

Перв. примен.
Справ. №

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

Политехнический институт

Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Н. Сочнев
подпись
«____» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ

15.04.06 Мехатроника и робототехника

15.04.06.01 Технологии автоматизации и роботизации производства

Руководитель _____ Г.Б. Масальский
подпись, дата должность, учёная степень

Выпускник _____ Е.В. Русалеев
подпись, дата

Рецензент _____ А.А. Голуб
подпись, дата должность, учёная степень

Красноярск 2019

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	MP – 15.03.06 ПЗ	Лист
						1

Продолжение титульного листа БР по теме «Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ»

Перв. примен.

Консультанты по разделам:

Справ. №

Модель бега с тренажёром как объект управления

подпись, дата

В.И. Грузенкин

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Нормоконтролёр

подпись, дата

В.Н. Куликова

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МР – 15.03.06 ПЗ

Лист

2

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

Политехнический институт

Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.Н. Сочнев
подпись

« _____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме магистерской диссертации

Перв. примен.

Справка №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.

Студенту Русалееву Евгению Владимировичу
Группа ФЭ17-10М Направление подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» магистерская программа 15.04.06.01 «Технологии автоматизации и роботизации производства».

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ»

Утверждена приказом по университету 15948/С от 3.11.2017

Руководитель ВКР Г.Б. Масальский, канд. техн. наук, доцент., каф. РиТК

Исходные данные для ВКР:

Описание принципа действия тренажёра и необходимых параметров.

Перечень разделов ВКР:

Глава 1. Анализ объекта управления

Глава 2. Технические средства

Глава 3. Исследование модели сервопривода

Глава 4. Разработка программы для взаимодействия с пользователем

Глава 5. Экономический расчет

Глава 6. Техника безопасности

Глава 7. Руководство по эксплуатации

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл

Руководитель ВКР _____

Масальский Г. Б.

Задание принял к исполнению _____

Русалеев Е.В.

« ____ » _____ 2019 г.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

4

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ» содержит 72 страницы текстового документа, 14 использованных источников.

СЕРВОСИСТЕМА, СЕРВОПРИВОД, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ, STM32, СЕРВОСИСТЕМА YASKAWA SERVOPACK SGDM-04ADA-R, AC SERVO MOTOR SGMAH-04AAA21, УПРАВЛЕНИЕ СЕРВОСИСТЕМОЙ, СИСТЕМЫ ЧПУ, ЭНКОДЕР, ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС НА STM32F7.

Цель проекта:

– разработка пилотного проекта тренажера спринтерского бега на основе современных систем ЧПУ.

Задачи:

- описание проблемы спринтерских тренировок;
- рассмотрение системы человек + тренажер;
- проектирование бегового тренажера;
- подбор технических средств;
- настройка сервосистемы;
- написание программы микроконтроллера для обработки сигналов управления и состояния системы;
- составление графического интерфейса взаимодействия с пользователем;
- организация связи между сервосистемой и микроконтроллером;
- тестирование тренажера.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Перв. примен.</i>		8
		ВВЕДЕНИЕ	8
		1 Анализ объекта управления	13
		1.1 Модель бега с тренажёром как объект управления	13
		1.2 Требования к тренажёру	16
		1.3 Расчет характеристик тренажёра	17
		1.4 Структура системы	19
		1.1 Внешний вид тренажёра	20
	<i>Справ. №</i>	2 Технические средства	22
		2.1 Серводвигатель	22
		2.2 Сервосистема.....	26
		2.2.1 Управление моментом	35
		2.3 Микроконтроллер	37
		2.4 Промежуточные звенья системы	42
		2.4.2 Операционный усилитель	42
		2.4.3 Преобразователь дифференциальных сигналов	44
		2.4.4 Источник постоянного напряжения	47
		2.4.5 Понижающий преобразователь постоянного напряжения	48
		2.5 Схема соединения узлов системы	49
		3 Результат работы модели сервопривода в MATLAB	50
		4 Разработка программы для взаимодействия с пользователем	52
		4.1 Библиотека HAL	52
		4.2 Обработка сигналов состояния	54
		4.3 Генерация сигналов управления	57
		4.4 Библиотека emWin.....	58
		4.5 Интерфейс LTDC	59
		4.6 Графический интерфейс.....	60
		5 Экономический расчёт.....	61
		5.1 Расчет затрат стоимости материалов.....	62

	<i>Подпись и дата</i>		
	<i>Инд. № д/фл</i>		
	<i>Взам. инд. №</i>		
	<i>Подпись и дата</i>		
	<i>Инд. № подл</i>		

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	

MP – 15.03.06 ПЗ

Перв. примен.	5.2 Расчет затрат электроэнергии на технологические цели.....				63	
	5.3 Расчет оплаты труда				63	
	5.4 Отчисления на социальные нужды				64	
	5.5 Амортизационные отчисления				64	
	5.6 Прочие расходы				65	
	5.7 Общая стоимость				65	
	Справ. №	6 Техника безопасности.....				66
7 Руководство по эксплуатации.....				67		
ЗАКЛЮЧЕНИЕ				70		
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ				71		
ПРИЛОЖЕНИЕ А				73		
Подпись и дата						
Инв. № д/опл						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	MP – 15.03.06 ПЗ	Лист
						7

ВВЕДЕНИЕ

История спорта – это тысячелетия состязаний, в которых всегда выделялся бег и в беге быстрееший человек. Интерес к спринтерскому бегу, к определению самого быстрого бегуна планеты был, есть и будет огромен. Эта – одна из главных, важных и необходимых для выживания возможностей человека в прошлом традиционно интересует почти всех и сегодня.

Методики развития быстрого бега востребованы во многих видах спорта, таких, например, как футбол, баскетбол, гандбол, регби. Мировой рекорд в беге на 100 метров, который установил в 2012 году Усейн Болт – 9,58 секунд – лучшее достижение современной цивилизации, и оно является той целью, к которой стремятся все, занимающиеся спринтом.

Все, кто занимается спринтом, в том числе и Усейн Болт, сталкивались на вершине своих достижений, с явлением, которое называют «скоростной барьер». Это явление наступает в разном возрасте, примерно через 6-8 лет специальных тренировок в спринтерском беге и заключается в том, что максимальная скорость бега у спортсмена перестаёт повышаться [3]. Вопрос преодоления скоростного барьера является одним из самых актуальных в теории и методике развития беговых качеств.

В этом случае начинают использовать такие приёмы как бег с применением динамического срыва (бег с сопротивлением и мгновенным сбросом сопротивления), бег в облегченных условиях (скоростная тяга вперёд), бег по наклонной плоскости (в гору и с горы). Попытки снизить вес бегуна в тренировочных забегах, использовать скоростную тягу вперёд, бег под уклон (менее 2 градусов уклон не увеличивает скорость бега, уклон более 3 градусов нарушает структуру бегового шага). При этом было установлено, [4] что превышение скорости бега на величину 1 м/с и более приводит к нарушению структуры бегового шага: время опоры, длина шага, горизонтальная и вертикальная составляющие силы реакции опоры, время отталкивания, углы сгиба в суставах ног. Все эти параметры являются

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/оп

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

MP – 15.03.06 ПЗ

Лист

8

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

что именно такой подход позволит преодолевать скоростной барьер и получать стабильный эффект улучшения скоростных возможностей бегуна.

На необходимость использования искусственно облегченных условий для совершенствования в спринтерском беге указывал и В.Н. Платонов [2]. Он писал о том, что соревнование – лучшее средство комплексного совершенствования скоростных возможностей. Но создавать соревновательную ситуацию в тренировочной практике систематически невозможно, а облегченные условия бега позволяют моделировать соревновательные и даже большие скорости в условиях рядовой тренировочной практике.

Опираясь на практические результаты, можно говорить, что тренировки в облегченных условиях (тяга вперед), будут способствовать появлению новых возможностей у спринтера, соответствующих тем режимам тренировки, которые ему будут созданы.

Именно это явление наблюдается в последние 15-20 лет: доминируют в спринте люди, живущие в тепле (нет необходимости много медленно бегать) и в тренировке использующие бег средней и максимальной интенсивности. Нет беговых движений медленного темпа в большом процентном соотношении к общему количеству беговых движений.

Практика работы в этой сфере (повышения скорости бега спортсмена) показывает, что тяга вперед, без контроля силы тяги, не позволяет прогрессировать в спринте на уровне 10,8-10,9 секунд, [3] и не представляет никакого интереса для уровня быстрееших людей планеты.

Таким образом, создание модельных характеристик искусственной среды для организации тренировочного процесса должно быть четко регламентировано в каждом конкретном случае и при тяге вперед ограничиваться увеличением максимальной скорости бега, которая в каждой конкретной пробежке обладает спортсмен, не более чем на 0,5 м/сек или учитывать, что это обеспечивается силой тяги не более 2 % от массы тела.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

10

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

наполнения полостей снаряда воздухом. В результате бежать становится гораздо труднее, а нагрузка на мышцы увеличивается в несколько раз.

Тренажёр, о котором говорится в данной работе, создаёт усилие, тянущее человека вперёд с постоянным поддержанием точно заданной силы тяги. Человек бежит в направлении усилия пытаясь прочувствовать ускорение, чтобы потом воспроизвести его без тренажёра. Для связи между человеком и тянущим устройством используется верёвка из материала, которой менее подвержен растяжению.

Для управления данным тренажёром используется сервосистема с ЧПУ, которая позволяет добиться более качественного поддержания постоянного момента на валу двигателя.

Управление сервосистемой осуществляется через пользовательский интерфейс, отображающийся на LCD-дисплее с Touch-панелью, который позволяет задавать управляющее воздействие, получать информацию о текущем состоянии объекта, собирать статистику о результатах тренировок.

LCD-дисплей с Touch-панелью подключается к микроконтроллеру, который непосредственно генерирует сигналы задания для сервосистемы, а также считывает сигналы её состояния.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1 Анализ объекта управления

1.1 Модель бега с тренажёром как объект управления

Методика развития максимальной скорости бега в современной теории и методике физического воспитания занимает ведущее место. Возможности многих легкоатлетических дисциплин и многих не легкоатлетических видов спорта связаны уровнем своих достижений в скорости бега. Если рассматривать человека в контексте тренировки, то следует выделить факторы имеющие влияние на скорость бега. Представим спринтера в виде структурной схемы (рисунок 1.1).

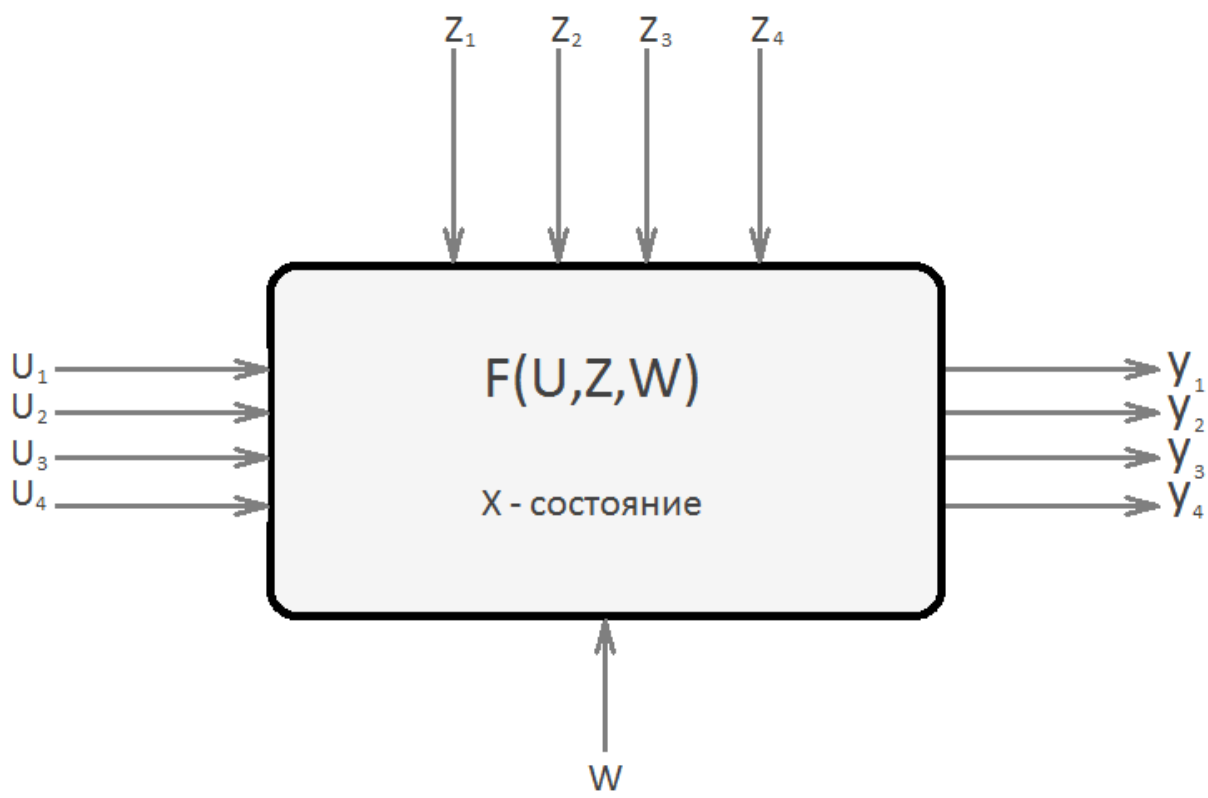


Рисунок 1.1 – Структурная схема спринтера.

Распишем подробнее воздействия, оказываемые на бегуна.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Управляющие воздействия **U**:

u_1 – момент тяги тренажёра, Н · м;

$u_2(t)$ – частота шагов во время бега (может меняться в времени на протяжении дистанции) , шагов/мин;

$u_3(t)$ – длина шага бегуна (зависит от длины ног и времени), м;

$u_4(t)$ – формирующая среда (методика тренировки, наставники, условия тренировки и т.п.), неизмеряемая величина.

Контролируемые управляемые возмущения **Z**:

$z_1(t)$ – температура воздуха, °С;

$z_2(t)$ – скорость ветра, м/с;

$z_3(t)$ – влажность воздуха, %;

$z_4(t)$ – качество дорожки, балл;

Неконтролируемые возмущения **W(t)** обусловлены неконтролируемым воздействием окружающей среды.

Состояние спринтера характеризуется контролируемыми и неконтролируемыми параметрами **X**.

$x_1(t)$ – артериальное давление, мм. рт. ст.;

$x_2(t)$ – температура тела, °С;

$x_3(t)$ – уровень глюкозы в крови, ммоль/л;

$x_4(t)$ – эмоциональный настрой, неизмеряемый показатель;

$x_5(t)$ – мотивация на результат, неизмеряемый показатель;

Выходной показатель **Y**:

$y_1(t)$ – скорость бега во времени в i -ом забеге, м/с;

$y_2 = \Delta y_1(t)$ – ускорение в i -ом забеге, м/с²;

$y_3 = \bar{y}_1(t)$ – средняя скорость в i -ом забеге, м/с;

$y_4 = \bar{y}_2$ – средняя скорость по n забегам, м/с;

Зависимость выходных показателей можно представить моделью вида:

$$y = F(U, Z, W), \quad (1.1)$$

где $F(U, Z, W)$ – функция для упрощённой модели оценки результатов спринтера от контролируемых воздействий и $F(U, Z, W)$ – оператор для описания динамических процессов спринтера от контролируемых воздействий. Если u_3 будет меняться для разных спринтеров или одного, то (1.1) представим в виде:

$$y|u_3 = F(U, Z, W). \quad (1.2)$$

В качестве упрощённых статических моделей, для оценки влияния контролируемых воздействий можно использовать линейную модель следующего вида:

$$y_3(U, X, Z, u_3) = a_0 + a_1u_1 + a_2u_2 + a_3x_1 + a_4x_2 + a_3x_3 + a_4x_2 + a_3x_3 + a_4z_1 + a_5z_2 + a_6z_3 + a_1z_4 + V, \quad (1.3)$$

где переменные u_i, z_i, x_i – средние значения контролируемых воздействий в i -ом забеге, $i = 1 \dots N$, V – аддитивная помеха, как результат неконтролируемых воздействий.

Модель (1.3) позволяет по результатам N забегов (тренировок) выявить значимость контролируемых воздействий и степень их влияния в результате обработки экспериментальных данных методом регрессионного анализа. В качестве динамической модели можно применить линейную дискретную модель вида:

$$\begin{cases} x(k+1) = A \cdot x(k) + Bu_1(k) \\ y_1(k) = C x(k) + V(k) \end{cases}, \quad (1.4)$$

где $x(k)$ – вектор значимых переменных состояния;

A, B, C – параметры модели;

k – дискретное время.

1.3 Расчет характеристик тренажёра

Рассчитаем размер вала. Выведем зависимость радиуса вала от оборотов двигателя (1.5).

$$V = \frac{l}{t}; \quad (1.5)$$

$$V = 2\pi Rf = \frac{2\pi n}{60} \cdot R; \quad (1.6)$$

$$R = \frac{V \cdot 60}{2\pi n}, \quad (1.7)$$

где l – расстояние, м;

t – время, с;

n – обороты двигателя, об/мин;

R – радиус вала двигателя, м;

V – линейная скорость, м/с;

f – частота, Гц.

Вычислим радиус вала необходимый для поддержания максимально необходимой скорости (45 км/ч = 12,5 м/с) на номинальных (3000 об/мин) и максимальных (5000 об/мин) оборотах.

$$R_n = \frac{V \cdot 60}{2\pi n} = \frac{12,5 \cdot 60}{2\pi \cdot 3000} = 0,0398 \text{ м} = 3,98 \text{ см} \approx 40 \text{ см}; \quad (1.8)$$

$$R_m = \frac{V \cdot 60}{2\pi n} = \frac{12,5 \cdot 60}{2\pi \cdot 5000} = 0,0238 \text{ м} = 2,38 \text{ см} \approx 2,4 \text{ см}. \quad (1.9)$$

Диаметр вала серводвигателя должен быть не меньше рассчитанных значений.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

17

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Рассчитаем необходимый момент, который должен развивать двигатель для создания усилия до 3% от массы тела. Выведем формулу для расчёта момента.

$$M = F \cdot R; \quad (1.10)$$

$$F = m \cdot g; \quad (1.11)$$

$$M = m \cdot g \cdot R, \quad (1.12)$$

где M – момент силы, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

K – время, с;

R – радиус вала двигателя, м;

g – ускорение свободного падения: $9,8 \text{ м/с}^2$;

F – сила тяги, Н.

Проведём расчёт для максимальной и средней массы. Возьмём значение максимальной массы 80 кг , а средней 60 кг . Массу принимаем равной 3% от веса. Радиус вала примем равным рассчитанному для номинальной скорости вращения. $R = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$.

$$M_H = 1,8 \cdot g \cdot 0,04 = 1,17 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (1.13)$$

$$M_M = 2,4 \cdot g \cdot 0,04 = 2,35 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (1.14)$$

Двигатель следует подбирать таким образом, чтобы его характеристики удовлетворяли рассчитанным значениям.

1.4 Структура системы

Для реализации описанного устройства будет использована сервосистема, включающая серводвигатель, частотный преобразователь, энкодер и микроконтроллер с графическим LCD-дисплеем с Touch-панелью. Также будут использоваться сопутствующие технические средства для согласования сигналов системы. Структура данной системы изображена на рисунке 1.2.

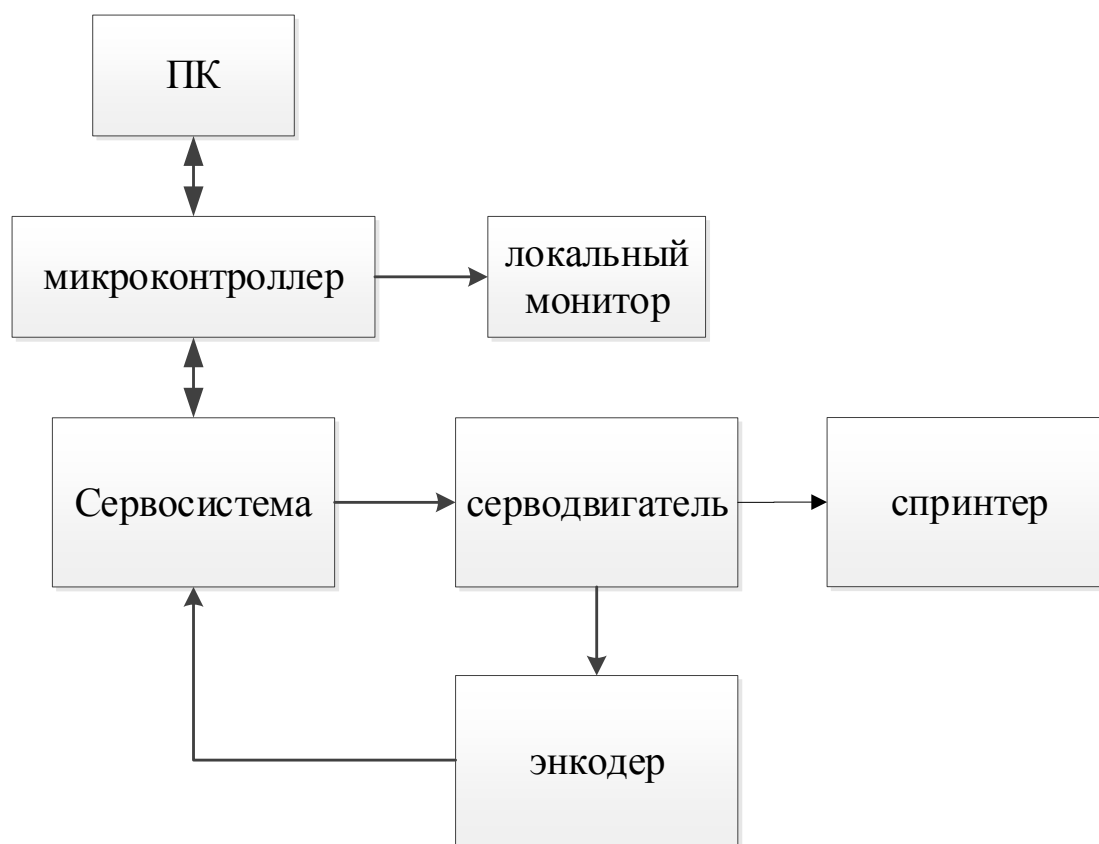


Рисунок 1.2 – Структурная схема системы управления

Система бегового тренажёра представляет собой установку, которая соединена с человеком специальным тросом. При беге трос, присоединённый к человеку, создаёт усилие (поддержка постоянного момента), которое тянет человека в направлении установки. В это время человек бежит в направлении усилия (в сторону установки).

Перв. примен.

Тренажёр может создавать как усилие в направлении бега (человек бежит в сторону установки), так и усилие, направленное в противоположную сторону (человек бежит в сторону от установки), создавая сопротивление при беге для того, чтобы при той же скорости прикладывать больше сил.

Справ. №

Другой конец троса, присоединённого к человеку, крепится на вал сервопривода. Сервопривод и энкодер на нём подключаются к модулю управления сервоприводом, настроенному на поддержание постоянного момента, который создаёт постоянный момент. Установка момента производится через аналоговый вход модуля управления. Значение величина, подаваемой на аналоговый вход будет задаваться микроконтроллером. Микроконтроллер, в свою очередь, будет связываться с дисплеем, на котором имеется графический интерфейс для ввода параметров работы установки и вывода информации о её работе.

Подпись и дата

Для вывода информации будет использовать дисплей, который соединён непосредственно с микроконтроллером. Такой вариант позволяет отслеживать состояние системы и управлять ею локально, без необходимости соединения с ПК. Дисплей оборудован тачскрином, что позволяет не только наблюдать за системой, но и управлять ею на месте.

Инв. № д/опл

Плата микроконтроллера обладает широкими возможностями и позволяет соединяться с ПК через USB. Эту и другие особенности можно использовать при дальнейшем развитии проекта, например в реализации соединения с ПК для хранения результатов, накопления их и составления статистики тренировок, сравнения статистики с прошлыми результатами или с результатами других тренирующихся.

Взам. инв. №

1.1 Внешний вид тренажёра

Подпись и дата

Физически тренажёр представляет собой обтянутый металлическим листом каркас пирамидальной формы, внутри которого расположены технические средства, осуществляющие его работу. На тренажёре имеется дисплей с touch-панелью для взаимодействия с пользователем. Трос, идущий

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

от бегуна, проматывается через подшипник наверху пирамиды и крепится на вал двигателя. Схема тренажёра представлена на рисунке 1.3, фото тренажёра на рисунке 1.4.

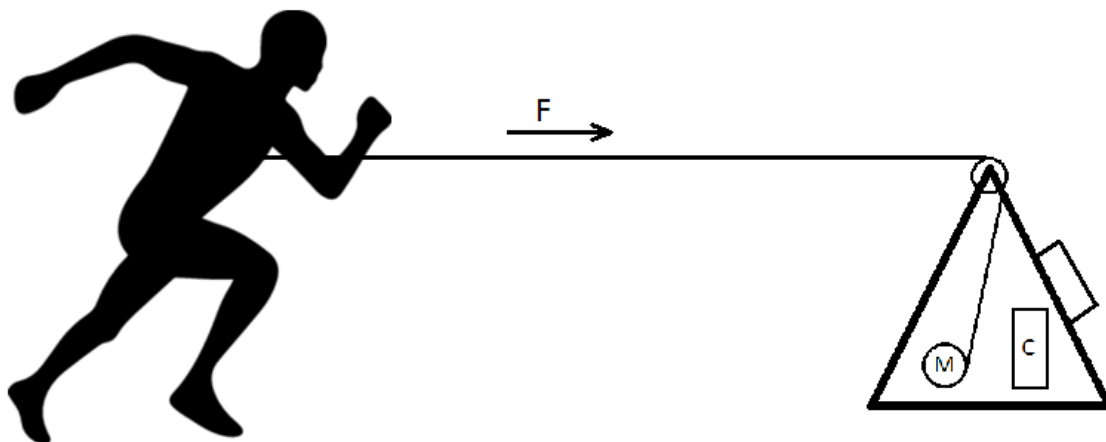


Рисунок 1.3 – Схема бегового тренажёра



Рисунок 1.4 – Внешний вид бегового тренажёра

2 Технические средства

2.1 Серводвигатель

В системе используется серводвигатель OMRON Sigma-II SGMAH-04AAA21, оборудованный инкрементальным энкодером, который подключается к сервосистеме.



Рисунок 2.1 – Общий вид двигателя SGMAH

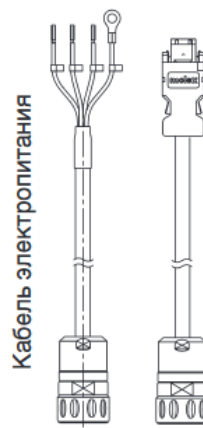
Sigma II – это серия серводвигателей для управления перемещениями. Данные двигатели автоматически распознаются совместимым сервоприводом. Двигатели оборудованы энкодером с высоким разрешением, имеют компактную и прочную конструкцию. Подключение серводвигателя к сервоприводу производится средствами, представленными на рисунке 2.2. Механическая характеристика (зависимость момент-скорость) двигателя представлена на рисунке 2.3. Размеры двигателя представлены на рисунках 2.4 – 2.6.

Модель кабеля для подключения электропитания:
R88A-CAWA003S-DE.

Модель кабеля для подключения энкодера: R88A-CRWB003N-E.



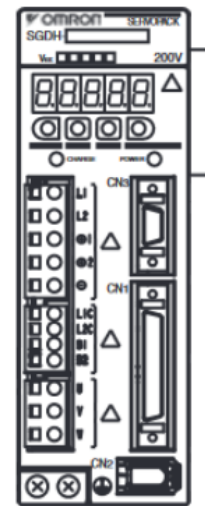
**Серводвигатель
SGMAN**



Кабель электропитания



Кабель для подключения энкодера



**Сервопривод
Sigma-II**

Рисунок 2.2 – Средства управления и подключения двигателя SGMAN

Номинальные параметры и технические характеристики:

- номинальная мощность: 400 Вт;
- номинальный крутящий момент: 1,27 Н · м;
- кратковременный пиковый крутящий момент: 3,82 Н · м;
- номинальный ток (ср. кв. зн.): 2,8 А;
- кратковременный максимальный ток(ср. кв. зн.): 8,5 А;
- номинальная скорость: 3000 мин⁻¹;
- максимальная скорость: 5000 мин⁻¹;
- моментный коэффициент (эффективность) (ср. кв. зн.): 0,498 Н · м / А;
- момент инерции ротора (JM): 0,173 кг · м² · 10⁻⁴;
- допустимый момент инерции нагрузки (JL), кратен значению JM: 20;
- номинальная скорость преобразования мощности (отношение квадрата момента к моменту инерции): 93,7 кВт/с;
- номинальное угловое ускорение: 73600 рад/с²;
- рекомендуемый энкодер: стандартный – инкрементный энкодер (13 разрядов; 2048 имп/об);
- момент инерции стопорного тормоза J: 0,058 кг · м² · 10⁻⁴.

Основные характеристики:

- режим работы: продолжительный;
- класс изоляции: класс В;
- температура окружающей среды: от 0 до +40 °С;
- влажность окружающей среды: от 20 до 80% (без конденсации);
- класс вибрации: не более 15 мкм;
- тип корпуса: полностью закрытый корпус, естественное охлаждение, IP 55 (за исключением отверстия для выхода вала);
- виброустойчивость: вибрационное ускорение 49 м/с²;
- монтаж: фланцевый монтаж.

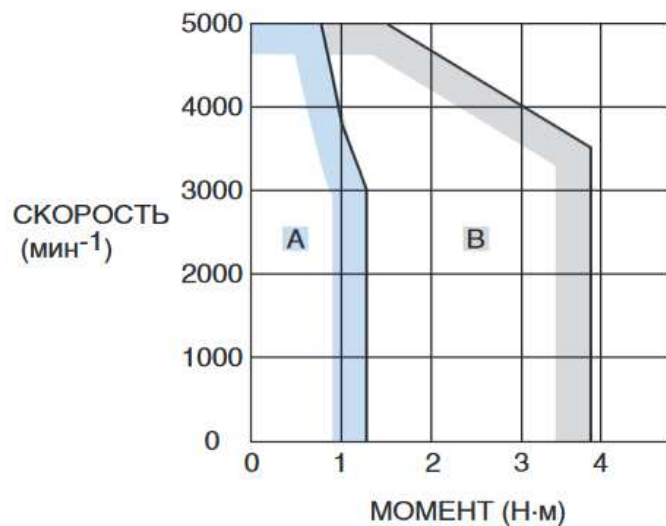


Рисунок 2.3 – Механическая характеристика двигателя SGMAN. А – номинальная, В – максимальная.

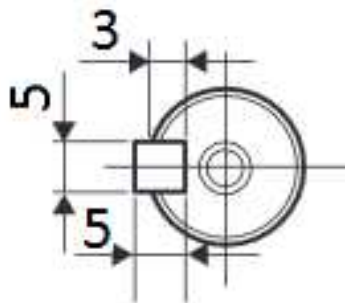


Рисунок 2.4 – Размеры вала двигателя SGMAN

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/оп.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

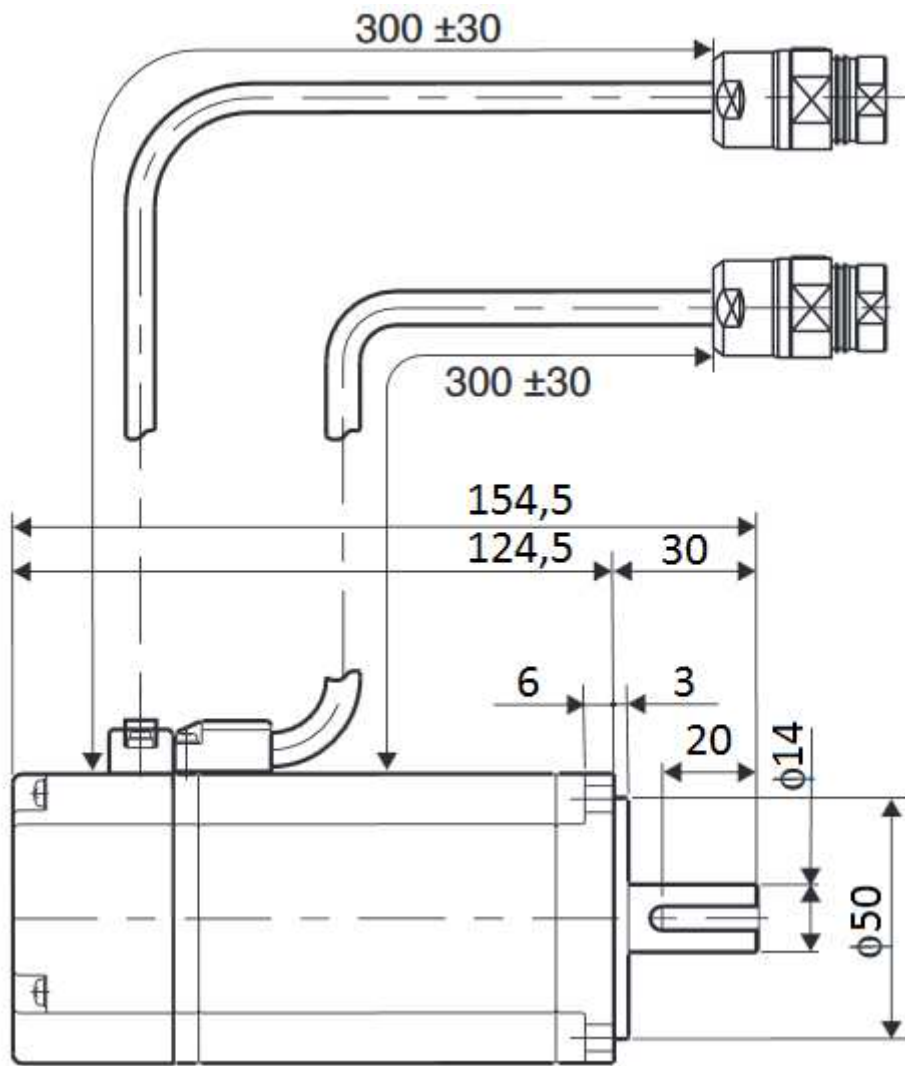


Рисунок 2.5 – Размеры двигателя SGMAN

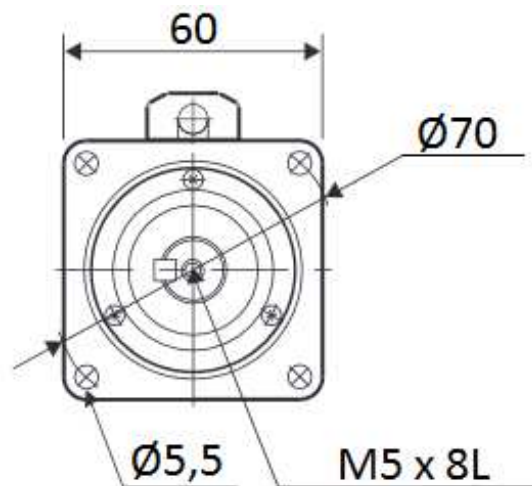


Рисунок 2.6 – Размеры двигателя SGMAN

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/оп

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

2.2 Сервосистема

Для взаимодействия с двигателем используется сервопривод YASKAWA SERVOPACK SGDM-04ADA-R.

Данное семейство сервоприводов предназначено для оптимального управления скоростью, положением и моментом серводвигателей. Реализованные на базе 32-разрядного RISC-процессора сервоприводы обеспечивают оптимальное регулирование и снабжены функцией автоматической подстройки. Эта функция в процессе работы непрерывно адаптирует параметры управления к изменяющимся условиям нагрузки. Выбранный серводвигатель совместим с сервоприводом и распознаётся им.



Рисунок 2.7 – Общий вид сервосистемы SGDM.

Как можно увидеть на рисунке 2.7 – все элементы управления сервоприводом находятся на его лицевой панели (рисунок 2.8). Сигнал управления моментом и сигналы энкодера будут устанавливаться/считываться через разъём CN1.

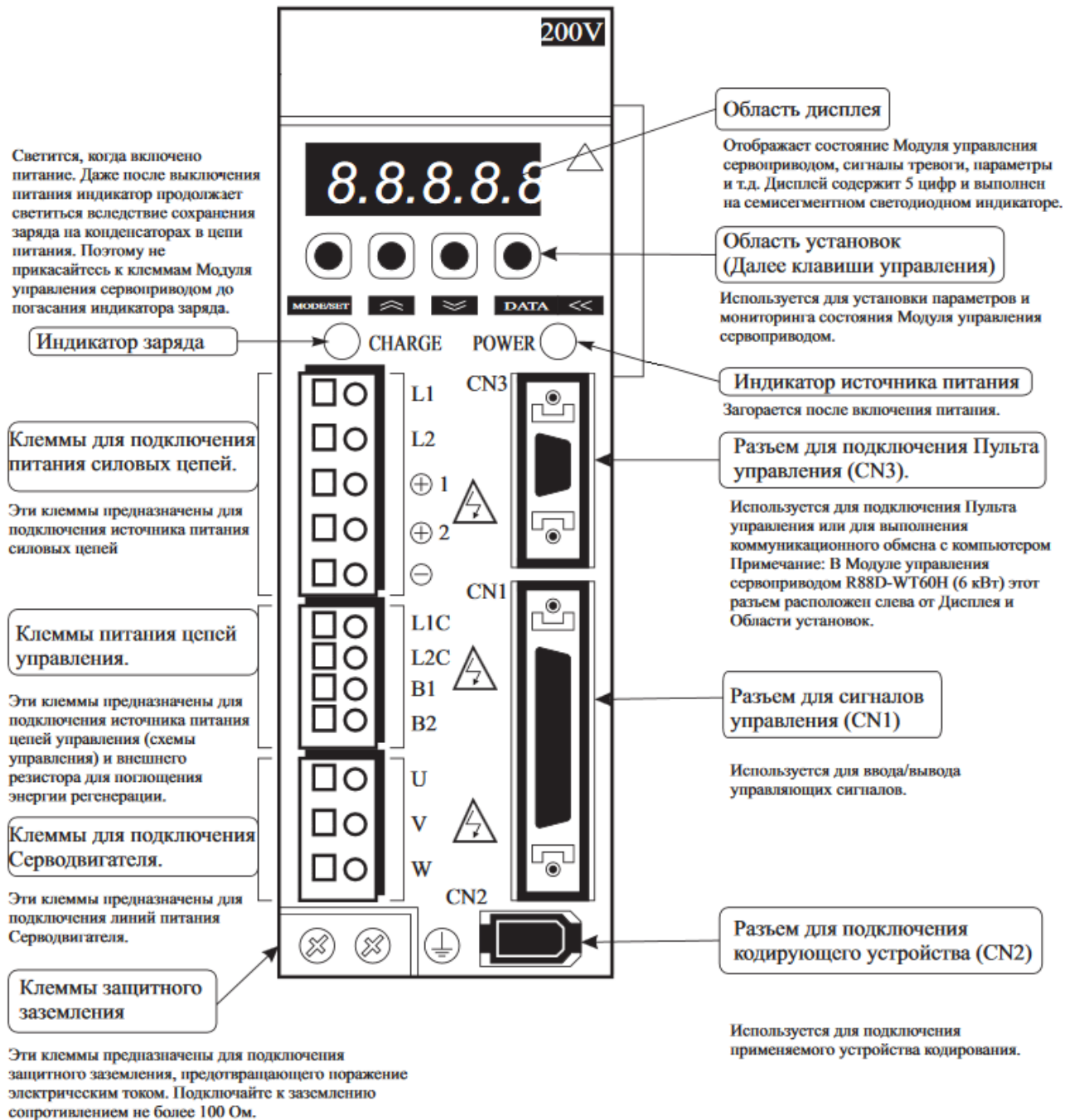


Рисунок 2.8 – Описание передней панели сервосистемы SGDM

На рисунке 2.8. представлен внешний вид передней панели сервопривода и описаны назначения её элементов. В таблице 2.1 приведено описание контактов клеммного блока передней панели. В таблице 2.2 описано назначение контактов разъёма CN1. В таблице 2.3 дано описание управляющих сигналов разъёма CN1, в таблице 2.4 – описание сигналов состояния.

Таблица 2.1 – Контакты клеммного блока

Сигнал	Наименование	Назначение
L1	Ввод напряжения силового питания	Однофазный источник переменного тока 220/230 В (187...253 В) 50/60Гц.
L2		
+	Выход напряжения постоянного тока (вращение в прямом направлении)	Не производите никаких соединений. Данная клемма предназначена только для R88D-WT60H.
+1	Клемма для подключения дросселя постоянного тока для погашения гармонических составляющих источника питания.	В обычном случае клеммы +1 и +2 замкнуты накоротко.
+2		Если требуются меры для подавления гармонических составляющих напряжения источника питания, подключите дроссель для цепей постоянного тока между клеммами +1 и +2. (Модуль R88D-WT60H таких клемм не содержит.)
-	Выход напряжения постоянного тока (вращение в обратном направлении)	Не производите никаких соединений.
L1C/24V	Вход напряжения питания цепей (схемы) управления.	R88D-WT□H (H): Однофазный источник переменного тока 200/230 В (170...253 В) 50/60Гц.
L2C/0V		R88D-WT□HL: Однофазный источник переменного тока 100/115 В (85... 127 В) 50/60Гц.
		R88D-WT□HF: Источник постоянного тока (20,4... 27,6 В).
B1	Клеммы для подключения внешнего поглощающего резистора	30... 400 Вт: В обычном случае к данным клеммам подключение не производится. Если энергия регенерации велика, подключите внешний поглощающий резистор между клеммами B1 и B2.
B2		450 Вт... 5 кВт: Закоротите клеммы B2 и B3. Если энергия регенерации велика, удалите перемычку между клеммами B2 и B3 и подключите внешний поглощающий резистор между клеммами B1 и B2.
B3		6... 15кВт: Подключите Блок внешнего поглощающего резистора между клеммами B1 и B2.
U	Клеммы для подключения Серводвигателя.	Клеммы предназначены для подключения Серводвигателя. Будьте внимательны при подключении этих клемм
V		
W		

***	Заземление каркаса.	Данная клемма является клеммой заземления. Подключайте к линии заземления сопротивлением не более 100 Ом (класс - 3).

В таблице 2.2 представлено описание всех контактов устройства, управляющего сервоприводом. В таблице 2.3 приведено описание их функций.

Таблица 2.2 – Назначение контактов

2	SENGND	Заземление ввода датчика ON	1	GND	Общее заземление
4	SEN	Ввод датчика ON	3	PCOM	Источник питания для команд на выводе с открытым коллектором.
6	AGND	Заземление для команды управления скоростью	5	REF	Ввод для команды управления скоростью
8	-PULS/ CW/-A	Импульс питания «-», импульс вращения в обратном направлении «-», фаза A «-»	7	+PULS/CW/ A	Импульс питания «+», импульс вращения в обратном направлении «+», фаза A «+»
10	AGND	Заземление для команды управления моментом	9	TREF	Ввод для команды управления моментом.
12	-SIGN/CCW/ -B	Импульс питания «-», импульс вращения в прямом направлении «-», фаза B «-»	11	+SIGN/CCW/ +B	Сигнал направления вращения «+», импульс вращения в прямом направлении «+», фаза B «+»
14	- ECRST	Сброс показаний счетчика отклонения «-»	13	PCOM	Источник питания для команд на выводе с открытым коллектором
16		(См. прим. 2)	15	+ ECRST	Сброс показаний счетчика отклонения «+»
18	PCOM	Источник питания для команды на выводе с открытым коллектором	17		(См. прим. 2)
20	-Z	Вывод сигнала фазы «-» Z кодирующего устройства	19	+Z	Вывод сигнала фазы «+»Z устройства кодирования
22	BATGND	Ввод «-» батареи резервного питания (см. примечание 3)	21	BAT	Ввод «+» батареи резервного питания (см. примечание 3)
24		(См. прим. 2)	23		(См. прим. 2)
			25	+INP	Сигнал I завершения позиционирования. (См. прим. 1.)
27	+TGON	Сигнал определения вращения серводвигателя (См. прим. 1).	26	INPCOM	Сигнал завершения позиционирования, заземление (См. прим. 1)
29	+READY	Вывод сигнала готовности серворегулирования (См. прим. 1)	28	TGONCOM	Сигнал определения вращения серводвигателя, заземление (См. прим. 1)
31	ALM	Вывод сигнала тревоги	30	READYCOM	Вывод сигнала готовности серворегулирования, заземление (См. прим. 1)
33	+A	Вывод сигнала фазы A «+» кодирующего устройства	32	ALMCOM	Общий контакт для вывода сигнала тревоги
35	-B	Вывод сигнала фазы B «-» кодирующего устройства	34	- A	Вывод сигнала фазы A «-» кодирующего устройства
37	ALO1	Вывод 1 кодированного сигнала тревоги.	36	+ B	Вывод сигнала фазы B «+» кодирующего устройства
39	ALO3	Вывод 3 кодированного сигнала тревоги	38	ALO2	Вывод 2 кодированного сигнала тревоги
41	MING/IPG/T VSEL/ RDIR	Ввод сигнала снижения коэффициента передачи. (См. примечание 1.)	40	RUN	Ввод команды запуска
43	NOT	Ввод сигнала запрещения движения в обратном направлении. (См. примечание 1.)	42	POT	Ввод сигнала запрещения движения в прямом направлении
45	PLC/SPDI	Ввод сигнала предельного тока при вращении в прямом направлении (См. прим. 1.)	44	RESET	Ввод сигнала сброса тревоги. (См. прим. 1.)
47	+24 VIN	Ввод для подключения источника питания цепей управления + 24 В	46	NCL	Ввод сигнала предельного тока при вращении в обратную сторону.
49	- ABS	Вывод сигнала кодирующего устройства	48	+ ABS	Вывод сигнала кодирующего устройства.
			50		(См. прим. 2.)

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дораб.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

MP – 15.03.06 ПЗ

Лист

29

Таблица 2.3 – Входы управления CN1

Контакт №	Сигнал	Назначение	Содержание	Режим управления (регу-лирования)
5	REF	Ввод для команд управле-ния скоростью	Входные клеммы для аналогового сигнала управления скоростью. $\pm 2... \pm 10$ В (Вращение серводвигателя в прямом направлении соответствует положительному напряжению). Масштаб изменяется посредством изменения установ-ки параметра пользователя Pn300 (масштаб команды управления скоростью). Может использоваться в качестве ввода сигнала предельной скорости при управлении моментом (путем изменения значения параметра Pn002.1).	Все режимы.
6	AGND	Заземление для команды управления скоростью		
9	TREF	Ввод для команд управле-ния моментом.	Входные клеммы для аналогового сигнала управления моментом. $\pm 1... \pm 10$ В (Момент серводвигателя в прямом направлении соответствует положительному напряжению). Масштаб изменяется посредством изменения установ-ки параметра пользователя Pn400 (масштаб команды управления моментом). Может использоваться в качестве ввода сигнала предельного момента или в качестве ввода сигнала при управлении скоростью с опережением или для управ-ления позиционированием (путем изменения значе-ния параметра Pn002.0).	Все режимы.
10	AGND	Заземление для команды управления моментом.		
3	PCOM	Источник питания для ком-анд, подаваемых через выводы с открытым коллектором.	Для обеспечения работы вывода с открытым коллек-тором и ввода командных импульсов, а также команд сброса счетчика отклонения подключайте вводы «+» к этим клеммам, а вводы «-» к клеммам вывода с откры-тым коллектором.	Все режимы.
13				
18				
7	+PULS/ CW/A	Импульс питания, им-пульс вращения в обрат-ном направлении или импульсный сигнал с раз-ностью фаз 90° (фаза A).	Входные клеммы для последовательности импульсов команды управления позиционированием. Линейный ввод 10 мА, 3 В. Максимальная частота им-пульсов: 500 000 имп./сек	Управление позициони-рованием.
8	- PULS/ CW/A			
11	+SIGN/C CW/B	Сигнал направления вра-щения, импульс вращения в прямом направлении или импульсный сигнал с разностью фаз 90° (фаза B).	Ввод сигнала с открытым коллектором: 7... 15 мА. Максимальная частота импульсов: 200 000 имп./сек ***	Управление позициони-рованием.
12	- SIGN/CC W/B		Посредством изменения установки параметра Pn200.0 можно выбрать один из режимов: импульсы питания или сигналы направления (PULS/SIGN); импульсы вращения в прямом или обратном направлении (CW/CCW); сигналы (A/B) с разностью фазы 90 (фазы A/B).	
14	- ECRST	Сброс показаний счетчи-ка отклонения.	Линейный ввод 10 мА, 3 В. Ввод с сигнала открытым коллектором, 25 мА, 5 В. ON: осуществляется сброс счетчика отклонения и за-прещается ввод импульсных команд.	Управление позициони-рованием.
15	+ ECRST			
4	SEN	Ввод датчика ON.	ON: Передается количество оборотов Абсолютного датчика углового перемещения и начальное количе-ство импульсов. Требуется при использовании Абсолютного датчика углового перемещения.	Все режимы (Абсолютный датчик углового перемещения).
2	SENGND			
21	BAT	Ввод «+» батареи резер-вного питания	Клеммы подключения резервной батареи для работы при отключении питания Абсолютного датчика угло-вого перемещения.	Все режимы (Абсолютный датчик углового перемещения).
22	BATGND	Ввод «-» батареи резер-вного питания		
47	+24VIN	Ввод для подключения источника питания цепей управления + 24 В.	Клеммы для подключения источника питания (+24 В) для последовательных входных сигналов (контакты 40... 46).	Все режимы.
40...46	RUN [40]	Ввод команды запуска (RUN).	ON: Запуск серверегулирования (подача питания на Серводвигатель).	Все режимы.
	MING [41]	Ввод команды уменьше-ния коэффициента пере-дачи.	ON: Переключает петлю управления скоростью в ре-жим P- регулирования и уменьшает коэффициент пере-дачи при управлении скоростью.	

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дораб.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

MP – 15.03.06 ПЗ

Продолжение таблицы 2.3 – Входы управления CN1

Контакт №	Сигнал	Назначение	Содержание	Режим управления (регу-лирования)
	POT [42]	Ввод запрещения движе-ния в прямом направле-нии.	Ввод команды запрещения движения за установлен-ный предел в прямом направлении. (OFF: запрещено; ON: разрешено).	Все режимы.
	NOT [43]	Ввод запрещения движе-ния в обратном направле-нии.	Ввод команды запрещения движения за установлен-ный предел в обратном направлении. (OFF: запреще-но; ON: разрешено).	Все режимы.
	RESET [44]	Ввод сброса тревоги.	ON: осуществляется сброс тревоги, вызванной нару-шением режима сервоуправления.	Все режимы.
	PCL [45]	Ввод предельного тока при вращении в прямом направлении.	ON: Выходной ток ограничивается значением, задан-ным в параметре Pn404 (предельный ток при враще-нии в прямом направлении).	Все режимы.
	NCL [46]	Ввод предельного тока при вращении в обратном направлении.	ON: Выходной ток ограничивается значением, задан-ным в параметре Pn405 (предельный ток при враще-нии в обратном направлении).	Все режимы.
	RDIR [41]	Вход направления враще-ния.	Указывает направление вращения Серводвигателя при внутренне заданной скорости. OFF: Вращение в прямом направлении, ON: Вращение в обратном направлении.	Внутренние установки управления скоростью.
	SPD1 [45]	Ввод команды 1 управле-ния скоростью.	Осуществляет выбор одной из внутренне задаваемых скоростей (Pn301, Pn302, Pn303).	Внутренние установки управления скоростью.
	SPD2 [46]	Ввод команды 1 управле-ния скоростью.		
	TVSEL [41]	Ввод переключения режи-ма управления	ON: Изменение режима регулирования.	Переключение режима управления.
	PLOCK [41]	Ввод команды блокирова-ния позиции (режима)	ON: Блокирование позиции входит в действие, если скорость вращения двигателя не превышает скорость, заданную в параметре Pn501.	Управление скоростью с блокированием в пози-ции.
	IPG [41]	Ввод запрещения импуль-сного управления	ON: Запрещает чтение командных импульсов и двига-тель останавливается.	Управление позиционн-рованием (с запретением чтения импульсов).
	GSEL	Ввод изменения коэффи-циента передачи	ON: Изменяет коэффициент передачи к коэффициенту передачи для скорости 2 (Pn104, Pn105, Pn106).	Внутренние установки управления скоростью.

Таблица 2.4 – Выводы состояния CN1

Контакт №	Сигнал	Назначение	Содержание	Режим управления
1	GND	Общее заземление	Заземление для выхода устройства кодирования, ко-дированного сигнала тревоги.	Все режимы.
33	A +	Вывод фазы +A устрой-ства кодирования.	Подает на выход импульсы кодирующего устрой-ства, деленные на коэффициент, заданный в пара-метре Pn-201.. Линейный выход (подчиняется требованиям к RS-422).	Все режимы.
34	A -	Вывод фазы -A устрой-ства кодирования.		
36	B -	Вывод фазы + B устрой-ства кодирования.		
35	B +	Вывод фазы - B устрой-ства кодирования.		
19	Z +	Вывод фазы + Z устрой-ства кодирования.	Подает на выход сигналы фазы Z кодирующего устройства (один импульс/оборот).	Все режимы.
20	Z -	Вывод фазы - Z устрой-ства кодирования.	Линейный выход (подчиняется требованиям к RS-422).	
48	+ABS	Выходной сигнал Абсолютного датчика углового перемещения (+)	Данные Абсолютного датчика углового перемеще-ния. Линейный выход (подчиняется требованиям к RS-422).	Все режимы.
49	-ABS	Выходной сигнал Абсолютного датчика углового перемещения (+)		

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дроб.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

MP – 15.03.06 ПЗ

Продолжение таблицы 2.4 – Выводы состояния CN1

Контакт №	Сигнал	Назначение	Содержание	Режим управления
37	ALO1	Вывод 1 кодированного сигнала тревоги.	При появлении сигнала тревоги для Модуля управления, содержание ошибки передается на выход в виде кодированного сигнала. Вывод с открытым коллектором: 30 В постоянного тока, максимум 20 мА.	Все режимы.
38	ALO2	Вывод 2 кодированного сигнала тревоги.		
39	ALO3	Вывод 3 кодированного сигнала тревоги.		
31	ALM	Вывод сигнала тревоги.	При появлении сигнала тревоги для Модуля управления сервоприводом, вывод переводится в состояние «OFF». Вывод с открытым коллектором 50 мА, 30 В постоянного тока максимум.	Все режимы.
32	ALMCOM			
25...30	INP1 [25] INPCOM [26]	Вывод сигнала завершения позиционирования 1.	Вывод переводится в состояние ON, когда ошибка отклонения от заданного значения становится равной или меньше уровня завершения позиционирования, заданного в параметре Pn-500 OFF- когда режимом регулирования является режим, отличающийся от режима управления позиционированием..	Управление позиционированием.
	INP2 INPCOM	Вывод сигнала завершения позиционирования 2.		
	VCMP [25] VCMPCOM	Вывод сигнала соответствия скорости	Когда ошибка скорости вращения находится в пределах заданного диапазона соответствия скорости (Pn-503), вывод переводится в состояние «ON». OFF- когда режимом регулирования является режим, отличающийся от режима управления скоростью.	Регулирование скорости.
	TGON TGONCOM	Выходной сигнал определения вращения серводвигателя.	Вывод переводится в состояние «ON», если скорость вращения серводвигателя превышает значение, заданное в параметре (Pn-502).	Все режимы.
	READY READYCOM	Выходной сигнал готовности серворегулирования.	Вывод переводится в состояние «ON», когда после включения силового питания ошибка не обнаруживается.	Все режимы.
	CLIMT CLIMTCOM	Сигнал определения заданного предела потребляемого тока.	Вывод переводится в состояние «ON», когда выходной ток ограничивается.	Все режимы.
	VLIMIT VLIMITCOM	Сигнал определения заданного предела скорости.	Вывод переводится в состояние «ON», когда достигается предельная скорость. OFF- когда режимом регулирования является режим, отличающийся от режима управления моментом.	Управление моментом.
	BKIR BKIRCOM	Вывод сигнала блокировки тормоза.	Выводит сигналы блокировки и тормоза согласно уставкам параметра Pn506, Pn507, и Pn508.	Все режимы.
	WARN WARNCOM	Вывод сигнала предупреждения о перегрузке.	Переходит в состояние «OFF», когда определяется уровень подачи предупреждения о перегрузке.	Все режимы.
Оплетка	FG	Заземление каркаса.	Клемма для заземления оплетки кабеля и для проводника заземления каркаса.	Все режимы.

На рисунке 2.9 представлена общая схема подключения к контактам сервосистемы. В нашем случае, помимо подключения питания и серводвигателя, необходимо подключиться к контактам задания момента (9,10) и к контактам на которые выводятся сигналы с энкодера (19, 20, 33-36). Схема сигналов сервосистемы, используемых в проекте, представлена на рисунке 2.10.

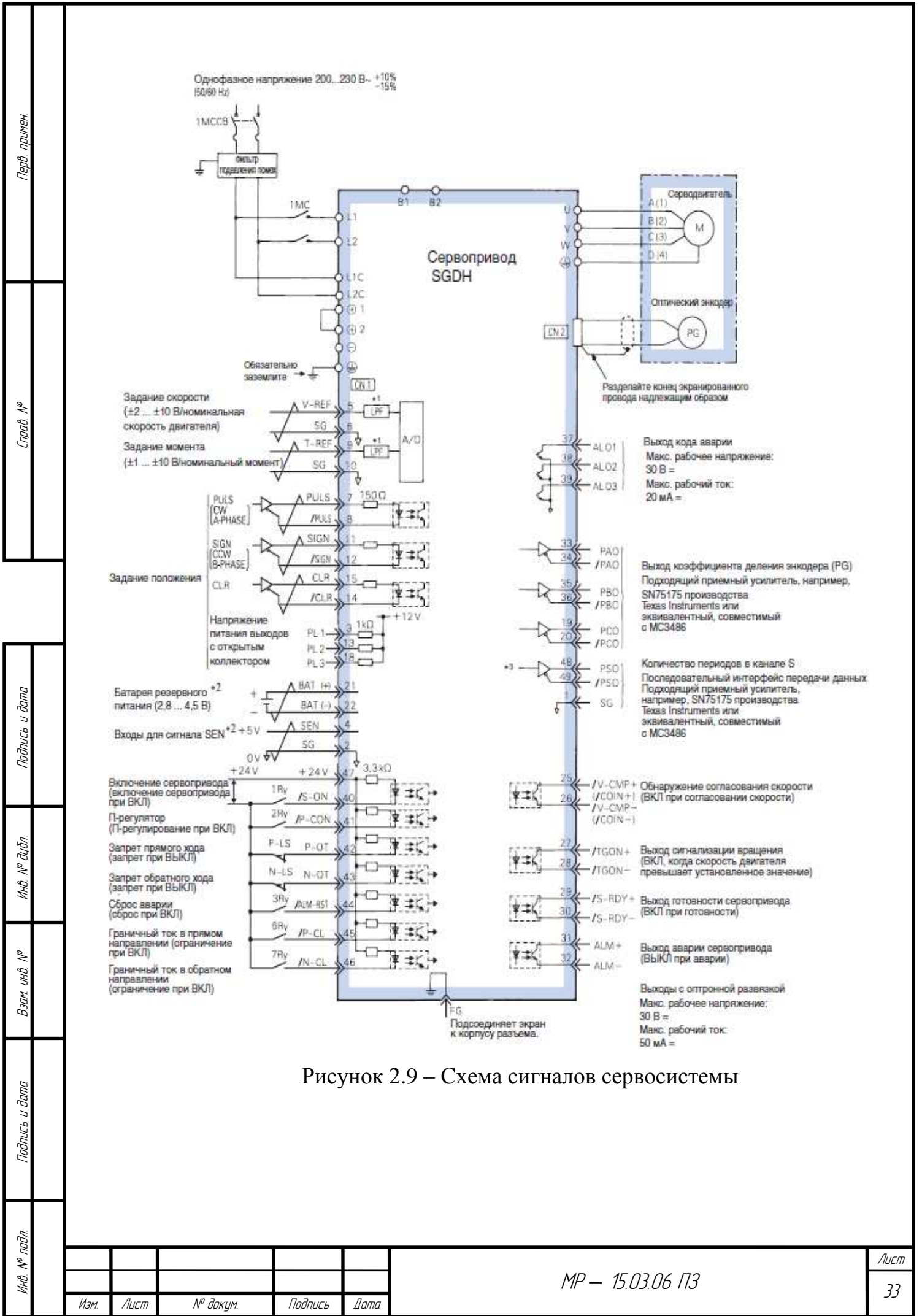


Рисунок 2.9 – Схема сигналов сервосистемы

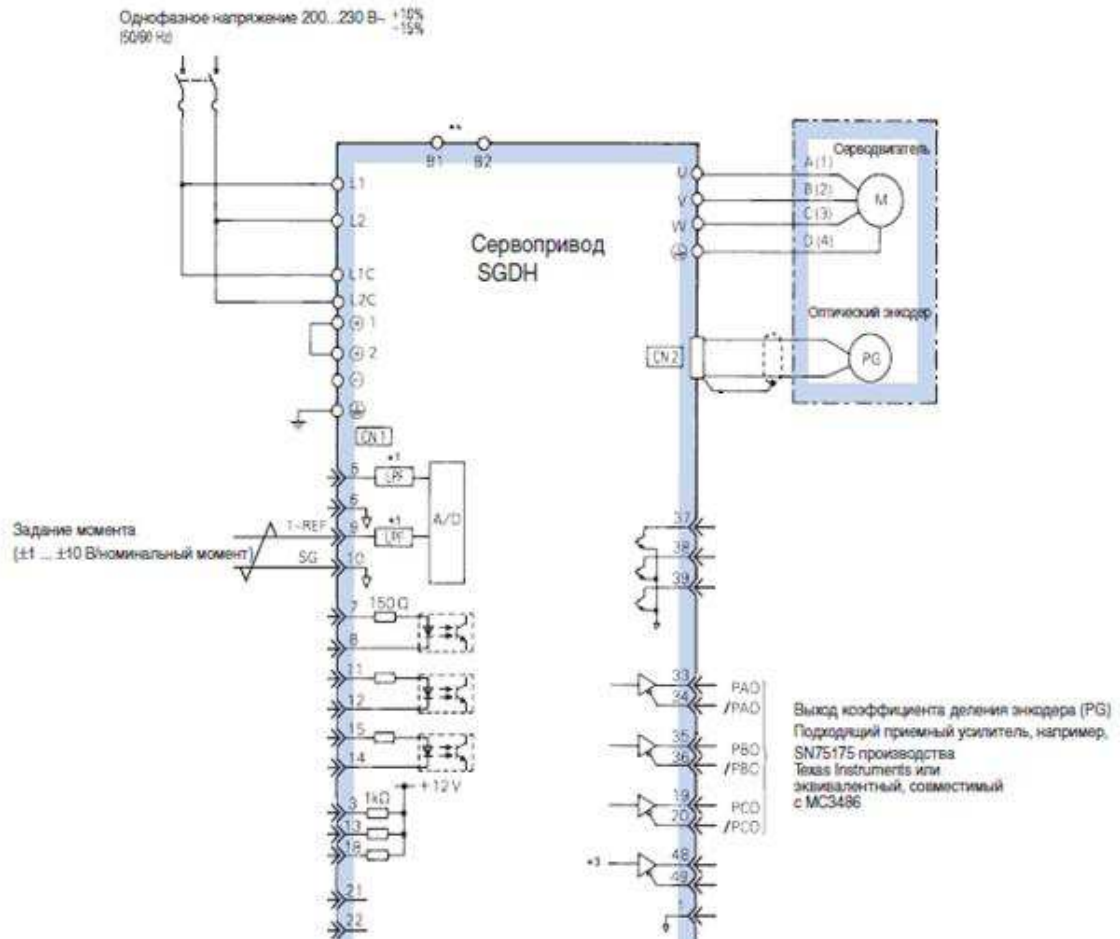


Рисунок 2.10 – Схема подключения используемых сигналов сервосистемы SGDM

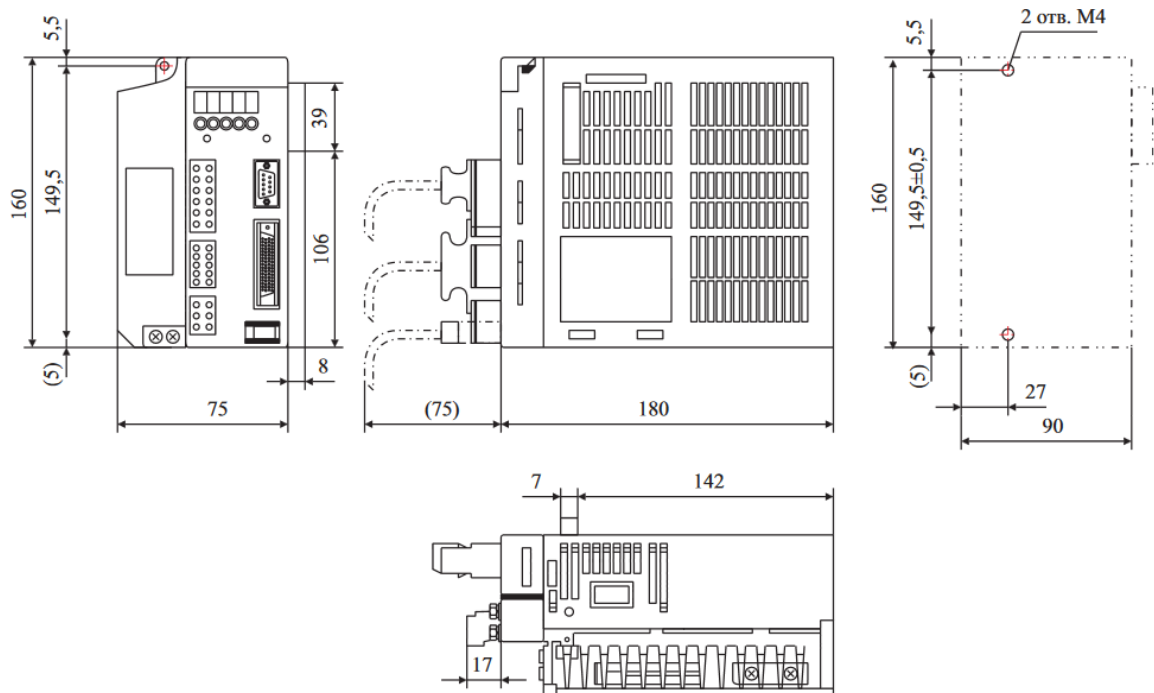


Рисунок 2.11 – Размеры сервосистемы SGDM

2.2.1 Управление моментом

Сервопривод выполняет регулирование момента вращения серводвигателя используя аналоговый входной сигнал в качестве команды управления моментом. Задание момента осуществляется подачей на аналоговый вход напряжения, соответствующего желаемому крутящему моменту. Имеется возможность изменять соотношение между командой управления моментом и моментом вращения путём задания масштаба для команды управления моментом (рисунок 2.12).

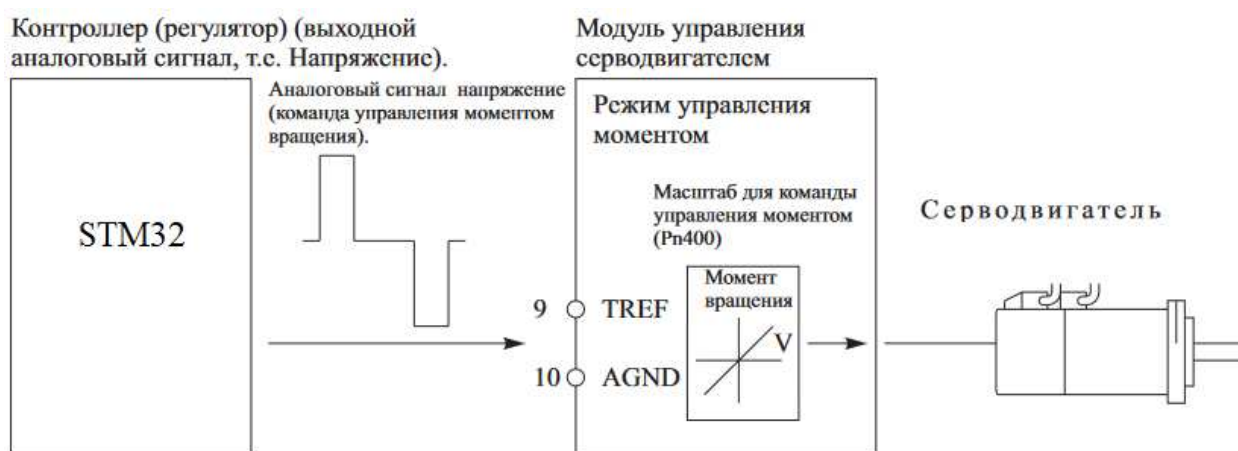


Рисунок 2.12 – Схема задания момента вращения серводвигателя внешним управляющим сигналом

Для настройки управления моментом следует выполнить установку следующих параметров:

Pn000 – выбор режима управления. Для аналогового задания управления моментом необходимо, чтобы значение второго разряда данного параметра было равно 2 ($Pn000.2 = 2$ или $Pn000 = n.\square\square2$).

Pn400 – масштаб для команды управления моментом. Задаёт напряжение для работы при номинальном моменте вращения на входе команды управления моментом (рисунок 2.13).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

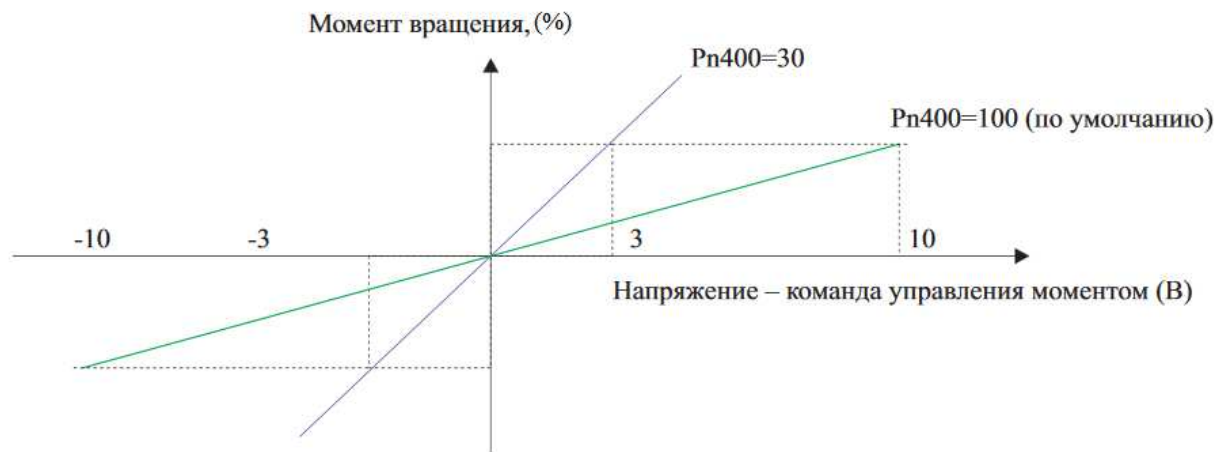


Рисунок 2.13 – График отношения между крутящим моментом и напряжением его задания

Также имеются связанные функции, относящиеся к управлению скоростью, которые могут использоваться в процессе выполнения управления моментом вращения.

В режиме управления моментом серводвигателя его скорость не контролируется. Соответственно, когда задаётся избыточный для механической нагрузки крутящий момент, он будет преобладать над силой нагрузки и скорость серводвигателя значительно возрастет. Для избежания этого в сервоприводе имеется функция ограничения скорости во время управления крутящим моментом (рисунок 2.14). Параметр – Pn407. Им задаётся максимальная скорость вращения, измеряемая в мин^{-1} .

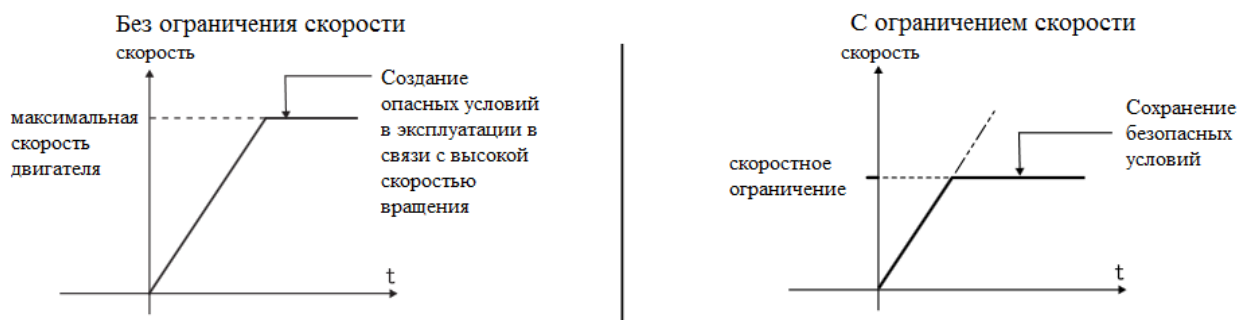


Рисунок 2.14 – Ограничение скорости вращения при управлении по моменту

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

2.3 Микроконтроллер

Для генерирования сигналов управления сервосистемой и обработки сигналов её состояния будет использоваться микроконтроллер STM32F746NGH6.

Данные контроллеры представляют собой мощное решение для создания сложного проекта. Главные преимущества STM32 — это богатый набор функционала при достаточно низкой цене. На данный момент из доступных контроллеров является серия F7 с максимальной тактовой частотой 200 МГц. Количество поддерживаемых интерфейсов намного превышает любую Atmega за такую же цену. Именно поэтому данные контроллеры все больше находят свое применение в производстве. Благодаря большому количеству периферии и интересам, любой проект можно легко модифицировать, расширить без каких-либо проблем.

Одним из способов упростить процесс создания нового проекта на базе микроконтроллера как по уровню сложности, так и по затраченному времени, является использование отладочных плат, поэтому контроллер используется в версии с отладочной платой STM32F746G-DISCOVERY (рисунок 2.15, 2.16) в которой имеется большой набор периферии. Главной её особенностью является LCD дисплей с Touch-панелью.

Также на плате присутствуют Arduino Uno V3 разъемы, что позволяет легко подключить платы расширения (так называемые шилды) или дочерние платы для конкретных приложений разработчика от платформы Arduino. Интегрированный в плату ST-LINK/V2-1 предоставляет встроенный в схему отладчик и программатор для STM32.

Данная плата поставляется с библиотеками HAL и набором пакетов ПО для примера. Она поддерживает несколько сред программирования: Keil MDK-ARM, IAR EWARM, GCC-based IDEs, ARM mbed Enabled online.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

37

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

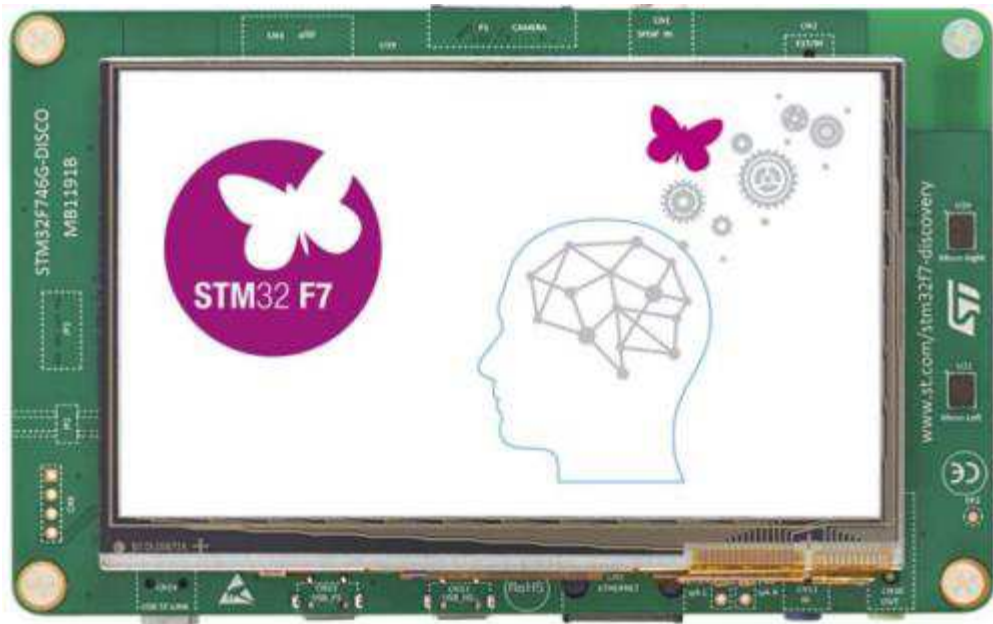


Рисунок 2.15 – Верхняя сторона платы STM32F746G-DISCOVERY

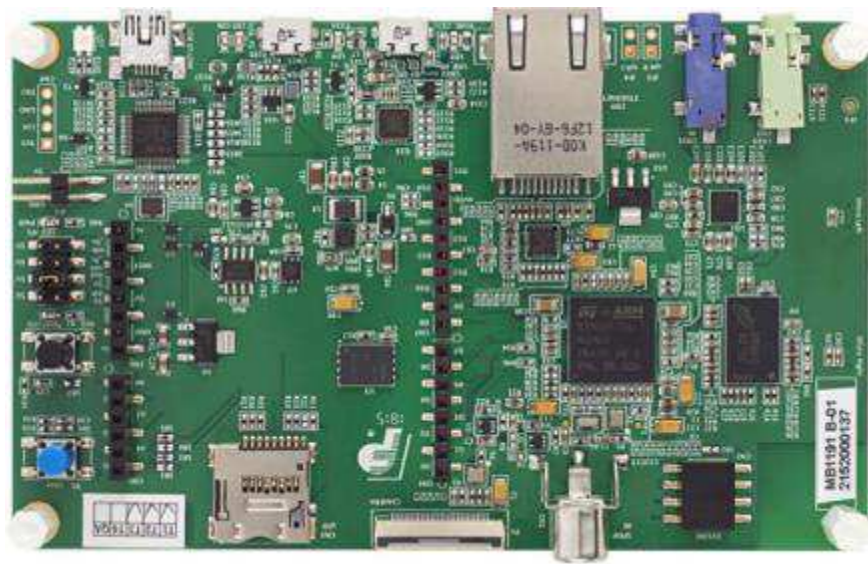


Рисунок 2.16 – Нижняя сторона платы STM32F746G-DISCOVERY

Особенности платы STM32F746G-DISCOVERY:

- микроконтроллер STM32F746NGH6, включающий в себя 1 МБ Flash памяти и 340 КБ RAM памяти;
- встроенный ST-LINK/V2-1;
- поддержка mbed.org;
- USB порт может быть настроен как виртуальный COM-порт, устройство хранения и отладочный порт;

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

- 4,3” TFT-LCD дисплей, разрешение 480x272, емкостная сенсорная панель;
- разъем для подключения камеры;
- SAI аудио кодек;
- 3,5 мм разъем Line In и Line Out;
- стереовыход на наушники;
- два MEMS микрофона;
- SPDIF RCA вход;
- две кнопки;
- 128 Мбит Quad-SPI Flash память;
- 128 Мбит SDRAM (доступно 64 Мбит);
- слот для MicroSD карты;
- разъем для подключения дочерней платы RF-EEPROM;
- USB OTG HS с разъемом Micro-AB;
- USB OTG FS с разъемом Micro-AB;
- разъем Ethernet, совместимый с IEEE-802.3-2002;
- пять способов питания платы:
 - через встроенный ST-LINK/ V2-1;
 - через USB FS разъем;
 - через USB HS разъем;
 - питание через аудиоразъем;
 - подключение внешнего источника питания к разъему 5V;
- возможность питать внешние устройства напряжением 3,3 В и 5 В;
- разъем для подключения шилдов Arduino UNO V3;
- комплексное бесплатное программное обеспечение с набором примеров, являющееся частью STM32Cube;
- поддержка основных сред разработки.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

39

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

На рисунке 2.17 изображена блок-схема, которая иллюстрирует соединение между микроконтроллером и подключенной к нему периферией отладочной платы.

На рисунке 2.18 изображена периферия МК STM32F746NGH6, использующегося в рекомендованной производителем отладочной плате для быстрого старта STM32F746G-DISCOVERY.

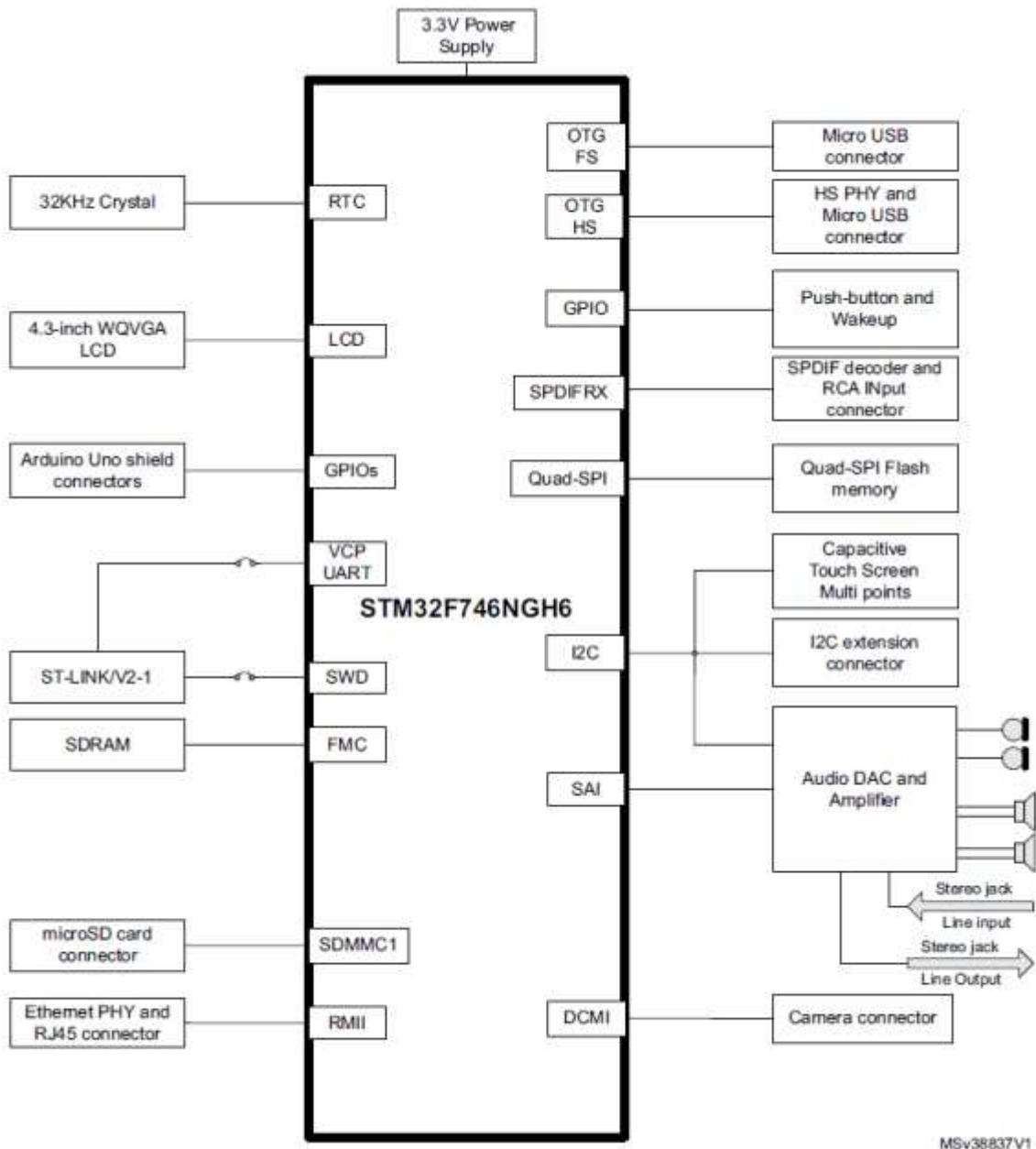


Рисунок 2.17 – Блок-схема периферии STM32F746G-DISCOVERY

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

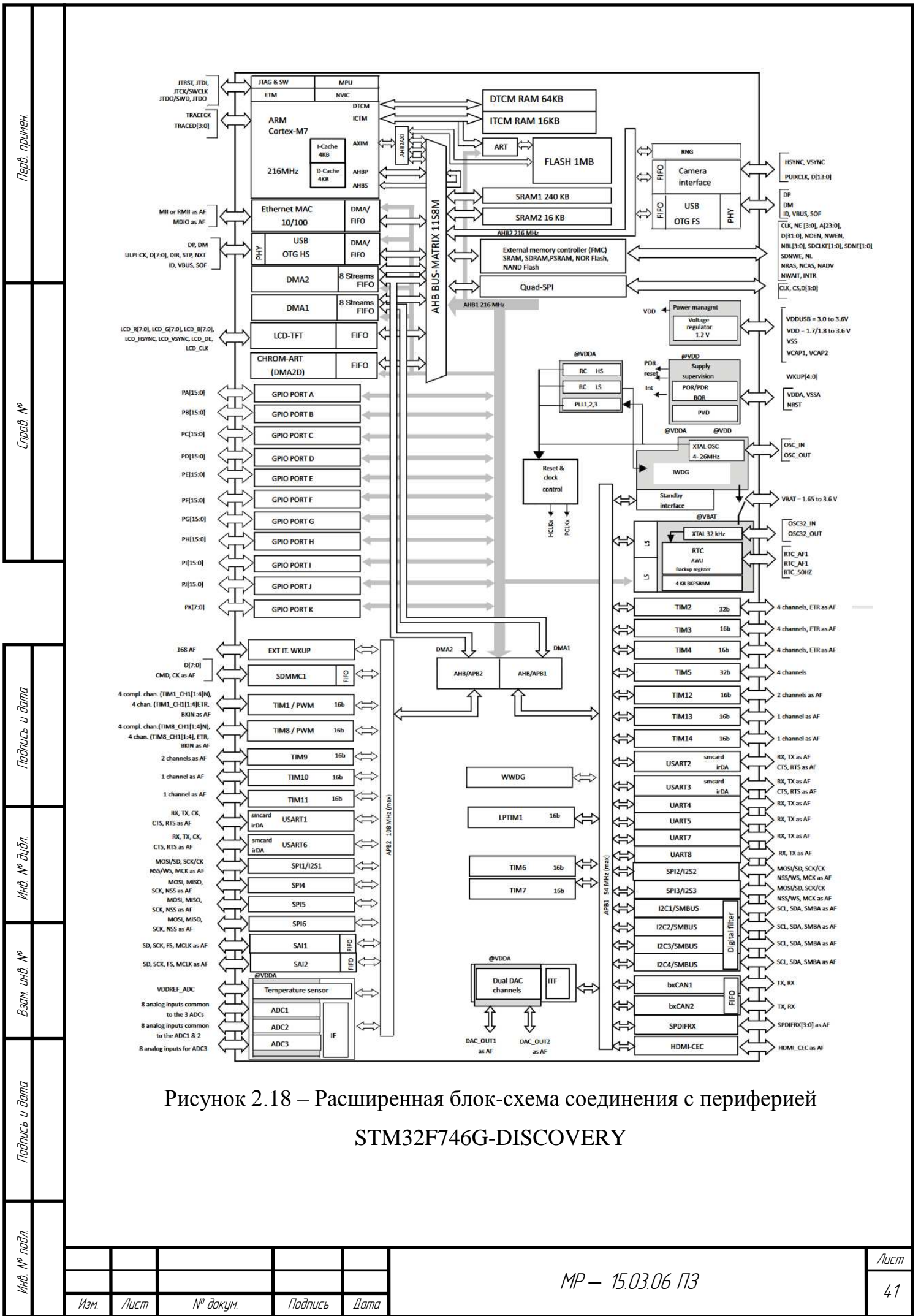


Рисунок 2.18 – Расширенная блок-схема соединения с периферией
STM32F746G-DISCOVERY

контроллера будем генерировать сигнал от 0 до 2 В, а затем увеличивать его в 5 раз с помощью схемы на операционном усилителе (рисунок 2.21).

Для реализации схемы на рисунке 2.21 используем операционный усилитель rail-to-rail LM124 (рисунок 2.20). Его характеристики удовлетворяют необходимым условиям.

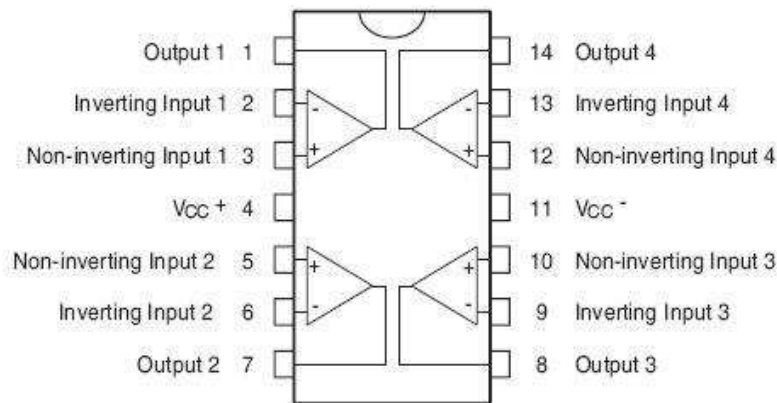
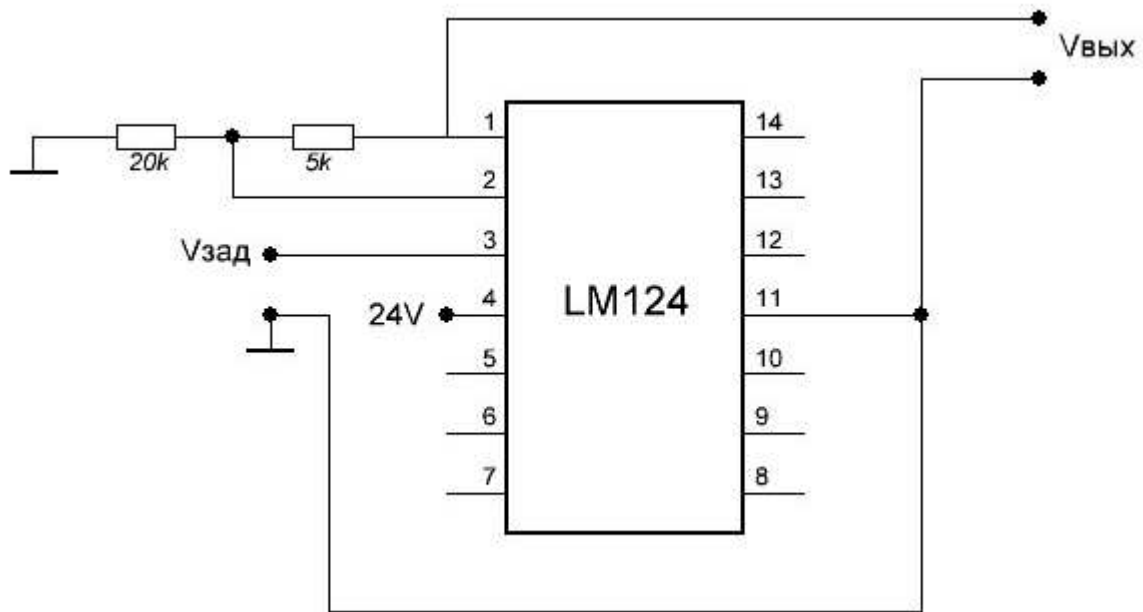


Рисунок 2.20 – Распиновка микросхемы LM124

Основные параметры LM124:

- каналов: 4 шт.;
- V_{OS} (тип.): 5 мВ;
- I_{BIAS} (тип.): 150 нА;
- полоса пропускания (тип.): 1 МГц;
- slew rate (тип.): 0,4 В/мкс;
- CMRR: 80 дБ;
- gain: 110 дБ;
- shutdown: нет;
- V_{CC} : от 3 до 30 В;
- I_{CC} на канал (макс.): 3 мА;
- T_A : от -55 до 125 °С;
- корпус: PDIP 14.



Vзад – напряжение с ЦАП контроллера. Vвых – напряжение подаваемое на сервосистему, 24V – напряжение с БП, установленного на стенде (может быть в диапазоне 10-30 В)

Рисунок 2.21 – Схема подключения операционного усилителя LM124 к контроллеру и сервосистеме

2.4.3 Преобразователь дифференциальных сигналов

Имеющийся выход сигналов энкодера имеет дополнительные дифференциальные сигналы ("/A", "/B", "/Z") - инвертированные сигналы A, B и Z (рисунок 2.22). Для преобразования каждой пары сигналов в один понадобится специальная микросхема – преобразователь дифференциальных квадратурных сигналов интерфейса RS-422. Она сможет сравнивать данные соответствующих каналов ("A" должен соответствовать инвертированному "/A"), для устранения ошибок передачи и помех. В качестве такой микросхемы используем SN75175. Описание контактов микросхемы представлено на рисунке 2.23, логическая схема работы изображена на рисунке 2.24. Схема подключения к контроллеру и сервоприводу показана на рисунке 2.25.

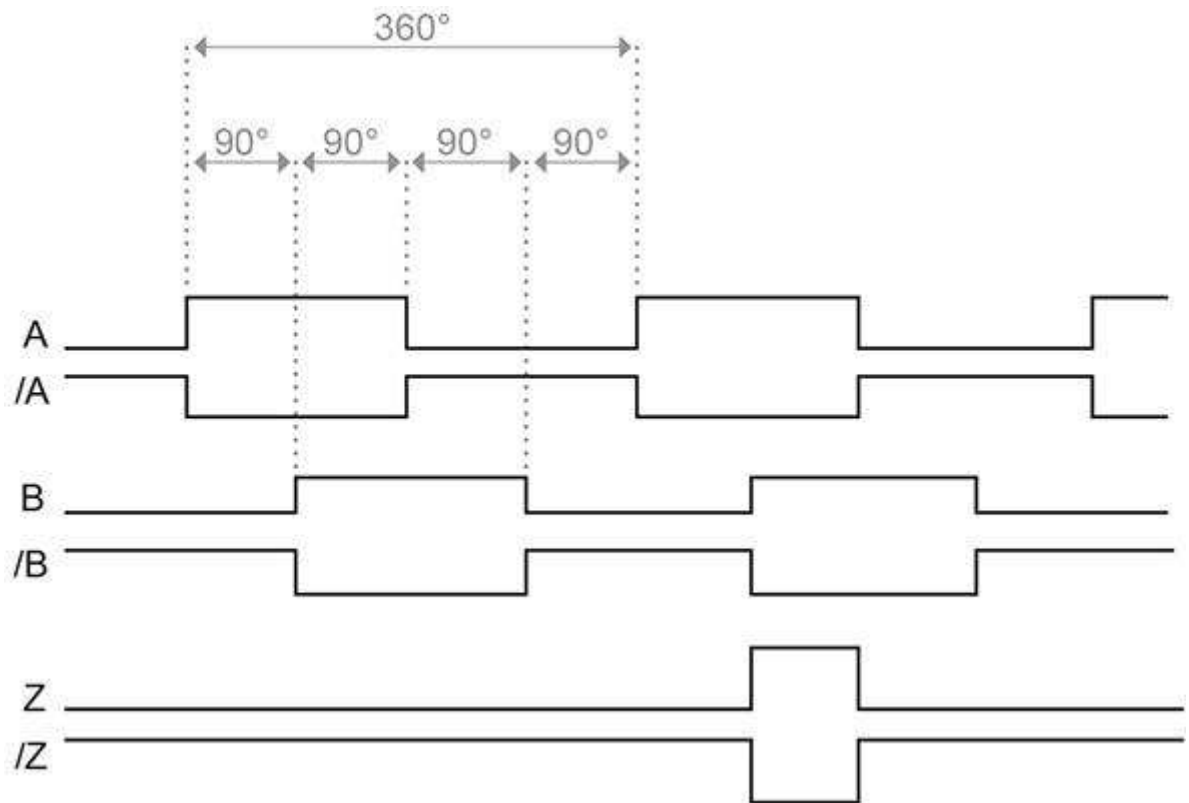


Рисунок 2.22 – Типичная диаграмма импульсов энкодера.

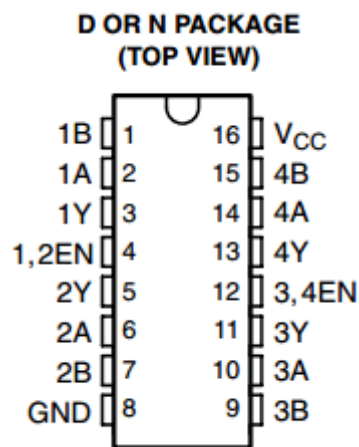


Рисунок 2.23 – Распиновка микросхемы SN75175

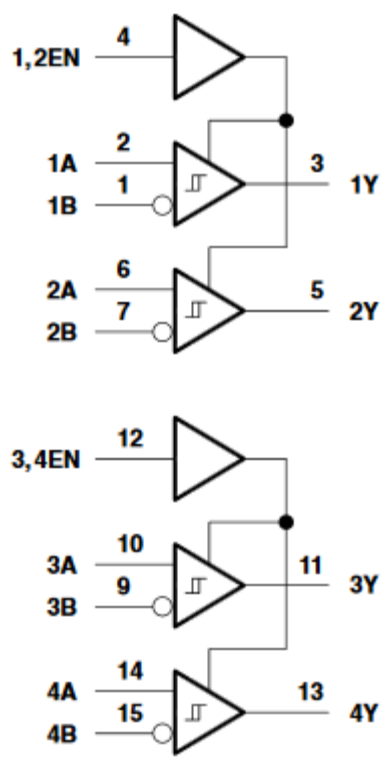
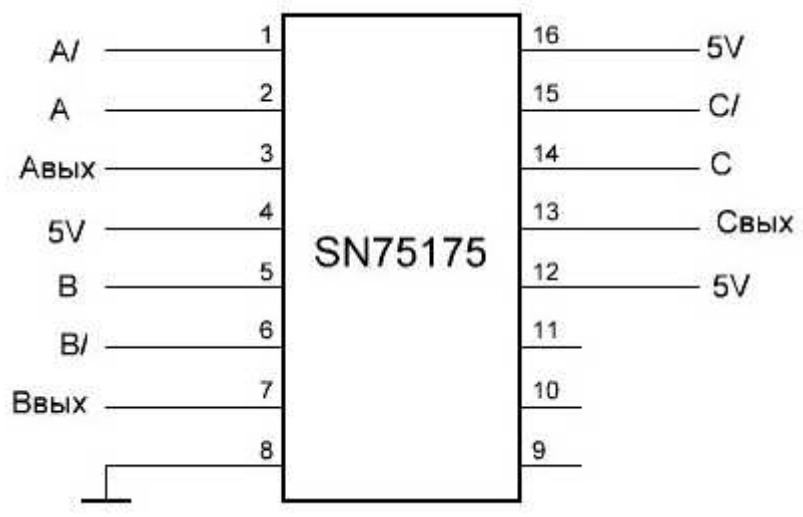


Рисунок 2.24 – Диаграмма работы микросхемы SN75175



Обозначения с индексом «вых» - сигналы входящие в контроллер, без него – выходящие из сервосистемы. 5V – напряжение с импульсного преобразователя, установленного на стенде.

Рисунок 2.25 – Схема подключения преобразователя сигналов SN75175 к контроллеру и сервосистеме.

	Перв. примен.		
	Справ. №		
	Подпись и дата		
	Инв. № д/оп		
	Взам. инв. №		
	Подпись и дата		
	Инв. № подл.		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
			Дата
MP – 15.03.06 ПЗ			Лист 46

2.4.4 Источник постоянного напряжения

Источником постоянного напряжения является блок питания Siemens PS 307 2 A (рисунок 2.26).

Характеристики:

- выходной ток 2 А;
- выходное напряжение 24 В постоянного тока;
- защита от короткого замыкания и обрыва цепи;
- подключение к однофазной системе переменного тока (входное напряжение 120/230 В переменного тока, 50/60 Гц);
- надежная гальваническая развязка в соответствии с EN 60 950;
- может быть использован как источник питания нагрузки.



Рисунок 2.26 – Внешний вид Siemens PS 307

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

47

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

2.4.5 Понижающий преобразователь постоянного напряжения

Для питания использующихся микросхем, а также контроллера используется преобразователь постоянного напряжения на основе чипа LM2596 (рисунок 2.27). Он преобразует напряжения от источника питания 24 В в 5 В.

Основные характеристики:

- входное напряжение: 3-38 В;
- выходное напряжение: 1.5-35 В (настраивается);
- максимальный ток: 2 А;
- максимальная мощность: 20 Вт;
- КПД: до 96%;
- размер: 60 x 25 x 15 мм;
- вольтметр на красных семисегментных LED индикаторах.
- вольтметр измеряет как входное, так и выходное напряжение (переключение кнопкой).
- входное напряжение должно превышать выходное минимум на 3 В.



Рисунок 2.27 – Внешний вид преобразователя постоянного напряжения

2.5 Схема соединения узлов системы

Суммируя предоставленную информацию о устройствах, составим схему их подключения друг к другу (рисунок 2.28).

К сервосистеме подключается серводвигатель и энкодер имеющийся на нём. Также подключается источник переменного и постоянного напряжения. Используемые сигналы разъёма CN1 подключаются к плате согласования сигналов. Плата согласования сигналов подключается к контроллеру STM32. Контроллер подключается к дисплею с touch-панелью.

Все подключения производятся в соответствии со схемой.

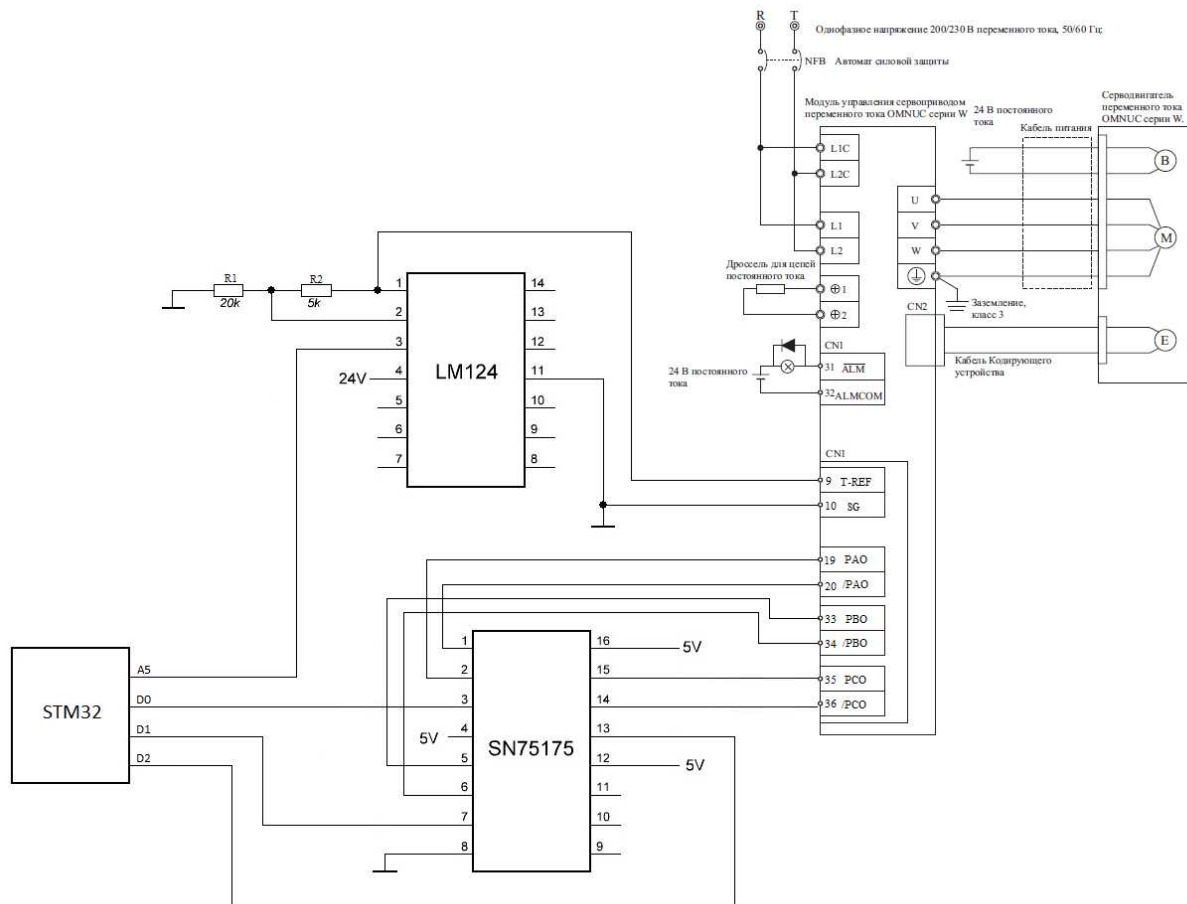


Рисунок 2.28 – Принципиальная схема бегового тренажёра

3 Результат работы модели сервопривода в MATLAB

Модель сервопривода в среде MATLAB Simulink (рисунок 3.1) демонстрирует поддержание заданного крутящего момента в синхронной машине.

В модели демонстрируется управление моментом вращения двигателя. В качестве нагрузки используется идеальный источник момента. Система контроля основана на ПИ-регуляторе, который обеспечивает момент соответствующий заданию.

В моделировании задаётся ступень крутящего момента. Система визуализации позволяет наблюдать результаты моделирования.

На графике результатов (рисунки 3.2, 3.3) представлены значения задания момента. Был проведен эксперимент на модели сервопривода настроенного на поддержание момента. Получены оцененные и измеренные значения крутящего момента в моменты времени. Полученные значения соответствуют заданию.

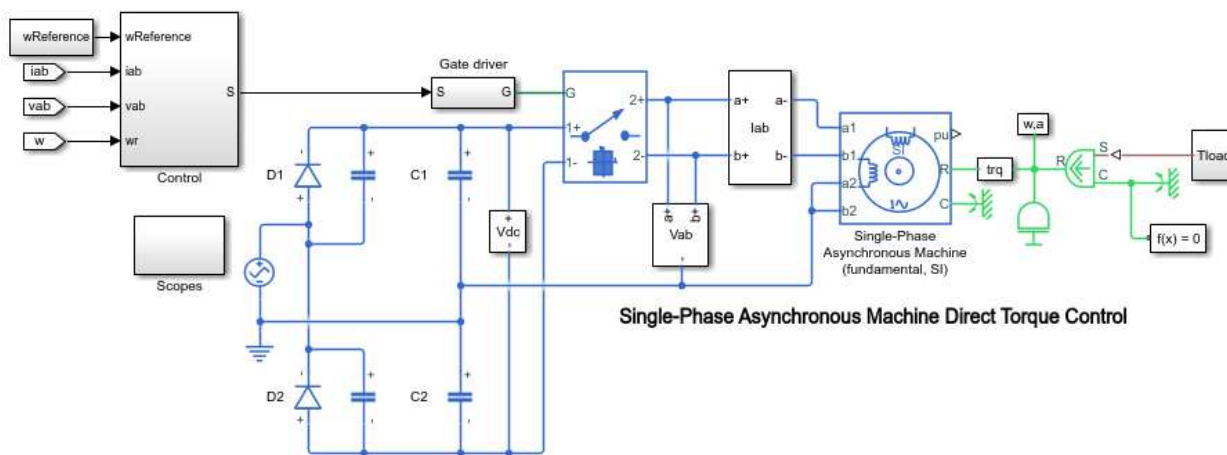


Рисунок 3.1 – Схема модели сервопривода в Simulink.

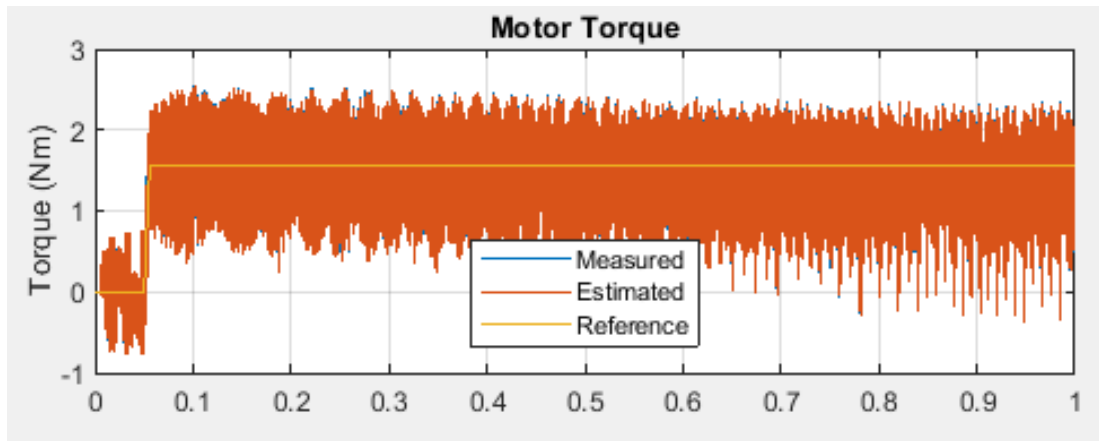


Рисунок 3.2 – График изменения момента во времени.

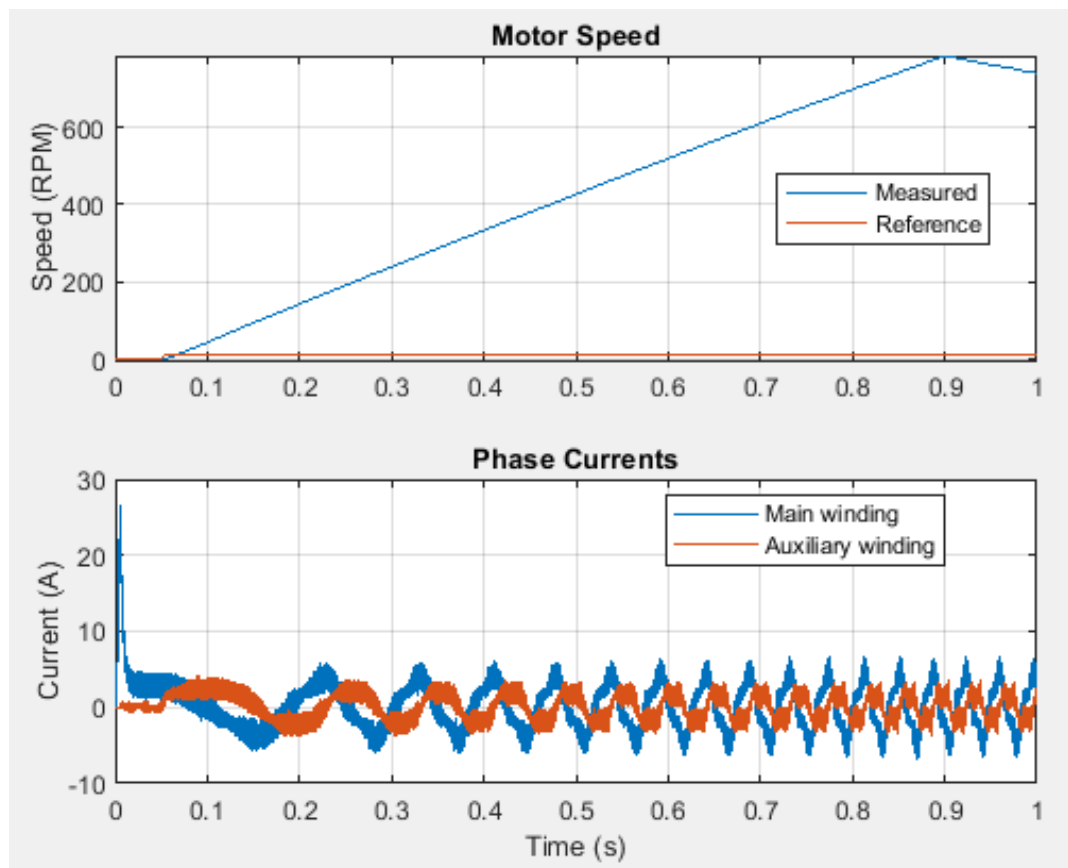


Рисунок 3.3 – График изменения скорости и токов во времени.

4 Разработка программы для взаимодействия с пользователем

Для контроллера STM32 была написана обработки и генерации сигналов состояния и управления системой была написана программа на языке C в среде Keil uVision5.

4.1 Библиотека HAL

При написании программы для контроллера использовалась библиотека HAL.

Драйверы уровня HAL представляют собой комплект универсальных, многофункциональных, и одновременно простых интерфейсов API, предназначенных для взаимодействия МК с верхним слоем ПО (основной программой, библиотеками и стеками). Драйверы могут иметь как общий, так и расширенный API. Общие API, которые обеспечивают общие, для всех серий STM32, функции. Расширенные API, которые содержат специфические или индивидуальные функции для данного семейства или его части.

HAL разработан для применения такой архитектуры программирования, когда необходимые функции выполняются верхним слоем приложения, за счет применения промежуточного уровня HAL. При такой архитектуре программирования верхний уровень приложения не "привязан" к микроконтроллеру (МК), т.к. обращается к ресурсам МК только через библиотеку драйверов HAL. Такая структура пользовательского приложения улучшает повторное использование кода, и гарантирует его легкую переносимость на другие устройства STM32.

Драйверы HAL предоставляют полный набор готовых к использованию API, которые упрощают реализацию пользовательского приложения. В качестве примера - встроенные устройства коммуникации (связи) содержат интерфейсы API для инициализации и настройки устройства, управления передачей данных на основе опроса, в прерываниях или через DMA, а так же для управления ошибками связи.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Драйверы HAL являются функционально-ориентированными, а не ориентированы на внутренние периферийные устройства. Например, API таймера делится на несколько категорий, по функциям, предоставляемым внутренним устройством таймера: базовый таймер (basic timer), захвата (capture), широтно-импульсной модуляции (PWM), и т.д.

Исходный код библиотеки драйверов разработан в соответствии со Strict ANSI-C, что делает код независимым от инструментов разработки.

Драйверы слоя HAL реализуют обнаружение ошибок во время выполнения (run-time failure detection). HAL проверяет входные значения всех функций. Такая динамическая проверка способствует повышению надежности встроенного ПО. Обнаружение ошибок во время выполнения программы, также, способствует ускорению разработки пользовательских приложений и процесса отладки.

Драйверы HAL были разработаны таким образом, чтобы предоставить разработчику максимально широкий набор функций, в интерфейсах API, и упростить взаимодействие верхних слоев приложений с МК.

Каждый драйвер состоит из набора функций, охватывающих наиболее распространенные возможности конкретного периферийного устройства. При разработке каждого драйвера применена общая структура API-интерфейсов, которая стандартизирует структуру драйвера, его функции и имена параметров.

Драйверы HAL состоят из набора модулей драйверов, каждый модуль осуществляет связь с отдельным периферийным устройством. Тем не менее, в некоторых случаях, модуль связан с функциональным режимом (функцией) периферийного устройства.

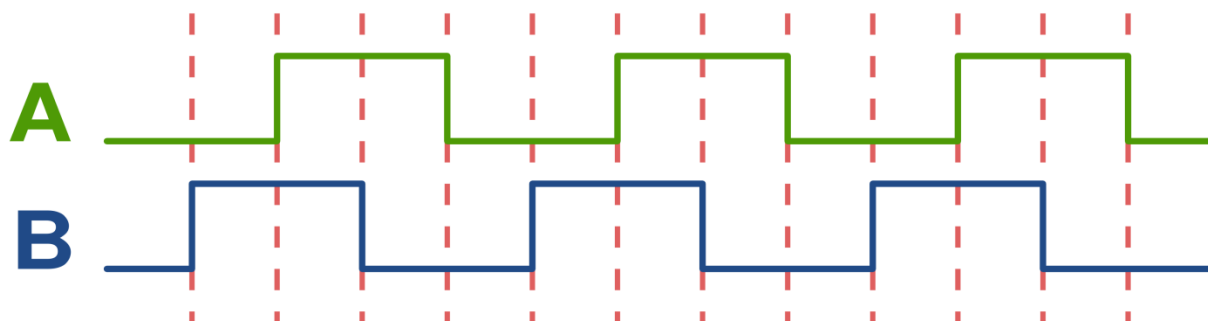
Библиотека HAL широко используется в профессиональной разработке устройств на базе микроконтроллеров STM32.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.2 Обработка сигналов состояния

У энкодера есть два канала: А и В. При вращении двигателя энкодер на этих выводах генерирует 2 сигнала, смещенные относительно друг друга по фазе на 90 градусов. В зависимости от направления вращения вала двигателя сигнал А либо опережает сигнал В на 90 градусов, либо запаздывает (рисунок 4.1). Также энкодер имеет канал Z, который выдает один импульс после каждого полного оборота.

По часовой стрелке
Сигнал В опережает А



Против часовой стрелки
А опережает В

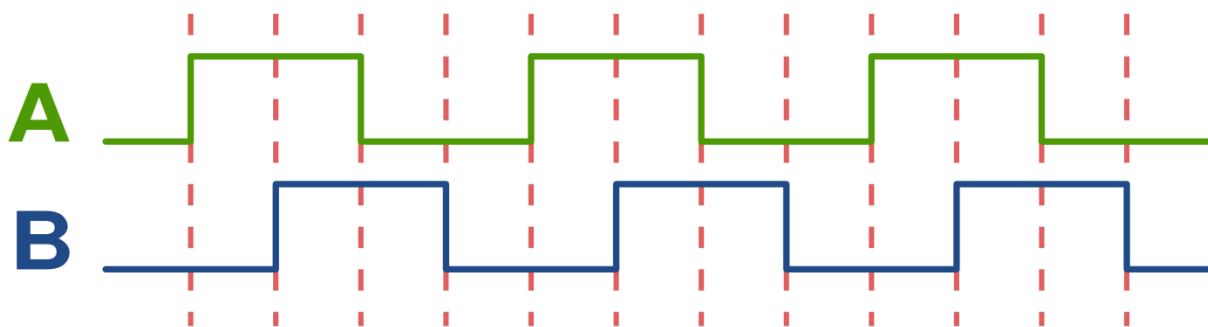


Рисунок 4.1 – Сигналы энкодера при вращении вала двигателя

Сигналы можно считывать программно. Однако STM32 обладает специальным интерфейсом, который и обрабатывает данные с энкодера и изменяет на их основе значение счетного регистра в меньшую или большую сторону в зависимости от направления вращения. Интерфейс реализуется через 2 канала одного из продвинутых таймеров (advanced timers).

Сигналы с входов проходят через цифровой фильтр, затем поступают в детектор фронтов. Входной цифровой фильтр нужен для устранения дребезга контактов и, по сути, представляет собой, декрементирующий счётчик, физически дребезг, конечно, не пропадает, но за счёт применения специального алгоритма система его не «чувствует». Детектор фронтов, в зависимости от того возрастающий или спадающий сигнал, устанавливает 1 на соответствующем выводе, **TI1F_Rising** – возрастающий и **TI1F_Falling** – спадающий. Далее, сигналы попадают в мультиплексор, определяющий по какому фронту производится захват, а затем в мультиплексор выбора входа (рисунок 4.2).

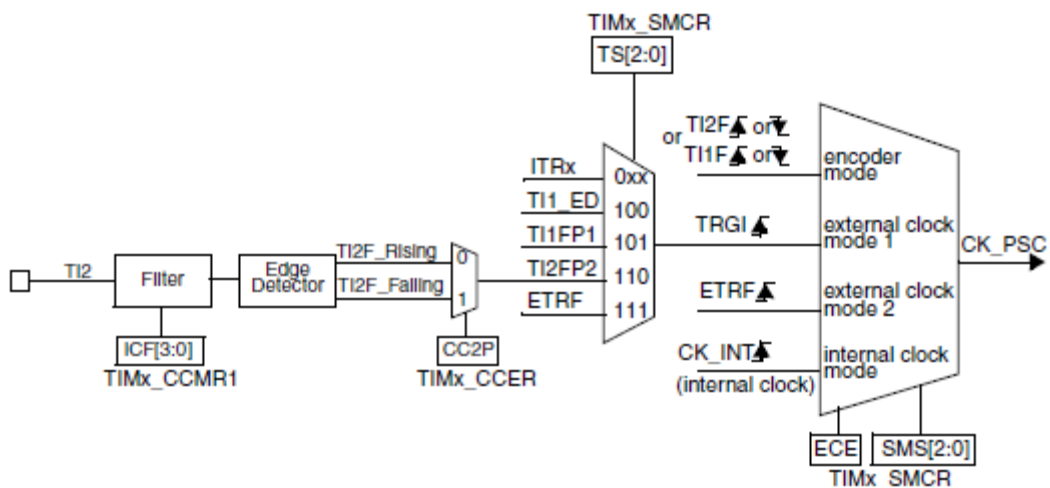


Рисунок 4.2 – Обработка сигналов с энкодера

Ниже изображена картинка, отражающая алгоритм работы цифрового фильтра (рисунок 4.3), предположим, что нам известно что сигнал нестабилен в течение 5 выборок, тогда после перехода в новое состояние, в течение 8 выборок (возьмём с запасом), микроконтроллер не должен реагировать на изменение состояния входа. Если через 8 выборок состояние сигнала подтверждается, он передаётся на выход TI1F.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

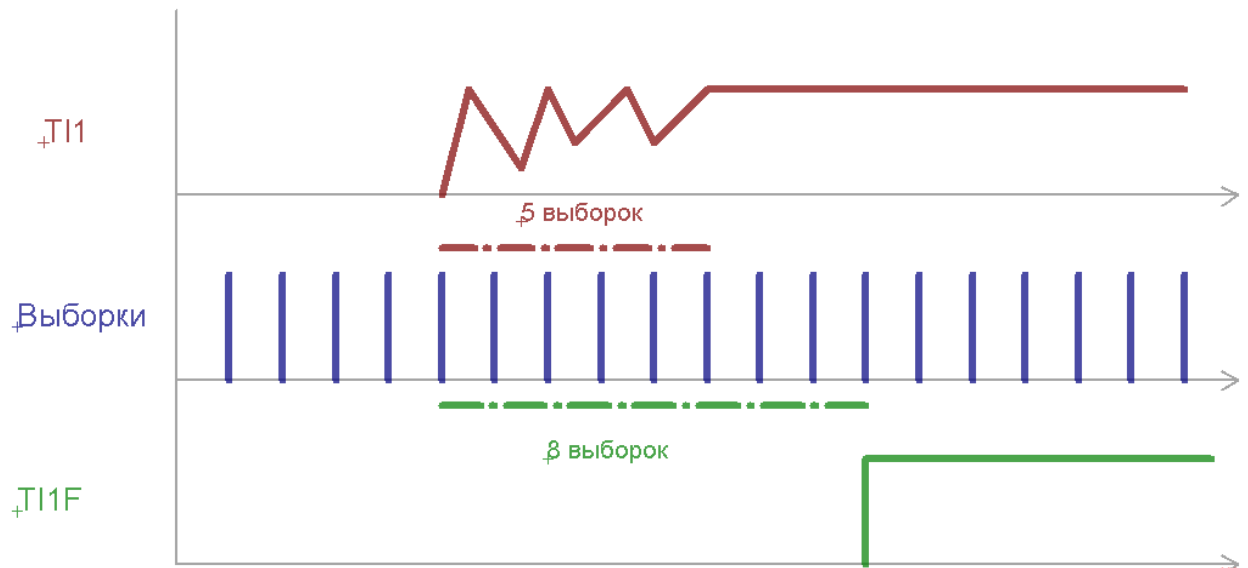


Рисунок 4.3 – Работа алгоритма цифрового фильтра

В соответствующем регистре биты определяют по фронту какого из входов будет вестись подсчёт, а увеличиваться значение счётчика будет или уменьшаться зависит от состояния другого входа, это можно увидеть на картинке ниже (рисунок 4.4).

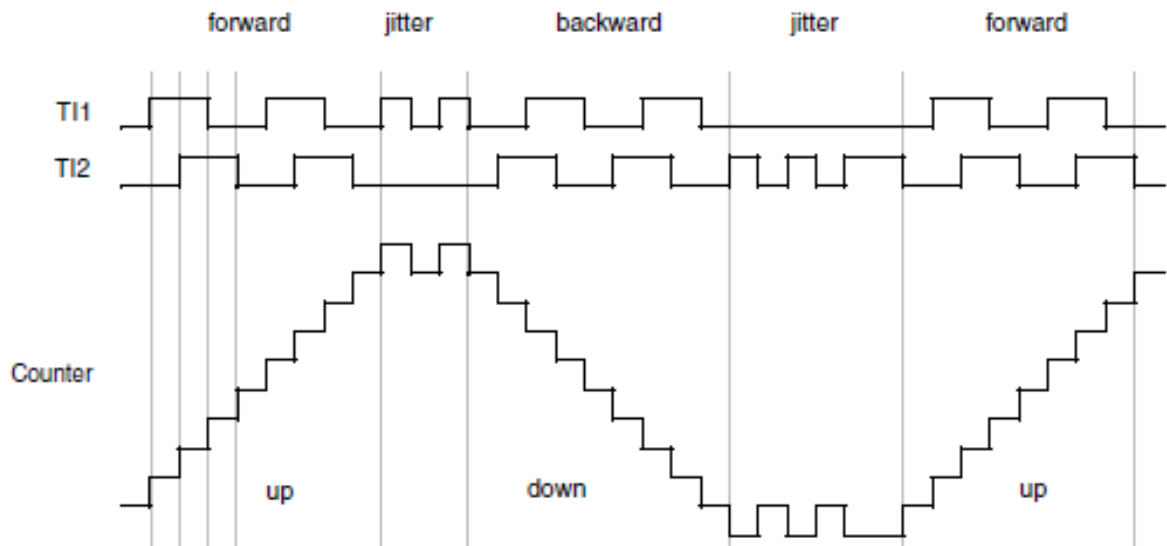


Рисунок 4.4 – Работа счётчика импульсов энкодера

4.3 Генерация сигналов управления

Управляющий сигнал генерируется с помощью ЦАП в виде напряжения от 0 до 2 В.

Модуль ЦАП представляет собой 12-ти разрядный преобразователь цифровых данных в напряжение. ЦАП может быть сконфигурирован в 8-ми или 12-ти битный режим, может быть использован в сочетании с контроллером DMA. В 12-ти битном режиме данные могут выравниваться по правому или по левому краю. ЦАП содержит два канала, каждый из которых содержит независимый преобразователь. В двухканальном режиме преобразование может выполняться независимо или одновременно, когда оба канала группируются для синхронного запуска. Вывод опорного сигнала VREF+ доступен для изменения разрешения. Структурная схема ЦАП представлена на рисунке 4.5.

Основные характеристики ЦАП:

- два цифроаналоговых преобразователя, каждый имеет свой выход;
- 8-ми и 12-ти битный режим;
- выравнивание данных по левому или правому краю в 12-ти разрядный режим;
- возможность синхронного обновления;
- генерирование шума;
- генерирования треугольных импульсов;
- независимое или одновременное преобразование в каналах;
- использование DMA для обоих каналов;
- внешний запуск преобразований;
- вход опорного напряжения.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

MP – 15.03.06 ПЗ

Лист

57

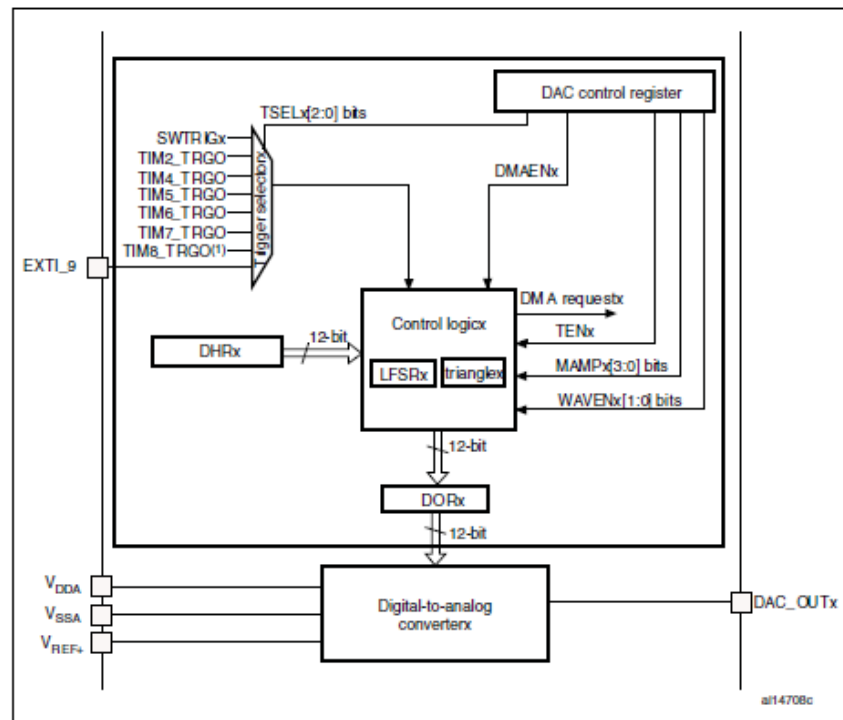


Рисунок 4.5 – Структурная схема ЦАП

4.4 Библиотека emWin

Для реализации графического интерфейса использовалась бесплатная графическая библиотека emWin.

Библиотека emWin, разработанная компанией SEGGER, предоставляет надежный, эффективный графический интерфейс пользователя для любых приложений с графическим ЖК-дисплеем. С помощью emWin можно выполнить базовый дизайн пользовательского интерфейса – для этого необходимо автономное инструментальное средство, которое позволяет разделить процессы проектирования интерфейса пользователя и разработки микропрограммного обеспечения и тем самым ускорить создание приложений для ЖК-дисплеев в потребительской электронике, бытовой технике, медицинских приборах и промышленном оборудовании. Библиотека emWin совместима с однозадачными, и многозадачными средами и подходит для использования с микроконтроллерами Cortex-M0, Cortex-M3, Cortex-M4, ARM7™ и ARM9™.

4.5 Интерфейс LTDC

Для взаимодействия с пользователем в системе используется монитор. Чтобы подключить его к контроллеру будет использоваться LTDC (рисунок 4.6).

Данный модуль периферии по своей сути является контроллером, который обычно стоит на стороне дисплея, например, SSD1963 и ему подобные. Если посмотрим на структуру LTDC, то увидим, что физически это параллельная шина на 24 бита + аппаратный ускоритель графики + массив данных в ОЗУ, который является по факту буфером дисплея (frame buffer).

На выходе мы имеем обычную параллельную шину, которая в себе содержит 24 бита цвета (по 8 бит на цвет модели RGB), линии синхронизации, линия включения/отключения дисплея и pixel clock. Последний по факту является сигналом тактирования по которому загружаются пиксели в дисплей, то есть если частота у нас 9.5 МГц, то за 1 секунду мы можем загружать 9.5 млн. пикселей. В теории, на практике цифры несколько скромнее из-за таймингов и прочего.

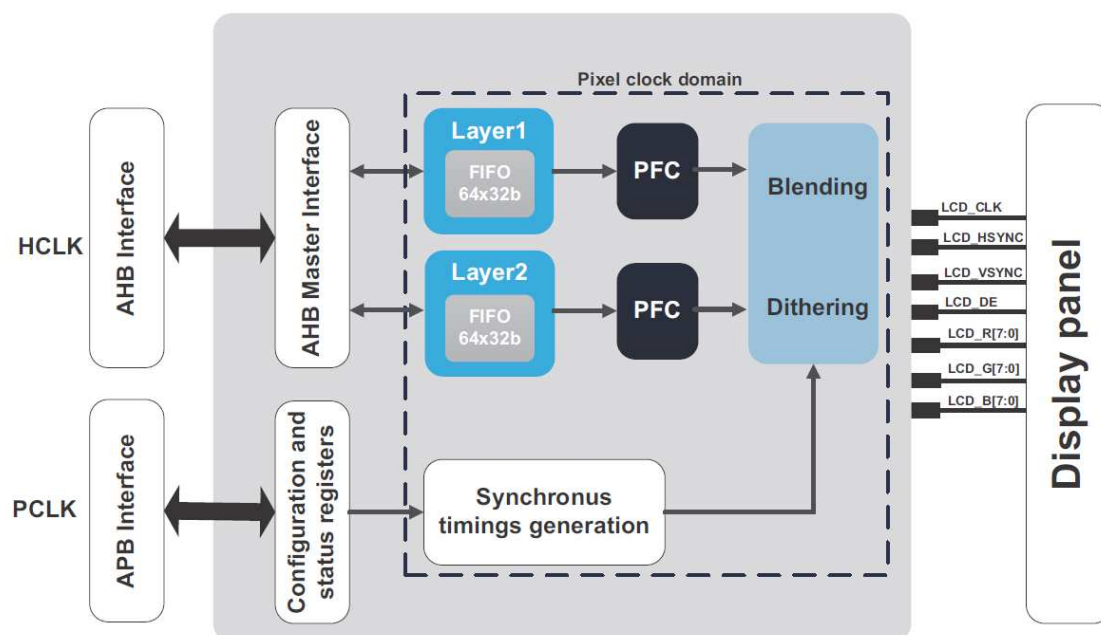


Рисунок 4.6 – Схема модуля LTDC

Перв. примен.									
Справ. №									
Подпись и дата									
Инд. № д/оп									
Взам. инд. №									
Подпись и дата									
Инд. № подл									
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	MP – 15.03.06 ПЗ				Лист 59

4.6 Графический интерфейс

Пользовательский интерфейс позволяет управлять усилием, создаваемым тренажёром, и наблюдать скорость, которую развивает бегун в процессе тренировки.

Ползунок в правой части экрана позволяет устанавливать значение силы тяги. Перемещение ползунка вверх увеличивает силу тяги, перемещение вниз – уменьшает. Данный элемент интерфейса не запускает тренажёр, таким образом, необходимое значение силы можно установить как до начала тренировки, так и во время её.

В нижней правой части экрана, слева от ползунка находится текстовое поле в котором отображается значение силы тяги, установленное ползунком. Справа от значения указаны единицы измерения.

Наибольшим элементом интерфейса, расположенным по центру экрана является график скорости по времени, которая регистрировалась в процессе тренировки. При каждом новом старте тренировки старые значения на данном графике очищаются и строятся новые.

По нажатию кнопки, расположенной посередине экрана внизу, на валу двигателя происходит установка выбранной силы и начинается регистрация скорости, которая отображается на графике по центру экрана.

Для того, чтобы прекратить регистрацию скорости нужно нажать кнопку ещё раз.

Слева внизу отображается текущая скорость спортсмена. Справа от неё указаны единицы измерения.

Общий вид интерфейса представлен на рисунке 4.7.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/фл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

60

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

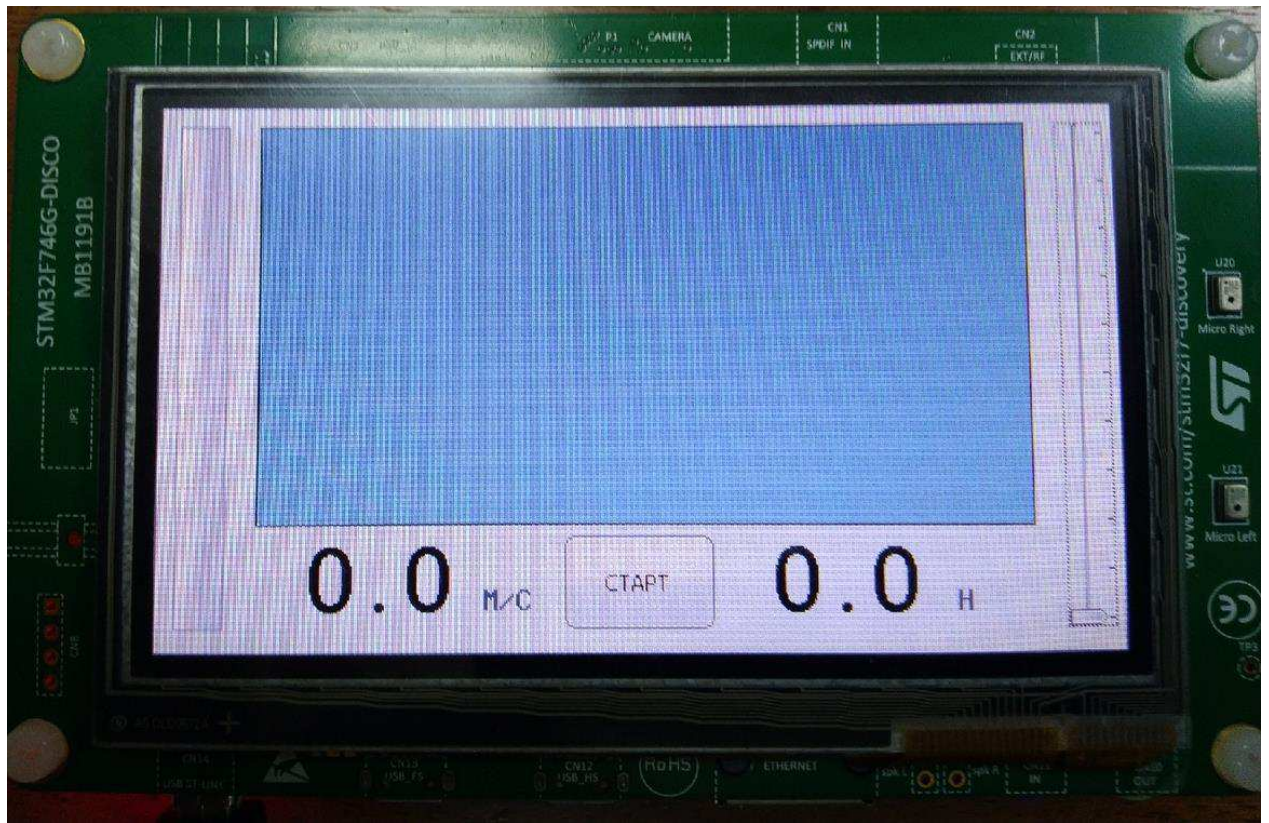


Рисунок 4.7 – Пользовательский интерфейс

5 Экономический расчёт

Для расчета экономической эффективности проекта необходимо вычислить его себестоимость, рассчитать цену, наценку и выявить чистую прибыль. Себестоимость — это суммарные расходы на производство и реализацию продукции.

Себестоимость включает в себя:

- основные материалы, покупные изделия (М);
- электроэнергию на технологические цели (Эл.);
- оплату труда (Z);
- отчисления на социальные нужды (Соц.);
- амортизационные отчисления (А.);
- прочие расходы (Пр.).

5.1 Расчет затрат стоимости материалов

Стоимость материалов определяется методом сметного калькулирования, основанном на прямом определении затрат по отдельным статьям.

$$M = \sum_{i=1}^n Nmi \cdot Zmi \cdot Ktz + \sum_{j=1}^m Nnj \cdot Znj \cdot Ktz, \quad (5.1)$$

где:

M - стоимость материалов и покупных изделий;

n - число позиций применяемых материалов;

m - номенклатура применяемых покупных изделий;

Nmi - расход материалов (уп., шт.);

Zmi - цена материала (руб./уп., руб.);

Nnj - количество покупных изделий (шт.);

Znj - цена покупных изделий (руб.);

Ktz - коэффициент транспортно-заготовительных расходов;

Ktz = (1,03...1,05).

Таблица 5.1 - Затраты на материалы и покупные изделия

№ п/п	Наименование материалов, покупных изделий и п/фабрикатов	Количество, шт.	Цена ед., руб.	Сумма, руб.	Итого матер. затрат, руб.
1.	Сопутствующие материалы				
1.1	Соединительные элементы			1000,00	1000,00
1.2	Радиодетали			500,00	500,00
1.3	Инструменты			1000,00	1000,00
	Итого				2500,00
2.	Покупные изделия				
2.1	Сервосистема Yaskawa Sigma II	1	15000,00	15000,00	15000,00
2.2	Плата STM32F746G-discovery	1	6000,00	6000,00	6000,00
2.3	Персональный компьютер	1	40000,00	40000,00	40000,00
	Итого				21000,00
Всего затрат на материалы и покупные изделия					63500,00

5.2 Расчет затрат электроэнергии на технологические цели

Затраты на электроэнергию для технологических целей (Эл.) определяется по формуле:

$$\text{Эл.} = K \cdot T \cdot Ц, \text{ где} \quad (5.2)$$

K - потребление электроэнергии компьютером в час, кВт;

T - сроки разработки программы, час;

Ц - стоимость кВт/час, руб.

Таблица 5.2 - Затраты электроэнергии на технологические цели

Потребление электроэнергии компьютером, кВт/час	Стоимость 1 кВт, руб.	Сроки разработки программ, час.	Сроки разработки программы, дн.	Итого затраты на электроэнергию, руб.
0,5	2,55	500	9	637,50

5.3 Расчет оплаты труда

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25 \text{ дней}}; \quad (5.3)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 3. При расчете учитывалось, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце 25 рабочих дней. Районный коэффициент $K_{РК}=1,69$.

Таблица 5.3 - Расчет затрат на основную заработную плату

Оклад, руб.	Среднедневная ставка,руб./ день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
16751,29	993,25	50	1,69	83929,62

5.4 Отчисления на социальные нужды

В 2019 г. ставки страховых взносов составляют 30% от размера заработной платы.

$$\text{Соц.} = Z \cdot 30\%, \text{ где} \quad (5.4)$$

Соц. - страховые взносы,

Z - размер заработной платы.

$$\text{Соц.} = 33571,85 \cdot 0,30 = 25178,88 \quad (5.5)$$

5.5 Амортизационные отчисления

При линейном способе годовая сумма амортизационных отчислений определяется исходя из первоначальной стоимости объекта основных средств и нормы амортизации, исчисленной исходя из срока полезного использования этого объекта и составляет 20 %. Годовые амортизационные отчисления вычисляются по формуле:

$$\text{Сам} = (\text{Скомп} \cdot 20) / 100, \text{ где} \quad (5.6)$$

Сам - сумма годовых амортизационных отчислений (линейный способ);

С комп - стоимость ЭВМ.

$$\text{Сам} = (40\,000 \cdot 20) / 100 = 8\,000 \text{ (руб.)} \quad (5.7)$$

Исходя из суммы годовых амортизационных отчислений, учитывая среднее количество рабочих дней в году (240 дней), вычисляется сумма амортизационных отчислений за время выполнения разработки (дни или месяцы). Затрата на амортизационные отчисления: 660 руб.

Таблица 5.4 - Затраты на амортизационные отчисления

Стоимость компьютера, руб.	Сумма годовой амортизации, руб.	Сумма ежедневной амортизации (240 раб. дней)	Итого амортизационные отчисления, руб.
40 000	8000	33,33	1666,50

5.6 Прочие расходы

К прочим расходам (Пр.) относятся коммерческие расходы, в том числе затраты на рекламу, размещение и продвижение сайта и пр.

Данный ПП разрабатывался под конкретного заказчика, поэтому данной статьи расходов нет.

Общая себестоимость программы.

Вычисляется по формуле:

$$\text{СЕБ} = \text{М} + \text{Эл} + \text{Z} + \text{Соц} + \text{Сам}, \text{ где} \quad (5.8)$$

М - стоимость материалов и покупных изделий;

Эл - затраты на электроэнергию;

Z - заработная плата программиста;

Соц - отчисления на социальные нужды;

Сам - амортизационные отчисления

5.7 Общая стоимость

Суммируя рассчитанные параметры себестоимости проекта посчитаем общую стоимость.

Таблица 5.5 - Калькуляция себестоимости проекта

№ п/п	Статьи затрат	Величина затрат, руб.
1.	Материалы, покупные изделия	63500,00
2.	Электроэнергия на технологические цели	637,50
3.	Оплата труда	83929,62
4.	Отчисления на социальные нужды	25178,88
5.	Амортизационные отчисления	1666,50
	Итого	174912,50

6 Техника безопасности

К занятиям на тренажерах допускаются работники (спортсмены, учащиеся) прошедшие инструктаж по охране труда и не имеющие медицинских противопоказаний.

При использовании тренажера должны соблюдаться правила технической эксплуатации, установленные режимы тренировок. Тренажер может быть использован только в предусмотренных для него целях.

Занятия на тренажере необходимо проводить в спортивной одежде и спортивной обуви с нескользкой подошвой. Запрещается заниматься на тренажере босиком.

При эксплуатации тренажёра необходимо соблюдать требования электробезопасности.

Тренажёр должен быть заземлён и закреплён таким образом, чтобы избежать его подвижности.

Следует не допускать возможность попадания влаги на тренажёр.

Обязательно необходимо, чтобы при эксплуатации имелась возможность его немедленной остановки нажатием на аварийную кнопку (рядом с ней всегда должен находиться человек).

Во время занятия на тренажере необходимо:

- быть внимательным, не отвлекаться посторонними делами, разговорами;
- заниматься строго по утвержденной программе без превышения допустимых нагрузок на организм;
- при выполнении упражнений соблюдать все необходимые требования личной безопасности и безопасности окружающих.
- не допускать попадания рук, ног в движущиеся узлы тренажера, а также посторонних предметов внутрь тренажера.

При возникновении неисправности тренажера (перебои в работе, искрение, появление посторонних звуков и запахов) прекратить тренировку,

Перв. примен

Справка №

Подпись и дата

Инв. № д/фл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

66

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Перв. примен.

отключить тренажер и сообщить об этом своему непосредственному или вышестоящему руководителю, представителям технических служб для принятия соответствующих мер.

Тренировку на тренажере можно продолжать только после устранения неисправности или его замены. Необходимо закрыть доступ к неисправному тренажеру других занимающихся.

При эксплуатации тренажера запрещается:

- заниматься без установленной спортивной формы и установленных защитных средств;
- устанавливать тренажер на неровной или мягкой поверхности;
- изменять угол наклона или высоту тренажера путем подкладывания под него посторонних предметов;
- допускать к эксплуатации тренажера посторонних лиц и лиц, не обладающих соответствующим уровнем спортивной подготовки;
- оставлять без присмотра работающий тренажер и электрооборудование;
- пользоваться неисправным и/или плохо закрепленным тренажером и неисправным электрооборудованием;
- пользоваться тренажером при неисправностях сети напряжения;
- самовольно вносить изменения в конструкцию и изменять режимы эксплуатации тренажера;
- использовать тренажеры не по назначению;
- включать и выключать тренажер влажными руками;
- пользоваться тренажером в дождливую погоду.
- пользоваться тренажером без контроля тренера.

7 Руководство по эксплуатации

При эксплуатации тренажера необходимо соблюдать следующий порядок действий.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/опл

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

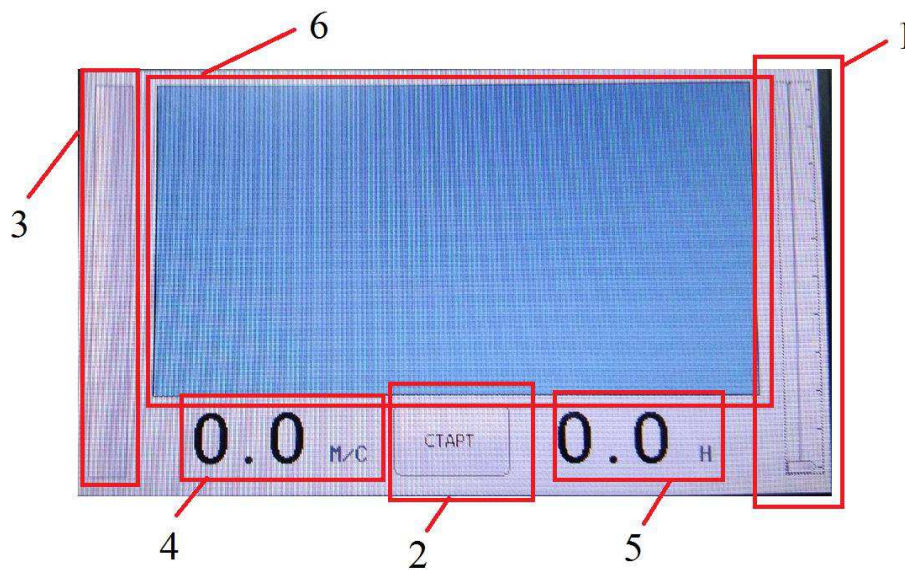
MP – 15.03.06 ПЗ

67

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Перв. примен.	<p>1. Для приведения тренажёра в рабочее состояние необходимо закрепить тренажёр на неподвижном основании. Для закрепления тренажёра у основания «пирамиды» имеются 4 отверстия. Дальнейшие действия следует производить, убедившись, что тренажёр надёжно закреплён.</p> <p>2. Подать электропитание на тренажёр. Для этого необходимо присоединить кабель питания к источнику электроэнергии и убедиться в том, что автомат защиты взведён и кнопка аварийной остановки не нажата.</p> <p>3. После того как тренажёр закреплён и на него подано питание на табло сервопривода должно высветиться состояние «RUN». На циферблате преобразователя напряжения должно отображаться число близкое к «5.00». Также должен включиться дисплей контроллера, на котором находится пользовательский интерфейс.</p> <p>4. Если состояние тренажёра соответствует описанному в 3 пункте – можно приступать к тренировке. Для установки значения силы тяги используется ползунок в правой части дисплея (рисунок 7.1, 1). Перемещая его вверх и вниз необходимо установить желаемое значение силы тяги. Значение силы тяги отображается числом слева внизу экрана (рисунок 7.1, 5).</p> <p>5. После того как значение силы тяги установлено можно приступать к забегу. Для подачи команды на поддержание установленного значения силы тяги необходимо нажать на кнопку, которая располагается в нижней части посередине дисплея (рисунок 7.1, 2). После того как кнопка нажата начинается регистрация скорости бегуна. Текущая скорость будет отображаться в процентном соотношении от рекорда скорости в правой части экрана (рисунок 7.1, 3). Значение текущей скорости отображается в левой нижней части экрана (рисунок 7.1, 4). Изменение скорости во времени будет отображаться на графике посередине экрана (рисунок 7.1, 6) раз – показания предыдущей тренировки сбросятся и начнётся регистрация новых показаний.</p>					
Справ. №						
Подпись и дата						
Инв. № д/опл						
Взам. инв. №						
Подпись и дата						
Инв. № подл						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						68

6. По завершении работы с тренажёром необходимо отключить питание.



1 – задание силы тяги, 2 – начало тренировки и регистрации данных (и затем остановка), 3 – скорость в % от рекорда, 4 – текущая скорость, 5 – текущая сила тяги, 6 – график скорости.

Рисунок 7.1 – Интерфейс пользователя

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/оп

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

MP – 15.03.06 ПЗ

69

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе написания дипломной работы достигнуты поставленные цели и решены соответствующие задачи. Был проведён анализ объекта «спортсмен + тренажёр», в ходе которого составлена модель бега. Определены технические требования, из которых получены необходимые характеристики объекта и сформировано техническое задание. В соответствии с ним подобраны технические средства с соответствующими параметрами и функциями. Аппаратное обеспечение объединено в единую систему и соответствующим образом настроено. Выбранные технические средства и взаимодействие между ними реализовано в соответствии с описанием. Для микроконтроллера написана программа на языке С для обработки данных и реализации пользовательского интерфейса. Проведён экономический расчёт. Составлены правила эксплуатации. Итогом работы является собранный пилотный экземпляр тренажёра спринтерского бега.

Перв. примен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № д/оп

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Лист

МР – 15.03.06 ПЗ

70

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адаптация в спорте / Платонов В.Н. – К.: Здоров'я, 1988 – 216с.
ISBN 5-311-00126-7.
2. Подготовка квалифицированных спортсменов – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 286 с., ил.
3. Грузенкин В.И. Г 901 Выбор пути: тренер и десятиборье. монография. Литера-принт. Красноярск 2017. – 150 с.
4. Лавриненко Н.И. УДК 796.422.12.012.1-034.6 Автореферат: теория и методика физического воспитания и спортивной тренировки. Москва 1988.
5. Mc Dougall J.D., Sale D.G., Always S.E., Sultou J.R. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. 1984 Nov;57(5):1399-403.
6. Масальский, Геннадий Борисович. – Математические основы кибернетики [Текст] : учебное пособие / Г. Б. Масальский ; Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т. - 3-е изд., перераб. и доп. - Красноярск : СФУ, 2018. - 381 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 378-380. - 100 экз.. - ISBN 978-5-7638-3628-8 : 708.00 р. - Изд. № 2017-304
7. STMicroelectronics [Электронный ресурс] : STMicroelectronics is a world leader in providing the semiconductor solutions that make a positive contribution to people's lives, today and into the future. – Режим доступа: <https://www.st.com/>
8. Руководство пользователя: AC Servo Drives Σ -II Series User's manual.

Перв. примен.					
Справ. №					
Подпись и дата					
Инв. № д/фл					
Взам. инв. №					
Подпись и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					MP – 15.03.06 ПЗ
					71

Перв. примен.	<p>9. Руководство пользователя: Low power quad operational amplifiers LM124LM224 - LM324.</p> <p>10.Руководство пользователя: SN65175, SN75175 quadruple differential line receivers.</p> <p>11.Руководство пользователя: June 2018RM0385 Rev 81/17241RM0385 Reference manualSTM32F75xxx and STM32F74xxx advanced Arm®-based 32-bit MCUs</p> <p>12.Руководство пользователя: June 2018RM0385 Rev 81/17241RM0385 Reference manualSTM32F75xxx and STM32F74xxx advanced Arm®-based 32-bit MCUs</p> <p>13. EmWin [Электронный ресурс] : emWin—Industry Leading Embedded Graphics Library – Режим доступа: https://www.segger.com/products/user-interface/emwin/</p> <p>14.Конспект лекций «Теория автоматического управления» – сибирский федеральный университет – Смольников А.П.</p>																																		
Справ. №																																			
Подпись и дата																																			
Инв. № д/опл																																			
Взам. инв. №																																			
Подпись и дата																																			
Инв. № подл.	<table border="1" data-bbox="156 2078 1469 2186"> <tr> <td data-bbox="156 2078 231 2116"></td> <td data-bbox="231 2078 306 2116"></td> <td data-bbox="306 2078 381 2116"></td> <td data-bbox="381 2078 456 2116"></td> <td data-bbox="456 2078 531 2116"></td> <td data-bbox="531 2078 606 2116"></td> <td data-bbox="606 2078 681 2116"></td> <td data-bbox="681 2078 756 2116"></td> <td data-bbox="756 2078 831 2116"></td> <td data-bbox="831 2078 906 2116"></td> <td data-bbox="906 2078 981 2116"></td> <td data-bbox="981 2078 1056 2116"></td> <td data-bbox="1056 2078 1131 2116"></td> <td data-bbox="1131 2078 1206 2116"></td> <td data-bbox="1206 2078 1281 2116"></td> <td data-bbox="1281 2078 1356 2116"></td> <td data-bbox="1356 2078 1431 2116"></td> <td data-bbox="1431 2078 1469 2116"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="156 2116 231 2186">Изм.</td> <td data-bbox="231 2116 306 2186">Лист</td> <td data-bbox="306 2116 381 2186">№ докум.</td> <td data-bbox="381 2116 456 2186">Подпись</td> <td data-bbox="456 2116 531 2186">Дата</td> <td colspan="10" data-bbox="531 2116 1469 2186" style="text-align: right;">MP – 15.03.06 ПЗ</td> <td data-bbox="1469 2116 1560 2186" style="text-align: right;">Лист 72</td> </tr> </table>																			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	MP – 15.03.06 ПЗ										Лист 72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	MP – 15.03.06 ПЗ										Лист 72																				

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

Политехнический институт

Кафедра «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.Н. Сочнев

подпись

« 11 » 07 2019 г.


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ

15.04.06 Мехатроника и робототехника

15.04.06.01 Технологии автоматизации и роботизации производства

Руководитель

 10.07.19
подпись, дата

доцент КТИ
должность, учёная степень

Г.Б. Масальский

Выпускник

 10.07.19
подпись, дата

Е.В. Русалеев

Рецензент

 10.07.2019
подпись, дата

инженер-проектировщик ООО «ИМ»
должность, учёная степень

А.А. Голуб

Красноярск 2019

Продолжение титульного листа БР по теме «Разработка и исследование систем приводов и ЧПУ»

Консультанты по разделам:

Модель бега с тренажёром как объект управления

Прод. кадр.
Спиз. культура
СЗМУ

09.07.2019
подпись, дата

В.И. Грузенкин

Нормоконтролёр

подпись, дата

11.07.1972

В.Н. Куликова

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

MP - 15.03.06 ПЗ

Лист

2