

Национальный Исследовательский университет  
Московский Энергетический Институт

РАСЧЁТНОЕ ЗАДАНИЕ  
по дисциплине: «Основы конструирования»

Технико-экономический расчет устройства  
для измерения емкости аккумуляторов

Группа: А-15-12  
Выполнил: Малюга А.В.  
Проверил: Зорин А.Ю.

2015г

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.НАИМЕНОВАНИЕ И ЦЕЛЬ РАЗРАБОТКИ.....	4
2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ.....	4
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	3
3.1. Состав изделия и требования к конструкции.....	3
3.2. Климатические воздействия.....	3
3.3. Характеристика аккумулятора.....	5
3.4. Условия эксплуатации.....	4
4. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И РАБОТА УСТРОЙСТВА.....	5
4.1. Описание принципиальной схемы.....	4-5
4.2. Принцип работы.....	6-7
5. КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА.....	8
6. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ.....	9-10
6.1. Резисторы.....	9
6.2. Конденсаторы.....	9
6.3. Транзистор.....	9
6.4. Диоды.....	10
7. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ.....	11-14
8.РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ.....	15-17
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	15

## ВВЕДЕНИЕ

Аккумуляторы различных типов и ёмкости широко используются во многих автономных устройствах бытового и промышленного назначения. Это, например, детские игрушки, телефоны, портативные радиостанции, носимые дефектоскопы и др.

Ёмкость аккумуляторов зависит от их типа и производителя.

Аккумуляторы с большей ёмкостью часто обладают и большим током саморазряда, а это значит, что если вы используете их не сразу после зарядки, а в течение нескольких дней – то аккумуляторы с меньшей паспортной ёмкостью могут оказаться эффективнее.

Важную роль играет интенсивность использования аккумуляторов. Если планируется заряжать их не реже раза в неделю – то внимание стоит обращать на модели с паспортной ёмкостью порядка 2700 мА\*ч. Если аккумуляторы должны длительное время (существенно больше недели) лежать заряженными «на всякий случай» или использоваться в устройствах с низким потреблением, например, пультах дистанционного управления или часах, то предпочтение надо отдать моделям с пониженным током саморазряда, несмотря на их меньшую паспортную ёмкость.

# ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

## 1. НАИМЕНОВАНИЕ И ЦЕЛЬ РАЗРАБОТКИ

Устройство для измерения емкости аккумуляторов (*Li-ion*). Создать устройство на основе простой элементной базы для измерения электрического заряда аккумуляторов.

## 2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

Устройство будет использоваться в жилых, офисных и складских помещениях людьми, которым необходимо знать точную величину заряда аккумулятора.

## 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Основные:

- а) поддержание заданного тока разряда из диапазона 100–1000 мА при напряжении на блоке 5–8,5 В;
- б) отключение тока разряда при напряжении на блоке ниже определенного напряжения (5–7 В);
- в) измерение времени разряда заданным током;
- г) питание от *USB* порта;

Дополнительные

- а) запись в файл уровня напряжения на блоке не реже 1 раз в минуту;
- б) возможность разряда с фиксированной мощностью (ток\*напряжение = константа);

### 3.1 Состав изделия и требования к конструкции.

- д) пассивные и активные элементы, микроконтроллер;
- е) масса не более 0,2 кг;
- ж) корпус - пластик;

### 3.2 Климатические воздействия.

- а) Температура окружающего воздуха 15–35°C;
- б) Относительная влажность 70% при 30°C;
- в) Атмосферное давление 96 до 104 кПа;

### 3.3 Характеристика аккумулятора

**Литий-ионный аккумулятор (*Li-ion*)** —тип электрического аккумулятора, который широко распространён в современной бытовой электронной технике и находит своё применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в таких устройствах как сотовые телефоны, ноутбуки, электромобили, цифровые фотоаппараты и видеокамеры.

#### Характеристики Li-ion аккумуляторов

- напряжение единичного элемента:
  - номинальное: 3,6 В;
  - максимальное: 4,23 В;
  - минимальное: 1,5-3,0 В;
- удельная энергоёмкость: 110 ... 230 Вт\*ч/кг;
- внутреннее сопротивление: 5 ... 15 мОм/А\*ч;
- число циклов заряд/разряд до потери 80 % ёмкости: 600;
- время быстрого заряда: 15 мин ... 1 час;
- саморазряд при комнатной температуре: 3 % в месяц;
- диапазон рабочих температур: 0 ... +60° С;

### 3.4 Условия эксплуатации

Категория исполнения 4.2 (эксплуатация в закрытых помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями, использование в лабораторных и жилищных помещениях). Группа изделия Н7-портативная, предназначенная для длительной переноски на открытом воздухе при облегченных внешних воздействиях или в отапливаемых наземных и подземных сооружениях и работающие на ходу.

## 4. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И РАБОТА УСТРОЙСТВА

### 4.1. Описание принципиальной схемы

На рис. 1 приведена полная принципиальная схема устройства.

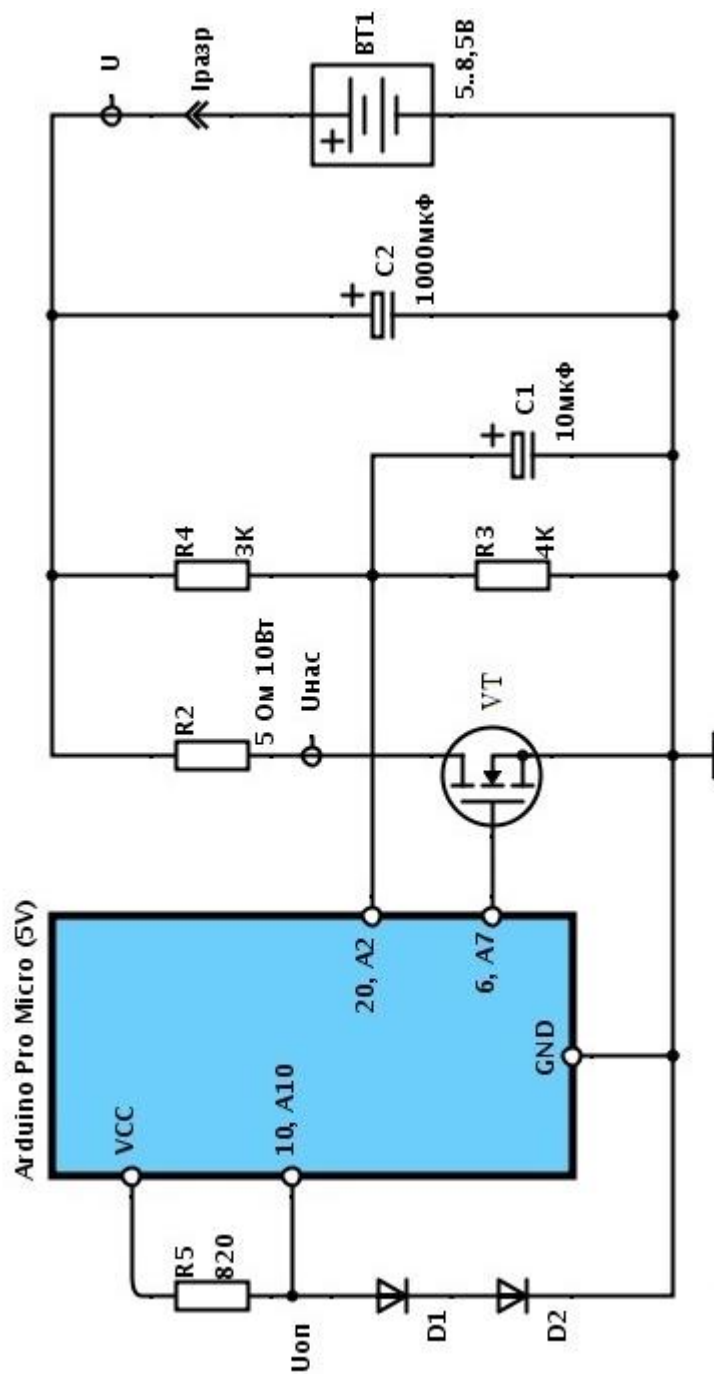


Рис.1 – Принципиальная схема устройства

Резистор  $R2$  - обеспечивает нагрузку батареи;

Транзистор  $VT$  - обеспечивает управляемый ток разряда (ключ на МДП транзисторе);

*Arduino* - выход с ШИМ управляет транзистором  $VT$ ;

Конденсатор  $C2$  - сглаживает импульсы, при работе ШИМ;

Резисторы  $R3$ – $R4$  образуют делитель напряжения разряда;

Элементы  $D1$ ,  $D2$  и  $R5$  образуют стабилизатор опорного напряжения.

## 4.2 Принцип работы устройства

Управляемый ток разряда обеспечивается ключом на мощном МДП транзисторе (см. Рис.1). Транзистор управляется сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с одного из выходов *Arduino*. Скважность ШИМ управляется программно путем записи в специальный регистр процессора числа в диапазоне  $x = 0..255$ . Значение  $x = 0$  соответствует постоянно закрытому ключу, 255 - постоянно открытому, при котором ток разряда равен  $I_{\text{макс}} = R2/(U - U_{\text{нас}})$ . Промежуточные значения  $x$  задают средний ток разряда по формуле  $I_{\text{разр}} = I_{\text{макс}} * x/255$ . Для ключа также можно использовать мощный биполярный  $n-p-n$  транзистор ( $VT$ ), например КТ819Г. Ток базы транзистора автоматически ограничивается максимальным током выхода *Arduino*, но лучше дополнительно поставить резистор 100 Ом. Полевой транзистор предпочтительнее из-за малой мощности управления и меньшего падения напряжения на открытом транзисторе.

Транзистор ( $VT$ ) работает в ключевом режиме и соответственно рассеивает незначительную мощность.

Конденсатор  $C2$  «сглаживает» импульсы напряжения  $U$ , вызванные скачками тока при работе ШИМ. Чтобы уменьшить необходимую емкость  $C2$ , частота ШИМ в *Arduino* увеличена в 64 раза по сравнению со стандартной настройкой. Это сделано путем уменьшения до 1 делителя частоты внутреннего таймера  $timer_0$ . Примечание: повышение частоты оказывает влияние на работу функции *delay* и прочих, зависящих от  $timer_0$ , что нужно компенсировать умножением параметра функции *delay* на 64.

Напряжение разряда уменьшается делителем на резисторах  $R3$  и  $R4$  до допустимого диапазона и измеряется на входе ( $A2$ ) *Arduino*. Поскольку *Arduino* измеряет напряжение относительно напряжения питания, а при питании от *USB* оно может заметно меняться, то результат измерения получается нестабильным. Эта проблема актуальна для *Arduino* с внутренним напряжением питания 5 В. Стабилизировать внутреннее напряжение питания для *Arduino* 5 В можно было бы использовав отдельный стабилизированный источник питания 5 В, либо не стабилизированный 6-12 В (с задействованием внутреннего стабилизатора *Arduino*), но это удорожало бы устройство. Вместо этого используется схема измерения напряжения относительно опорного ( $U_{on}$ ), получаемого от простейшего стабилизатора опорного напряжения на двух кремниевых диодах и резисторе.  $U_{on}$  подается на второй вход *Arduino* и используется в программе для вычисления усредненного отношения  $U/U_{on}$ . Настоящее  $U$  находится умножением усредненного значения на известное  $U_{on}$ . Вместо пары диодов можно использовать стабилитрон с напряжением стабилизации меньше 4 В или специализированные микросхемы-стабилизаторы.

Прилагаемая программа для *Arduino* 100 раз за секунду усредненное отношение  $U/U_{on}$ . Затем вычисляет  $U$  и по нему рассчитывает  $I_{\text{макс}}$ . Далее для требуемого  $I_{\text{треб}}$  вычисляет  $x = I_{\text{треб}}/I_{\text{макс}} * 255$ . Если  $x > 255$ , то  $I_{\text{треб}}$  не может быть достигнут при данном  $U$  и  $R_2$ , тогда  $x = 255$ , а  $I_{\text{разр}} = I_{\text{макс}}$ . В противном случае,  $I_{\text{разр}} = I_{\text{треб}}$ . Значения  $U$ ,  $I_{\text{разр}}$ ,  $x$  передаются на компьютер через виртуальный *COM*-порт. Через этот же порт с компьютера передается установка  $I_{\text{треб}}$ .

#### 4.2.1 Обработка и дополнительные возможности устройства.

Питание и передача информации на ПК осуществляется через *USB* порт. Программа получает строки через виртуальный *COM*-порт, фильтрует их (отбрасывает, если напряжение изменилось менее чем на 0.05 В по сравнению с предыдущим измерением), и пишет строки с указанием времени в файл *discharger.txt* в текущей директории. Файл можно импортировать в *Excel*, построить график и т.п.



## 5. КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

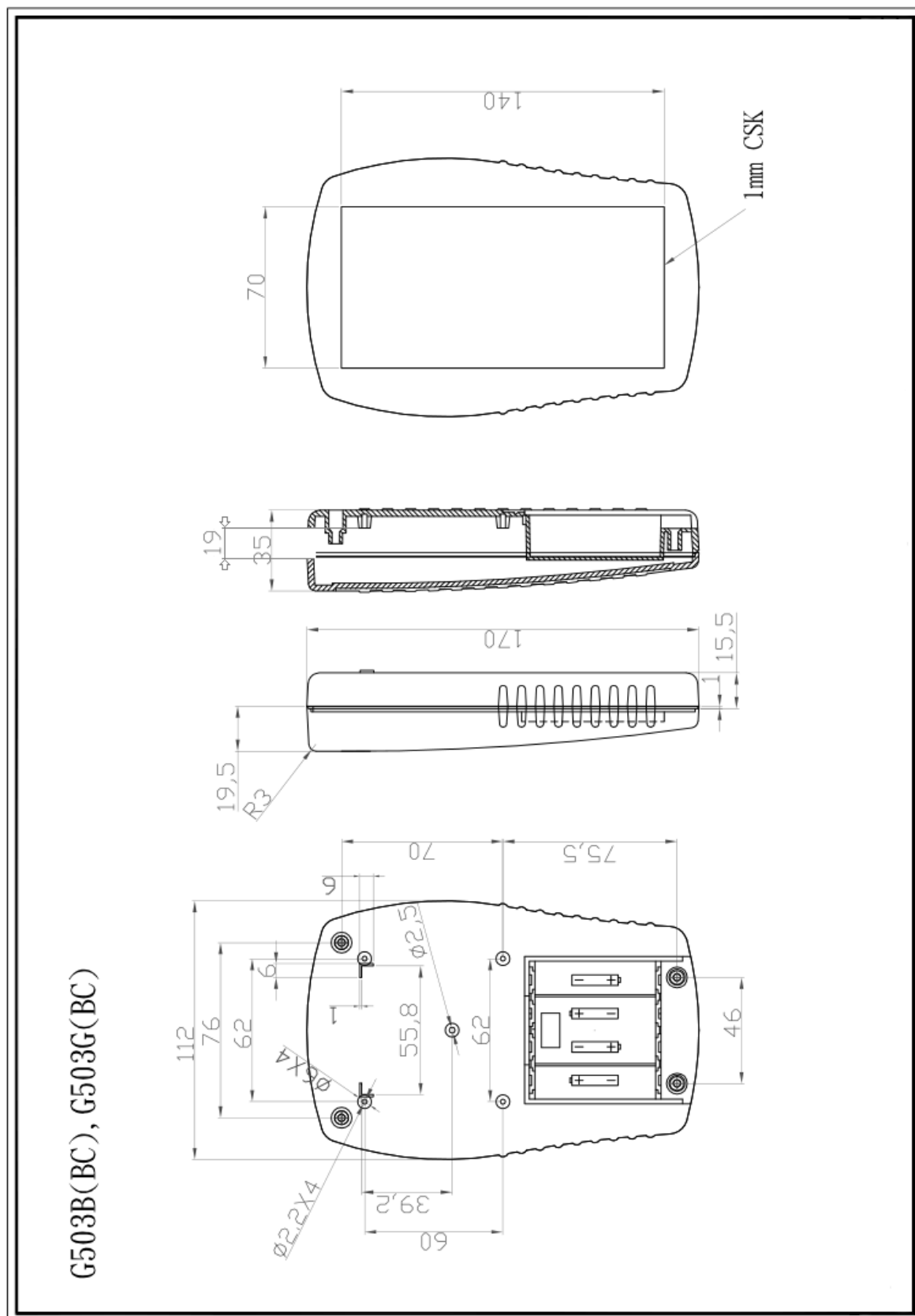


Рис. 1 – Эскиз корпуса

## 6.ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Данное устройство не является профессиональной аппаратурой, поэтому использование элементов с минимальными допусками не обязательно.

В схеме использованы детали:

- Резисторы углеродистые, выбираем исходя из минимальной стоимости, высокой надежности и стабильности параметров;
- Конденсаторы электролитические, выбираем исходя из минимальной стоимости, высокой надежности, высокой удельной емкости и высоким допустимым током пульсации;
- Диоды кремниевые, выбираем исходя из минимальной стоимости, широкого диапазона рабочих температур, низких обратных токов;
- Транзистор биполярный, выбираем исходя из высокой мощности, надежности и меньших потерь мощности в открытом режиме работы;

### 6.1. Резисторы

Описание:

Резисторы *CF-100* с углеродным проводящим слоем предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного тока. Являются заменой отечественных резисторов С1-4

Технические параметры:

Точность, %	5
Номинальная мощность, Вт	1
Максимальное рабочее напряжение, В	500
Рабочая температура, С	-55...155 <sup>0</sup> С
Длина корпуса L, мм	11
Диаметр корпуса, мм	4,5

### 6.2. Конденсаторы

Описание:

Алюминиевые электролитические конденсаторы *ECAP AXIAL*, благодаря электрохимическому принципу работы, обладают следующими преимуществами:

- высокая удельная емкость;
- высокий максимально допустимый ток пульсации;
- высокая надежность;

Предлагаемые алюминиевые электролитические аксиального типа конденсаторы являются аналогами отечественных конденсаторов: К50-12, К50-15, К50-24, К50-29.

### 6.3. Транзистор

Коэффициент передачи тока $h_{12э \text{ мин}}$	12
Максимально допустимый ток коллектора $I_{к \text{ max}}$ , А	10
Граничная частота коэффициента передачи тока $f_{гр}$ , МГц	3
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	1,5
Корпус	КТ-28

### 6.4. Диоды выпрямительные

Материал	кремний
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	1000
Максимально допустимый прямой импульсный ток, А	30
Максимальное прямое напряжение, В	1,1
Рабочая температура, °С	-65...150
Корпус	do204al

Выбор элементной базы осуществлен на основе интернет-магазинов (см.Список используемых источников) «Чип и Дип» [Электронный ресурс] и «Amperka» [Электронный ресурс].

Таблица 1 – Спецификация

№	Обозначение на схеме	Наименование изделия, тип	Номинал, допуск, рабочее напряжение	Цена за единицу [руб.]	Кол-во	Стоимость [руб.]
1	C1	Конденсатор, электролитический	10 мкФ±20%, 25 В	1,5	1	1,5
2	C2	Конденсатор, электролитический	1000 мкФ±20%, 25 В	1,5	1	1,5
3	R4	Резистор, углеродистый	3 кОм±5%, max 500 В	2	1	2

4	<i>R3</i>	Резистор, углеродистый	4 кОм±5%, <i>max</i> 500 В	2	1	2
5	<i>R2</i>	Резистор, углеродистый	5 кОм±5%, <i>max</i> 500 В	2	1	2
6	<i>R5</i>	Резистор, углеродистый	820 Ом±5%, <i>max</i> 500 В	2	1	2
7	<i>VT</i>	Транзистор, биполярный <i>n-p-n</i>	КТ819Г	35	1	35
8	<i>Arduino Pro Micro</i>	Микроконтроллер <i>Arduino Pro Micro</i>		470	1	470
9	<i>D1,D2</i>	Диод, выпрямительный	1N4007	6	2	12
10		Корпус <i>G500B</i>		132,75	1	132,75
Итого						660,75 руб.

## 7. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

### 7.1 Итоговая стоимость комплектующих

Итоговая стоимость комплектующих прибора составляет: 660,75 руб (см. табл.1).

С учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$C_{\text{компл(тр.з.)}} = C_{\text{компл}} \times 1,1 = 726,825 \text{ руб.} \quad (7.1)$$

### 7.2 Затраты на вспомогательные материалы.

Таблица 2 – Расчет стоимости вспомогательных материалов

№	Наименование материала	Ед. измерения	Количество на изделие	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
1	Припой ПОС-61	г	0,07 кг	170 руб.	119
2	Печатная плата FR4	м <sup>2</sup>	0,005 м <sup>2</sup>	7590 руб.	37,95
Итого:					156,95

С учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$C_{\text{мат(тр.з.)}} = C_{\text{мат}} \times 1,1 = 172,645 \text{ руб.} \quad (7.2)$$

Итого затрат на материалы:

$$C_{\text{мат сумм.}} = C_{\text{компл(тр.з.)}} + C_{\text{мат(тр.з.)}} = 899,725 \text{ руб.}$$

### 7.3 Основная заработная плата производственных рабочих.

Таблица 3 – Расчет стоимости монтажа печатной платы и сборки устройства

№	Наименование операции	Трудоемкость н/ч	Стоимость 1 н/ч, руб.	Заработная плата, руб.	Премия, руб.
1	Монтаж элементов на печатную плату	4	25	100	0
2	Сборка и наладка устройства	1	20	20	0
Итого:				120	

$$C_{\text{осн. з. п.}} = 120 \text{ руб.}$$

### 7.4 Дополнительная заработная плата.

$$C_{\text{доп.з.п.}} = C_{\text{осн.з.п.}} \times \eta_{\text{доп з.п.}}$$

$$\eta_{\text{доп з.п.}} = 10\%$$

$$C_{\text{доп.з.п.}} = 12 \text{ руб.}$$

#### 7.5 Отчисление на социальное страхование.

$$C_{\text{соц.страх.}} = \eta_{\text{с.с.}} \times (C_{\text{осн.з.п.}} + C_{\text{доп.з.п.}}) \quad (7.5)$$

$$\eta_{\text{с.с.}} = 39.5\%$$

$$C_{\text{соц.страх.}} = 52,14 \text{ руб.}$$

#### 7.6 Цеховые сборы.

$$C_{\text{цех.расх.}} = C_{\text{осн.з.п.}} \times \eta_{\text{цех.}} \quad (7.6)$$

$$\eta_{\text{цех.}} = 300\%$$

$$C_{\text{цех.расх.}} = 360 \text{ руб.}$$

Итого цеховая себестоимость:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{цех.расх}} + C_{\text{соц.страх}} + C_{\text{доп.з.п.}} + C_{\text{осн.з.п.}} + C_{\text{мат сумм.}} = 1443,865 \text{ руб.}$$

#### 7.7 Общецеховые расходы.

$$C_{\text{общецех.расх.}} = C_{\text{цех.}} \times \eta_{\text{общецех.}}$$

$$\eta_{\text{общецех.}} = 50\%$$

$$C_{\text{общецех.расх.}} = 721,93 \text{ руб.}$$

Итоговая себестоимость:

$$C_{\text{зап}} = C_{\text{общецех.расх.}} + C_{\text{цех.}} = 2165,7975 \text{ руб.}$$

#### 7.8 Внепроизводственные расходы.

$$C_{\text{внепр.}} = C_{\text{зап.расх.}} \times \eta_{\text{внепр.}} \quad (3.8)$$

$$\eta_{\text{внепр.}} = 5\%$$

$$C_{\text{внепр.}} = 108,29 \text{ руб.}$$

#### 7.9 Общая себестоимость.

$$C_{\text{полн.}} = C_{\text{зап.}} + C_{\text{внепр.}} \quad (3.9)$$

$$C_{\text{полн.}} = 2274,087 \text{ руб.}$$

## 8. РАСЧЁТ НАДЕЖНОСТИ

Надежность – это свойство устройства выполнять все заданные функции в определенных условиях эксплуатации при сохранении значений основных параметров в заранее установленных пределах. Надежность это физическое свойство электронного устройства, которое зависит от количества и качества, входящих в него элементов, от условия эксплуатации и ряда других причин.

Основным коэффициентом, на основании которого можно сделать выводы о надежности устройства является интенсивность отказов. Интенсивность отказов показывает, какая доля всех изделий или элементов данного типа в среднем выходит из строя за единицу времени.

Интенсивность отказов отдельного элемента может быть рассчитана по формуле:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot k \cdot \alpha \cdot \pi_y \cdot \pi_k \cdot N$$

$\lambda_0$  -интенсивность отказов;

$\pi_y$  -коэффициент, отражающий влияние условий эксплуатации;

$\pi_k$  -коэффициент, отражающий влияние системы контроля;

$\alpha$  -коэффициент влияния;

$k$  -коэффициент нагрузки;

$N$  –количество однотипных элементов.

Коэффициент  $\lambda_0$  берется из справочника для каждого отдельного класса элементов.

Коэффициент  $\pi_y$  выбирается исходя из условий эксплуатации.

Исходя из особенностей применения и эксплуатации прибора, подразумевающих, прежде всего, работу в закрытых помещениях, то выберем  $\pi_y = 3$

Коэффициент  $\pi_k$  выбирается исходя из влияния системы контроля. Выберем  $\pi_k = 1$ , поскольку такая система является оптимальной и позволит снизить количество заводского брака.

Необходимым условием получения наиболее точных характеристик надежности при окончательном расчете является знание зависимости интенсивности отказов элементов от воздействующих факторов. Наиболее существенными внешними факторами являются температура окружающей среды, нагрузки, влажность и атмосферное давление. Влияние на величину интенсивности отказов каждого из указанных факторов учитывается при расчете надежности с помощью поправочных коэффициентов  $k$  и  $\alpha$ .

Влияние на надежность фактического значения рабочей температуры и одновременно коэффициента нагрузки можно определить с помощью коэффициента влияния. Для нашего случая выбираем максимальное значение рабочей температуры по техническому заданию равное 35°C.

Влияние особенностей использования элементов в схеме устройства можно оценить с помощью коэффициента нагрузки. Коэффициентом нагрузки  $k$  называют отношение фактического значения воздействующего фактора к его нормальному значению. При увеличении коэффициента нагрузки интенсивность отказов элемента увеличивается.

Коэффициент нагрузки определяется по следующим формулам:

– для диодов  $k = \frac{I}{I_{\max}}$ , где  $I$  – фактический ток,  $I_{\max}$  – максимально

допустимый ток;

– для конденсаторов  $k = \frac{U}{U_i}$ , где  $U$  – фактическое напряжение на

конденсаторе,  $U_i$  – номинальное напряжение;

– для резисторов  $k = \frac{P}{P_i}$ , где  $P$  – фактическая мощность,  $P_i$  –

номинальная мощность.

Например, для резистора  $R2$ :

Номинальная мощность резистора  $P_i = 10$  Вт, а фактически на резисторе рассеивается  $P = 8,5$  Вт. Коэффициент нагрузки по мощности в данном

случае равен  $k = \frac{P}{P_i} = \frac{8,5}{10} = 0,85$

Для диодов  $D1, D2$ :

Фактический ток  $I = 40$  мА, а максимально допустимый прямой импульсный ток  $I = 30$  А. Отсюда следует, что коэффициент нагрузки по току в данном случае равен  $k = \frac{I}{I_i} = \frac{0,04}{30} = 0,001$ .

Для конденсатора  $C2$ :

Номинальное значение рабочего напряжения конденсатора  $U = 50$  В, а фактически в схеме к обкладкам конденсатора приложено напряжение  $U_i = 6$  В. Отсюда следует, что коэффициент нагрузки по напряжению в данном случае равен  $k = \frac{U}{U_i} = \frac{5}{50} = 0,1$ .

Интенсивность отказов всего устройства можно рассчитать по формуле:

$$\Lambda = \sum \lambda$$

Для удобства введём необходимые для расчёта надёжности данные по всем компонентам схемы в таблицу (см. Таблица 4).



Таблица 4 – Коэффициенты надежности компонентов схемы

Элемент	Кол- во $N$	$\lambda_0 (10^{-5} \frac{1}{час})$	$k$	$\alpha$	$\pi_y$	$\pi_k$	$\lambda (10^{-5} \frac{1}{час})$
Резистор $R2$	1	0,07	0,85	0,40	3	1	0,071
Резистор $R3$	1	0,07	0,018	0,40	3	1	0,001512
Резистор $R4$	1	0,07	0,024	0,40	3	1	0,002016
Резистор $R5$	1	0,07	0,0031	0,40	3	1	0,0002604
Конденсатор $C1$	1	0,035	0,1	0,15	3	1	0,001575
Конденсатор $C2$	1	0,035	0,1	0,15	3	1	0,001575
Транзистор $VT$	1	0,05	0,1	0,1	3	1	0,0015
Диод $D1, D2$	2	0,02	0,001	0,3	3	1	0,000036
Пайка	26	0,01	0,005	0,1	3	1	0,00039
Микроконтроллер <i>Arduino Pro Micro</i>	1	1,0	1,0	0,25	3	1	0,75

По полученным данным можем рассчитать среднее время наработки на отказ.

Среднее время наработки на отказ является величиной обратной к интенсивности отказов всего устройства.

Среднее время наработки на отказ:

$$T = \frac{1}{\sum \lambda} = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{0,83 \cdot 10^{-5}} = 12050 \text{ часов} = 1 \text{ год и 4 месяца.}$$

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Радиодетали *Amperka* [Электронный ресурс]: <http://www.amperka.ru> (12 декабря 2014)
2. Разработчик микроконтроллера [Электронный ресурс]: <http://www.arduino.cc> (12 декабря 2014)
3. Статьи тестов аккумуляторов [Электронный ресурс]: <http://fcenter.ru/online/hardarticles> (12 декабря 2014)
4. Корпуса для РЭА [Электронный ресурс]: [http://www.gainta.com/plastic\\_housing](http://www.gainta.com/plastic_housing) (12 декабря 2014)
5. Зорин А.Ю. , Попко В.П. Основы конструирования электронных устройств
6. Сарафанов А.В. Основы проектирования электронных средств: Техническое задание. Формирование и анализ .Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие
7. Радиодетали «Чип и Дип» [Электронный ресурс]: <http://www.chipdip.ru> (21.12.2014)