

СТИ

НИЯУ МИФИ

Выпускная квалификационная работа

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Специальность 14.05.04 «Электроника и автоматизация физических установок»

Выполнил: студент гр. Д-277 Черногородова Екатерина Олеговна

Руководитель: канд. техн. наук Иванов Максим Леонидович

02.02.2023

Электролиз широко используется в промышленности. Благодаря ему можно получить многие вещества из расплавов и растворов в чистом виде. Для проведения данного процесса требуются электролизёры, которые разделяют компоненты соединений с помощью электрического тока. Но каждый химический процесс необходимо контролировать во избежании неблагоприятных факторов. Контроль сопровождается поддержанием определенных переменных. Для этого необходимо цифровое устройство, которое поможет контролировать показания этих переменных и вывести информацию о них на компьютер.

Цели и задачи

Цели проведения ВКР:

Разработка цифрового устройства для измерения технологических переменных лабораторного электролизёра и вывод полученных измерений на ПК.

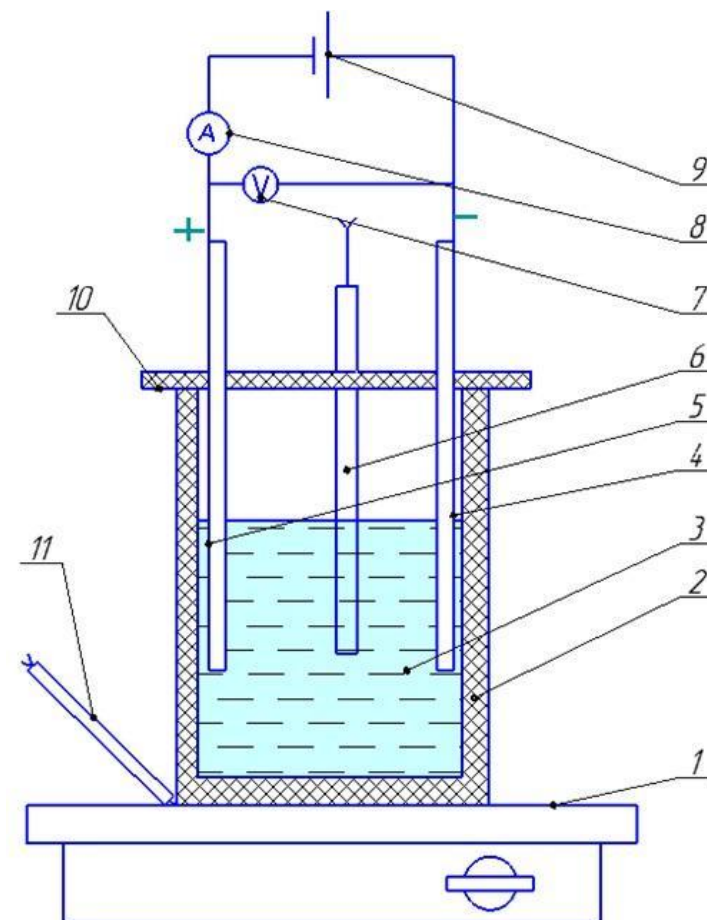
Решаемые в ходе проведения ВКР задачи:

- 1) Проведение аналитического обзора литературных источников.
- 2) Определить исходный перечень технологических переменных.
- 3) Составить структурную схему.
- 3) Подобрать измерительное оборудование.
- 4) Определить перечень сигналов входов-выходов цифрового устройства (ЦУ);
- 5) Разработать цифровое устройство:
 - разработать электрическую принципиальную схему;
 - создать макет печатной платы (PCB);
 - разработать программную часть;
 - проверить работоспособность ЦУ на макетной плате.

Объект исследования



Рисунок 1 – Электролизная лабораторная установка



1 – плитка; 2 – стакан тефлоновый; 3 – расплавленный электролит трифторид калия; 4 – катод железный; 5 – анод коксовый; 6 – термометр в электролите; 7 – вольтметр; 8 – амперметр; 9 – источник постоянного тока; 10 – крышка тефлоновая; 11 – термопара на плитке
Рисунок 2 – Схема электролизной лабораторной установки

Перечень технологических переменных

№	Наименование переменной	Диапазон измерения	Отображение информации			Регулирование	Шкала приборов		
			показание	регистрация	суммирование		Ед. измерения	Минимальное значение	Максимальное значение
1	Ток	0-1 А	+	+	-	+	А	-3,2	+3,2
2	Напряжение на электродах	0-15 В	+	+	+	+	В	0	15
3	Температура расплава KF-2HF	85-140 °C	+	+	-	-	°C	0	+600

Структурная схема

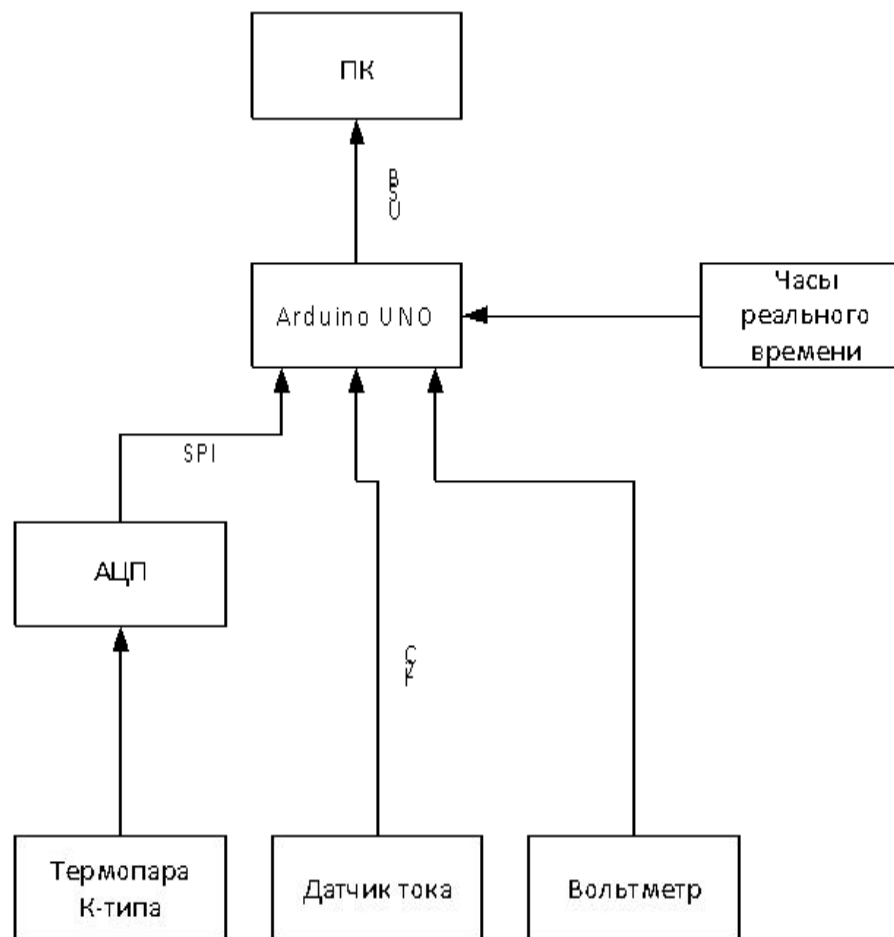


Рисунок 3 – Схема структурная цифрового устройства для измерения технологических переменных электролизной лабораторной установки

Список выбранного оборудования для разработки цифрового устройства:

- контроллер Arduino Uno;
- датчик тока INA219;
- термопара К-типа;
- АЦП MAX6675;
- делитель напряжения (вольтметр);
- часы реального времени DS1302.

Подбор датчика температуры

Характеристики датчиков	INA219	ACS712
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+125	-40...+85
Напряжение питания, В	3,3; 5	5
Диапазон измерения, А	0...5; 0...20; 0...30	-3,2...+3,2
Дискретность, мА	0,8	11
Точность, %	±1%	±1,5%
Цена, руб.	350	200

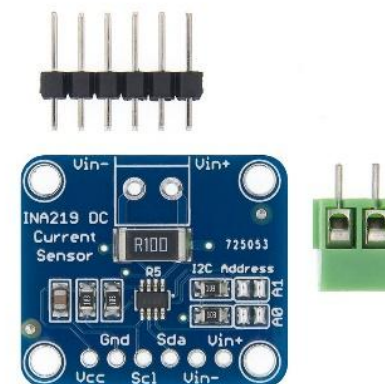


Рисунок 4 – Датчик тока INA219



Рисунок 5 – Датчик тока ACS712

Подбор датчика тока

Характеристики датчиков	Термопара К-типа	NTC
Диапазон измерения, °C	0...+600	-50...+110
Точность, %	±2,5	±1
Длина провода/кабеля, см	96	30
Цена, руб.	206	172

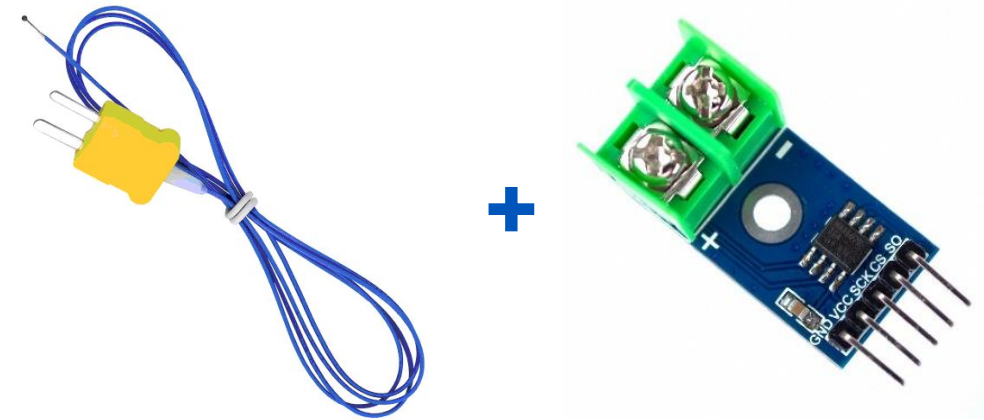


Рисунок 6 – Термопара К-типа и АЦП MAX6675



Рисунок 7 – Термистор NTC

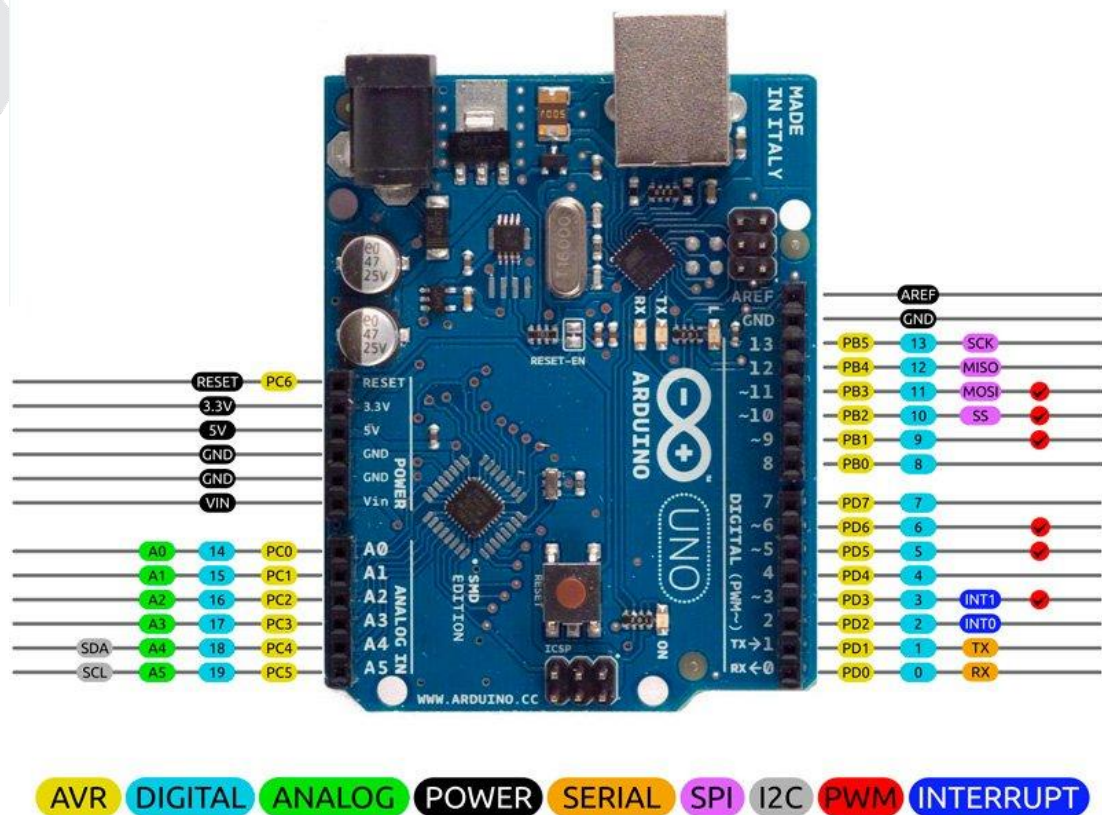


Рисунок 8 – Arduino Uno и его распиновка



Рисунок 9 – Часы реального времени DS1302

Формула делителя
напряжения:

$$U_2 = \frac{U_1 R_2}{(R_1 + R_2)}.$$

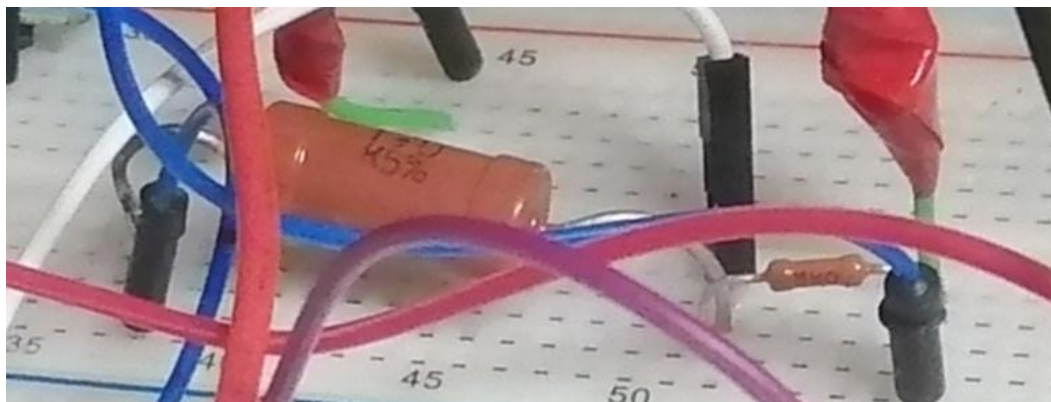


Рисунок 10 – Делитель
напряжения

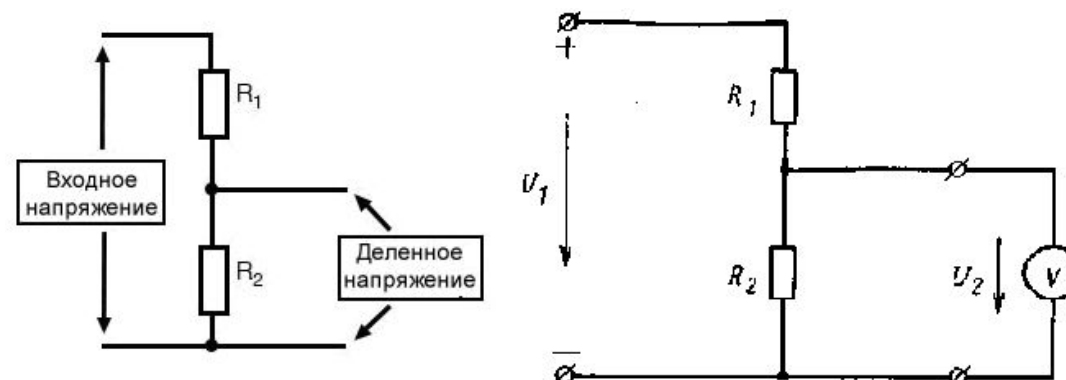


Рисунок 11 – Схема делителя
напряжения

Перечень сигналов входо- выходов цифрового устройства

Переменная	Диапазон измерения	Единица измерения	Сигнал
Ток	0-1	А	DI, 5В
Напряжение на электродах	0-15	В	AI, 0-5В
Температура расплава KF-2HF	85-140	°С	DI, 5 В

Этапы разработки цифрового устройства (ЦУ):

- разработка электрической принципиальной схемы (ЭПС);
- создание макета печатной платы (РСВ) И 3D-модели;
- написание программного кода;
- сборка и проверка электрической принципиальной схемы цифрового устройства на работоспособность на макетной плате.

Этап 1. Разработка электрической принципиальной схемы

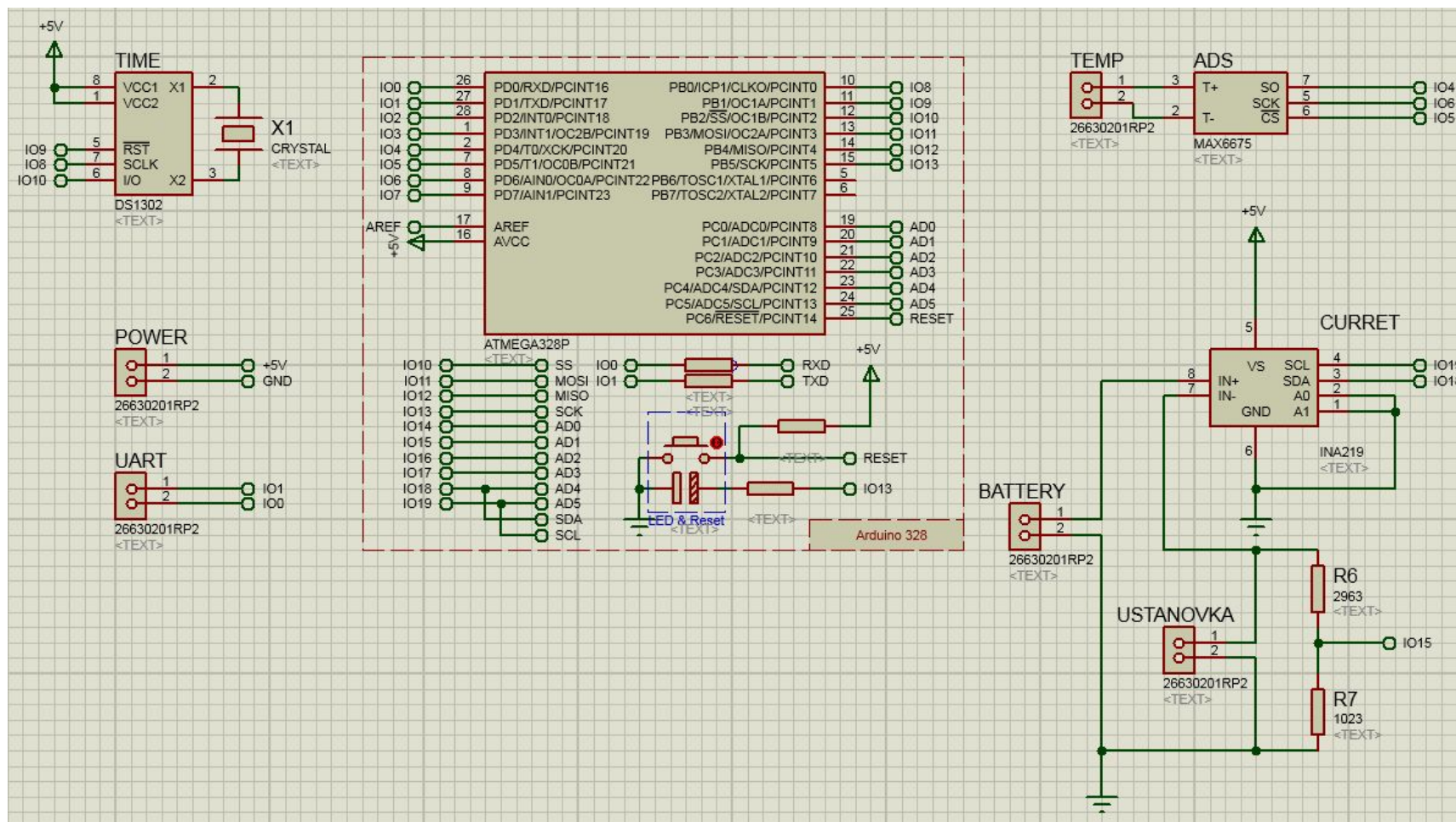


Рисунок 12 – Схема принципиальная электрическая ЦУ в программе Proteus

Этап 2. 3D-модель

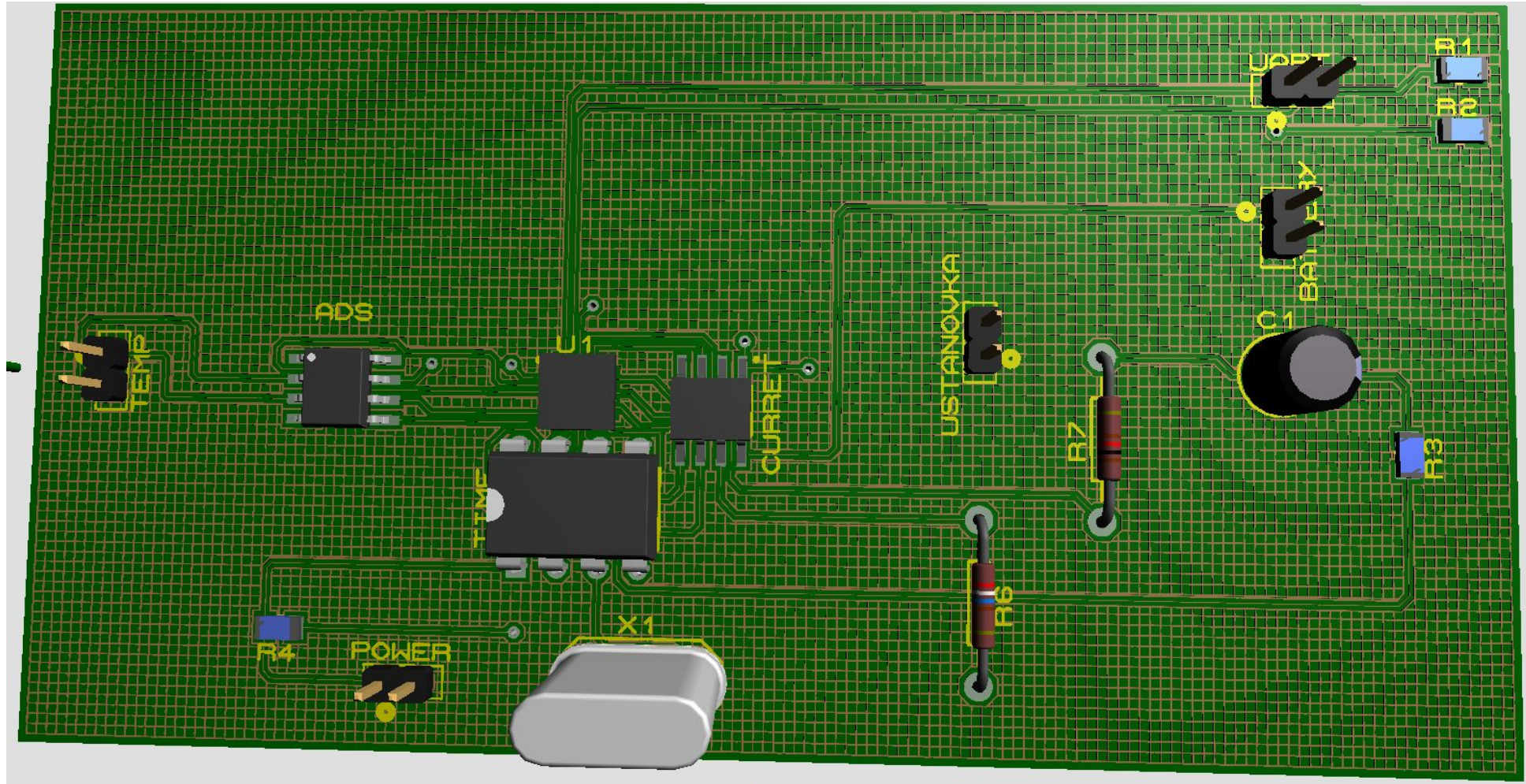


Рисунок 13 – 3D-модель цифрового устройства в программе Proteus

Этап 3. Разработка программного кода

Дерево проекта
> Контроллер 1 (Arduino Uno)

Входы
 <Аналоговый> Uout = A1
Выходы
Переменные
 <Float> R1 = 2963
 <Float> R2 = 1023

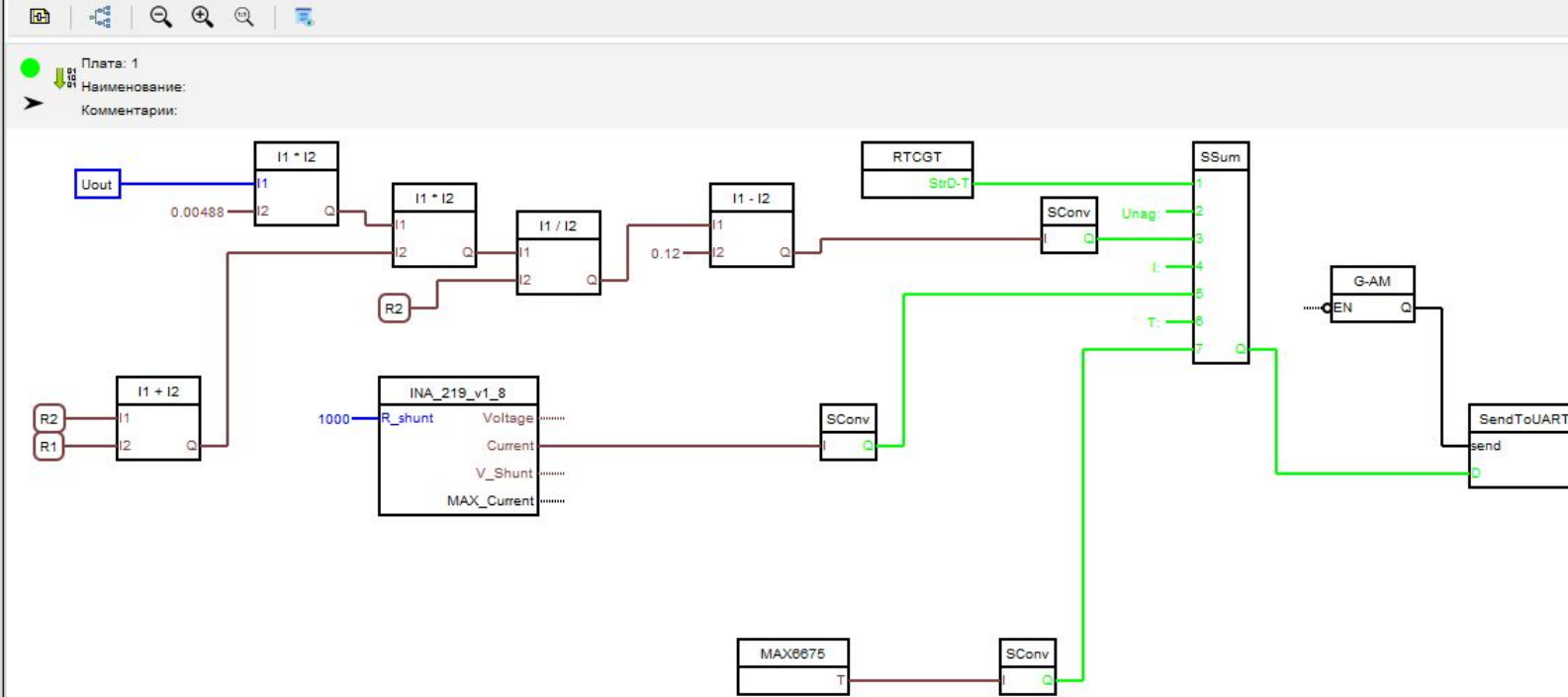


Рисунок 14 – Программный код на языке FBD в программе FLProg

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность

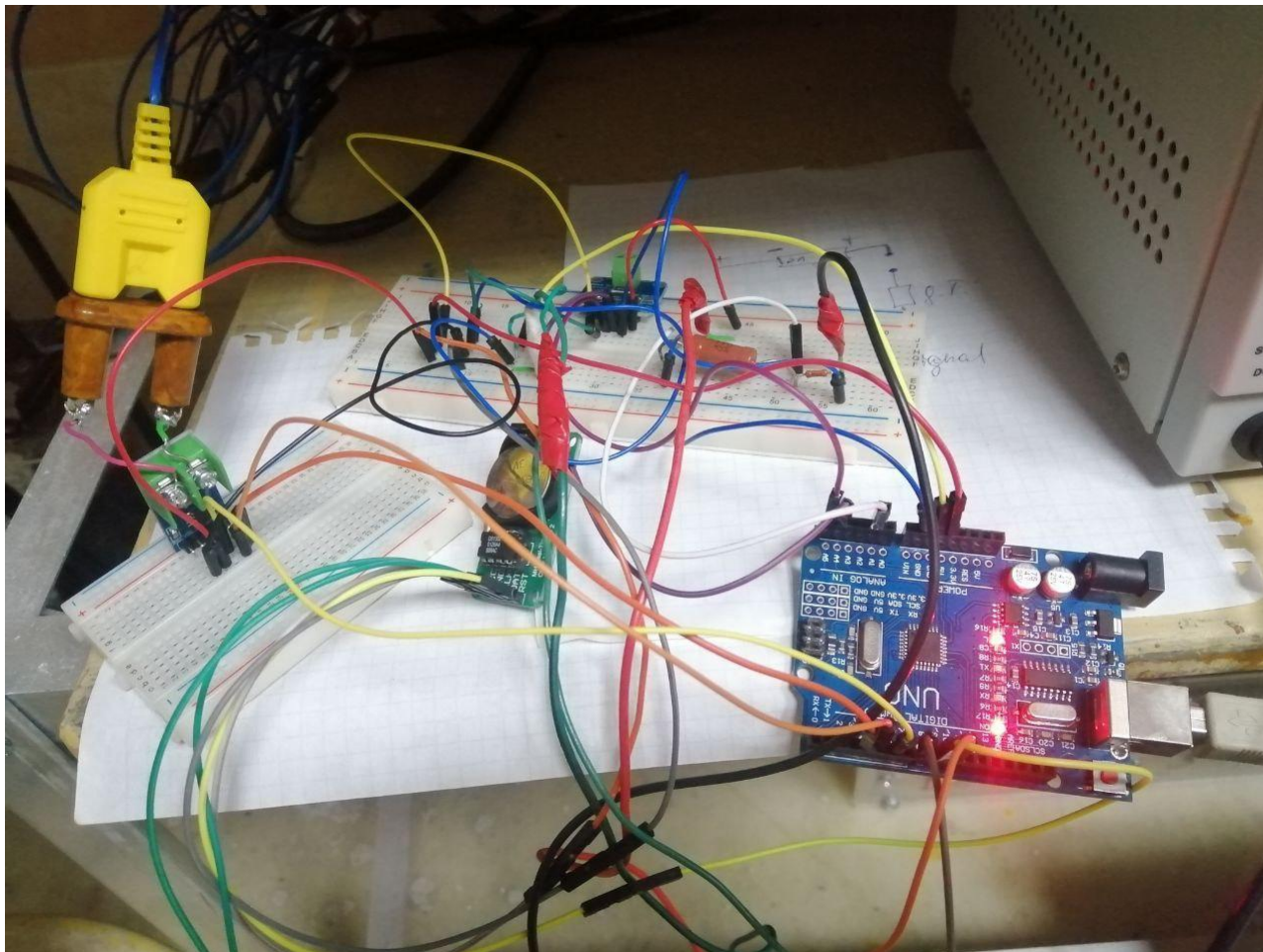


Рисунок 15 – Прототип ЦУ на макетной плате
Черногородова Екатерина Олеговна



Рисунок 16 – Подключение
ЦУ к электролизёру

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность



Рисунок 17 – Показания I и $U_{\text{общ.}}$ на блоке питания

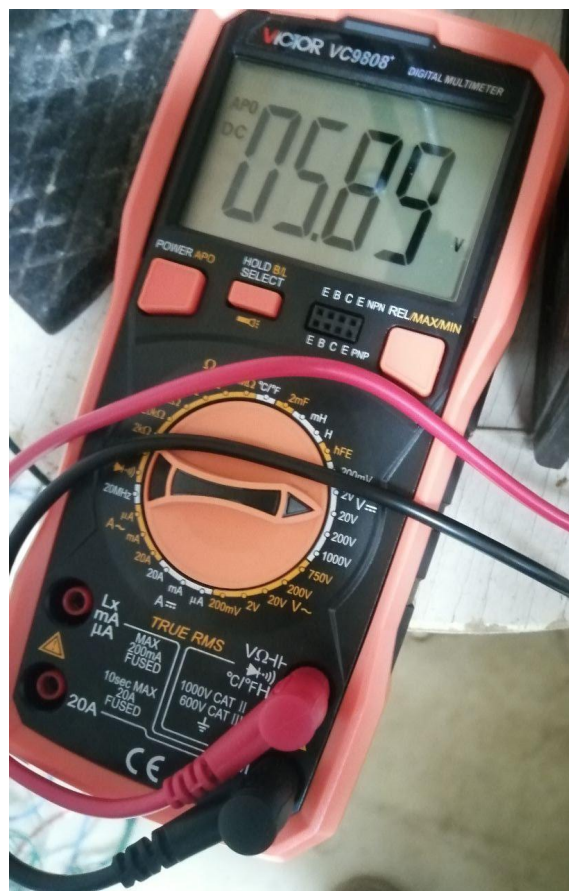


Рисунок 18 – Показание $U_{\text{общ.}}$ на мультиметре



Рисунок 19 – Показание I на мультиметре



Рисунок 20 – Показание $U_{\text{эл.}}$ на электродах на мультиметре

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность



Рисунок 21 – Показание температуры расплава KF-2HF с лабораторной термопары на терморегуляторе

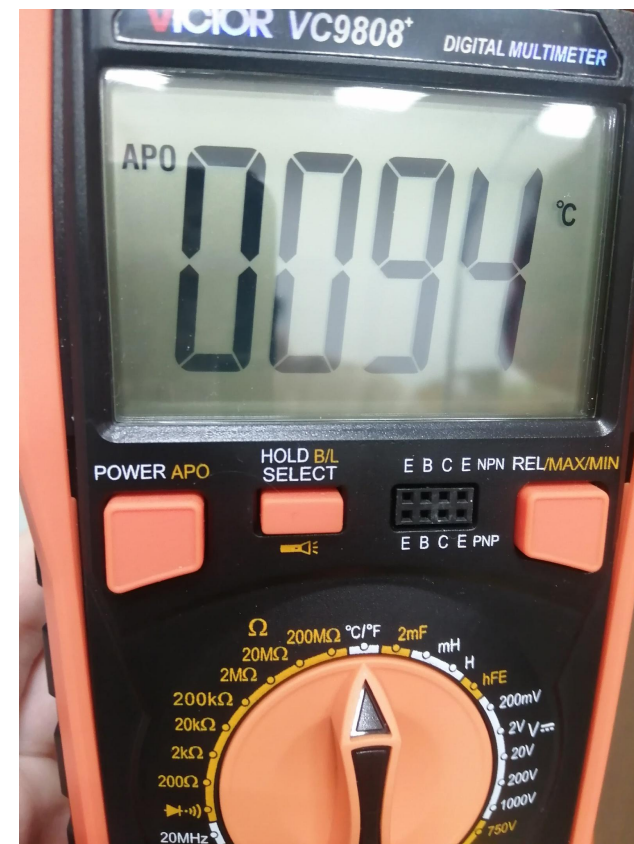


Рисунок 22 – Показание температуры с термопары К-типа на мультиметре

Этап 4. Проверка ЭПС ЦУ на работоспособность

COM4			
15.12.2022,	16:47:31	Unag: 5.74	I: 0.00 T: 0.00
15.12.2022,	16:47:43	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 94.00
15.12.2022,	16:47:54	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 94.00
15.12.2022,	16:48:05	Unag: 5.83	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:16	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:27	Unag: 5.68	I: 0.10 T: 94.00
15.12.2022,	16:47:55	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:06	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 93.75
15.12.2022,	16:48:17	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:28	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:39	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:47:50	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:01	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:12	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:23	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:45	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:47:56	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:07	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.00
15.12.2022,	16:48:18	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.00
15.12.2022,	16:48:29	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:40	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:47:51	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:02	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:13	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:24	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:35	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:48:46	Unag: 5.74	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:47:57	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.75
15.12.2022,	16:48:08	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.75
15.12.2022,	16:48:19	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 94.00
15.12.2022,	16:48:30	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.75
15.12.2022,	16:48:41	Unag: 5.77	I: 0.10 T: 93.25
15.12.2022,	16:47:52	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.50
15.12.2022,	16:48:03	Unag: 5.76	I: 0.10 T: 93.75

Вывод данных с датчиков на

Экономическая часть ВКР

Затраты на разработку:
328949,38 рубля.

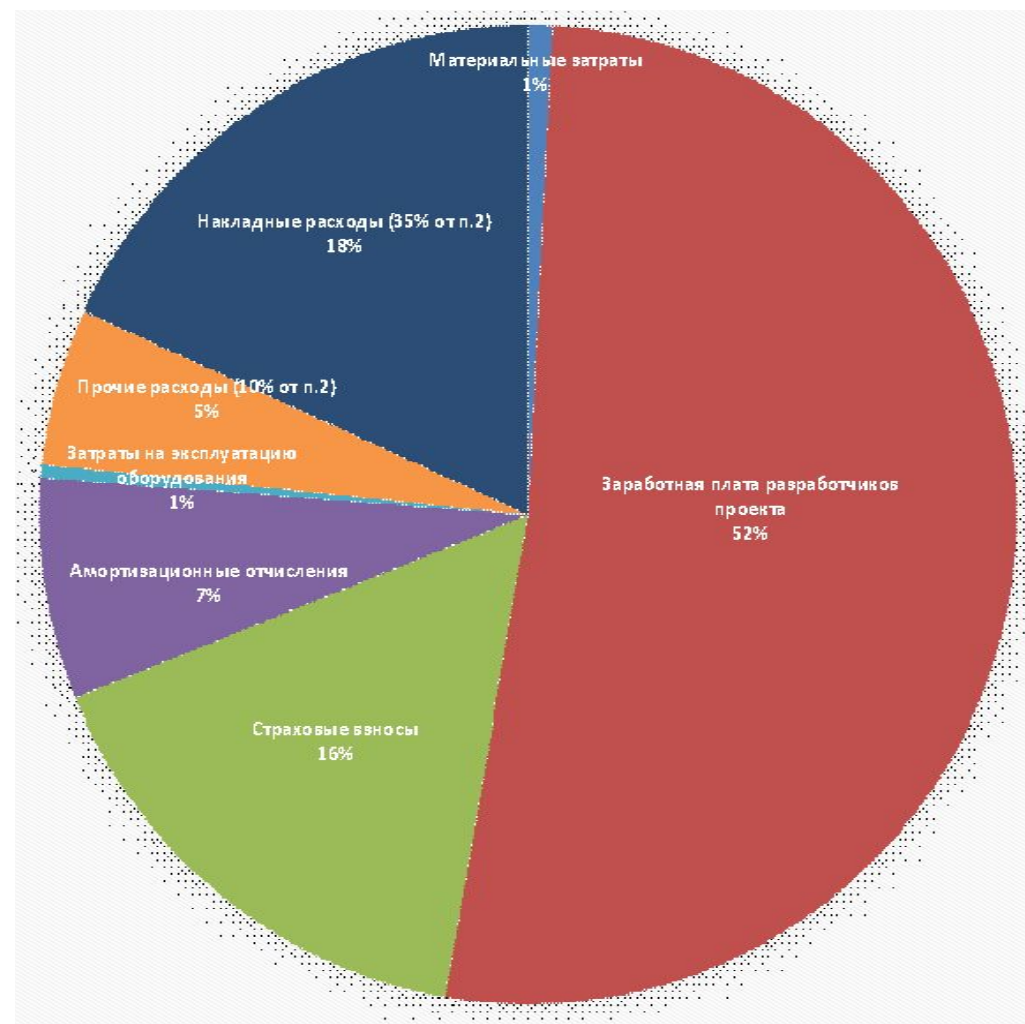


Рисунок 23 – Диаграмма структуры затрат на разработку проекта

Экономическая часть ВКР

Затраты на реализацию
(с учетом годового фонда
заработной платы):
976656,36 рубля.

Затраты на материалы и
оборудование: 1515

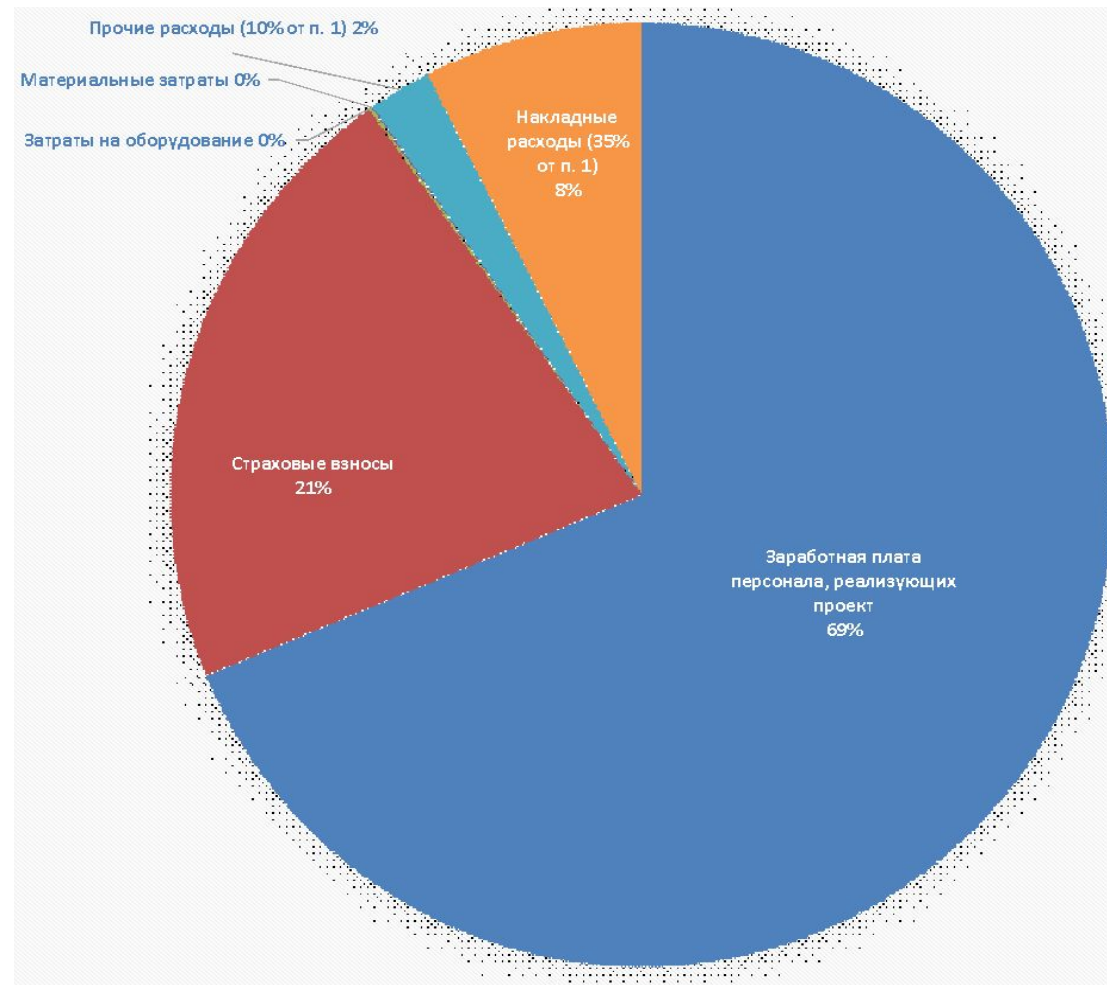


Рисунок 24 – Диаграмма структуры затрат на реализацию проекта

В ходе выполнения дипломного проекта разработано цифровое устройство для измерения технологических переменных лабораторного электролизёра с выходом данных о полученных измерениях на ПК. Выполнены следующие задачи:

- создана структурная схема;
- подобрано оборудование для разработки ЦУ;
- определен перечень сигналов ввода-вывода ЦУ;
- разработана электрическая принципиальная схема в программе Proteus;
- создан макет печатной платы (PCB);
- получена визуальная 3D-модель;
- написан программный код в FLProg на языке FBD;
- реализована принципиальная схема на макетной плате и проверена на работоспособность.

Спасибо за внимание!