стеклоочистителя. Советский патент 1991 года SU 1654686 A1. Изобретение по МКП G01L1/22 . [Электронный ресурс]. URL: <https://patenton.ru/patent/SU1654686A1?ysclid=m95les2n3f356050486#similar> (дата обращения 21.01.25).

11. Увеличение портов ввода-вывода на Arduino (PCF8574) – RobotChip [Электронный ресурс]. URL: <https://robotchip.ru/uvelichenie-portov-vvoda-vyvoda-na-arduino-pcf8574/?ysclid=mbzb4mzc2x26873348> (дата обращения 11.02.25).

12. Электронные весы на базе HX711 [Электронный ресурс]. URL: <https://cxem.net/mc/mc416.php?ysclid=m45jmoek5q511395473> (дата обращения 14.05.25).

13. Адаптер преобразователя переменного тока 100 В-240 В постоянного тока 7,5 В 1 А 1000 мА источник питания с вилкой европейского стандарта постоянного тока 5,5 мм х 2,1 мм [Электронный ресурс]. URL: <https://market.yandex.ru/cc/6y6hM2> (дата обращения 10.05.25).

14. Arduino Sketches. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/programming/sketches/> (дата обращения 12.06.25).

15. Arduino Software (IDE). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment> (дата обращения 12.06.25).

16. Digital Control of Power Electronic Systems. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.monolithicpower.com/en/power-electronics/control-of-power-electronic-systems/digital-control-of-power-electronic-systems> (дата обращения 12.06.25).

17. JP2007240352A - Method and device for measuring distribution pressure of wiper blade - Google Patents [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/JP2007240352A/en?q=JP2007240352A> (дата обращения 27.12.24).

18. NX, программное обеспечение с CAM и CAD. [Электронный ресурс]. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/> (дата обращения 11.06.25).

19. Strain gauge - Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge (дата обращения 23.02.25).

20. Wheatstone bridge - Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge (дата обращения 23.02.25).