

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

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
 (код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника  
 (наименование профиля, специализации)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему Холодильник-термостат на элементах Пельтье

Студент(ка)	Яковлев А. С.	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	Кудинов А. К.	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	-	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	-	
	_____	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой <u>к.т.н., доцент А.А. Шевцов</u>	_____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2016

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

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «Промышленная электроника»

\_\_\_\_\_ А.А. Шевцов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение бакалаврской работы**

Студент Яковлев Александр Сергеевич

1. Тема «Холодильник-термостат на элементах Пельтье»
  2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 30 Мая 2016г.
  3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе \_\_\_\_\_  
Напряжение питания: 12В; Ток потребления, не более 10А; Рабочий объём, не менее 25л.;  
Индикация: цифровая.
  4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) Аннотация. Введение. 1. Состояние вопроса. 2. Основная часть. 2.1. Выбор элементов Пельтье. 2.2. Выбор структуры схемы управления. 2.3. Принципиальная электрическая схема системы управления. 3. Конструкторская часть. 4. Экономическая часть. Заключение.
  5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала 1. Разновидности элементов Пельтье. 2. Структурная схема системы управления. 3. Система управления холодильником. Схема электрическая принципиальная. 4. Конструкция системы управления. 5. Холодильник. Общий вид. 6. Обзор рынка.
  6. Консультанты по разделам \_\_\_\_\_
7. Дата выдачи задания « 01 » февраля \_\_\_\_\_ 2016\_\_ г.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_ (подпись)

А.К. Кудинов  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись)

А.С. Яковлев  
(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Объем 53 с., 34 рис., 3 табл., 20 источников, 2 прил.

### ХОЛОДИЛЬНИК-ТЕРМОСТАТ НА ЭЛЕМЕНТАХ ПЕЛЬТЬЕ.

Объектом исследования являются термоэлектрические холодильные установки.

#### Цели работы:

- Увеличение срока хранения скоропортящихся продуктов, что является актуальным в длительных поездках
- Повышение надёжности в сравнении с компрессионными холодильниками
- Снижение уровня шума холодильника
- Повышение устойчивости к ударным нагрузкам

#### Задачи работы:

- 1.Выбрать оптимальные элементы Пельтье
- 2.Разработать структурную систему управления, которая обеспечивала бы задание температуры, определение действительной температуры, релейный механизм управления элементами Пельтье
- 3.Разработать принципиальную схему
- 4.Разработать конструкцию электронной схемы управления
- 5.Разработать конструкцию холодильника
- 6.Изготовить конструкцию электрической схемы
- 7.Изготовить конструкцию холодильника
- 8.Провести экспериментальные исследования схемы управления и холодильника
- 9.Оценить стоимость разработки

Работа состоит из четырех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Аналитические расчеты были проведены с использованием пакета MathCad 2001, код программы управления был написан в программной среде Arduino IDE.

В процессе работы был создан холодильник-термостат на элементах Пельтье, на котором и проводилось тестирование работы разработки.

Степень внедрения — установка по разработанной документации является опытным образцом.

Областью применения данной разработки является частное пользование для охлаждения продуктов питания или каких-либо других предметов, веществ, жидкостей.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	5
1.1 История термоэлектрики.....	5
1.2 Элемент Пельтье, его физические и конструктивные особенности .....	6
1.2.1 Что такое элемент Пельтье .....	6
1.2.2 Влияние передаваемого тепла на $\delta T$ .....	7
1.2.3 Преимущества и недостатки применения элементов Пельтье.....	8
1.2.4 Производительность элементов Пельтье.....	9
1.2.5 Выводы.....	11
1.3 Область применения Элементов Пельтье.....	11
1.4 Обзор рынка термоэлектрических холодильников .....	16
1.4.1 Экземпляры промышленных производителей.....	16
1.4.2 Частные разработки .....	20
ГЛАВА 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ .....	23
2.1 Выбор элементов Пельтье .....	23
2.2 Выбор структуры схемы управления .....	24
Выводы дисплея. ....	27
Режим самотестирования. ....	28
Вывод информации. ....	29
Создание собственных символов. ....	29
2.3 Принципиальная электрическая схема системы управления.....	33
ГЛАВА 3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	35
3.1 Разработка и изготовление конструкции электронной схемы управления .....	35

3.2 Разработка и изготовление конструкции холодильника.....	36
3.3 Проведение экспериментальных исследований холодильника .....	41
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Для человечества вопрос перевозки скоропортящихся продуктов на дальние расстояния в сохранности всегда был актуальным. На сегодняшний день хорошо зарекомендовали себя компрессионные холодильные установки. Но если для перевозки продуктов в промышленных масштабах подобные установки вполне обоснованы благодаря своей холодильной мощности, то для частного пользования холодильники без движущихся частей и газовых хладагентов более предпочтительны ввиду своей надёжности, бесшумности и устойчивости к ударным нагрузкам. Такими холодильниками являются термоэлектрические холодильники. Также, следует отметить, что стоимость компрессионных холодильников значительно выше термоэлектрических аналогов. Этим и обусловлена актуальность работы.

Объектом исследования являются холодильные установки. Предметом исследования – термоэлектрические холодильные установки.

Цели работы:

- Увеличение срока хранения скоропортящихся продуктов, что является актуальным в длительных поездках
- Повышение надёжности в сравнении с компрессионными холодильниками
- Снижение уровня шума холодильника
- Повышение устойчивости к ударным нагрузкам

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 1.1 История термоэлектрики

В 1821 году немецкий ученый Томас Иоганн Зеебек обнаружил, что цепь, выполненная из двух разнородных металлов, спаи которых находились при различных температурах, отклоняет стрелку компаса. Зеебек изначально считал, что это было связано с магнетизмом, вызванным разностью температур. Тем не менее, он быстро понял, что это электрический ток, который индуцируется по закону Ампера и отклоняет магнитную стрелку. Говоря более конкретно, разность температур производит разность потенциалов (напряжение), которое возбуждает электрический ток в замкнутом контуре. Сегодня это известно как эффект Зеебека.

Напряжение пропорционально разности температур между горячей и холодной сторонами (уравнение (1)). Коэффициент пропорциональности, а известен как коэффициент Зеебека, и его часто называют термоЭДС. Напряжение Зеебека не зависит от распределения температуры вдоль металлов между контактами. Это физическая основа для термопар, которая часто используется для измерения температуры.

$$U_{\text{Пельтье}} = a (T_h - T_c) \quad (1)$$

В 1834 году французский часовщик и частично физик Жан Чарльз Атанас Пельтье обнаружил, что электрический ток будет производить нагрев или охлаждение на стыке двух разнородных металлов.

В 1838 году Ленц показал, что в зависимости от направления тока, тепло может быть либо удалено от стыка и замораживать воду, или путем изменения направления тока, тепло может быть сгенерировано для таяния льда. Тепло поглощается или создается на стыке в зависимости от направления тока, коэффициент пропорциональности называется коэффициентом Пельтье.



Двадцать лет спустя Уильям Томсон (впоследствии лорд Кельвин) издал подробное объяснение эффектов Зеебека и Пельтье и описал их взаимосвязь. Коэффициенты Зеебека и Пельтье связаны между собой термодинамикой. Этот термодинамический вывод помог Томсону предсказать третий термоэлектрический эффект, известный как эффект Томсона. В эффекте Томсона тепло поглощается или производится при протекании тока в материале с градиентом температуры. Тепло пропорционально как электрическому току, так и градиенту температуры. Коэффициент пропорциональности, известный как коэффициент Томсона связан с термодинамикой коэффициента Зеебека.

## 1.2 Элемент Пельтье, его физические и конструктивные особенности

### 1.2.1 Устройство элемента Пельтье

Термоэлектрический модуль (ТЭМ), или же элемент Пельтье, представленный на рисунке 1 – это конструктивно завершённое устройство, состоящее из большого количества (например, 127-ми) термопар, соединённых между собой коммутационными пластинами, расположенных в прямоугольной форме, и помещённых между двумя тонкими керамическими пластинами.

Количество термопар может быть изменено в широких пределах: от единиц до сотен, что позволяет конструировать ТЭМ с холодильной мощностью от десятых долей до сотен Ватт с рабочим напряжением от десятых долей до десятков Вольт.

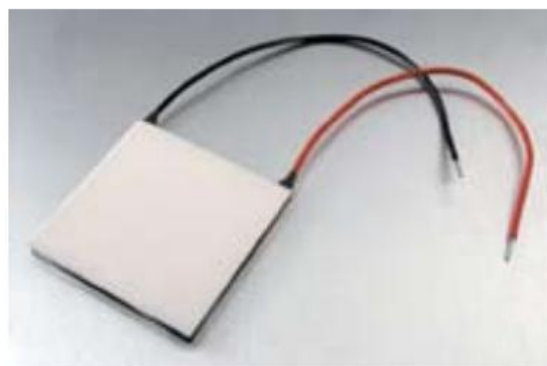
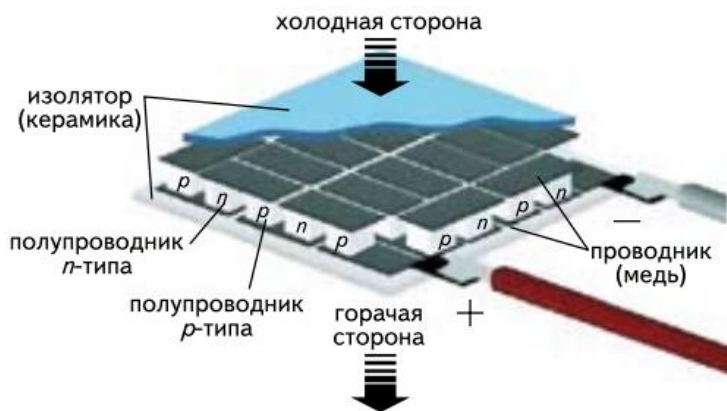


Рисунок 1 – Конструктивное исполнение и внешний вид ТЭМ

### 1.2.2 Влияние передаваемого тепла на $\delta T$

Типичная максимальная разность температур между горячей и холодной сторонами ТЭМ, именуемая  $\delta T$ , составляет около 70 °С. Означает ли это, что добавление элемента Пельтье между теплоотводом и источником тепла будет вызывать снижение температуры охлаждаемого устройства на 70 °С? Нет, это было бы слишком хорошо, чтобы быть правдой. Указанное значение появляется только тогда, когда элемент Пельтье не передает тепло - ситуация, которая не встречается в реальных системах охлаждения. Фактическая  $\delta T$  является линейной функцией мощности, передаваемой через термоэлемент, с отрицательным наклоном.

Если посмотреть на график (рисунок 2), можно увидеть, что, например, если элемент Пельтье будет иметь разность температур 55 °С, он может передать 10 Вт энергии (в виде тепла). Вы также увидите, что в одной точке - на 40 Вт в случае данного примера - дельта Т становится равной нулю. Это происходит, когда ТЭМ достиг своего максимального потенциала теплопереноса ( $Q_{\text{макс}}$ ). Таким образом, ТЭМ из примера не может передавать более 40 Вт.

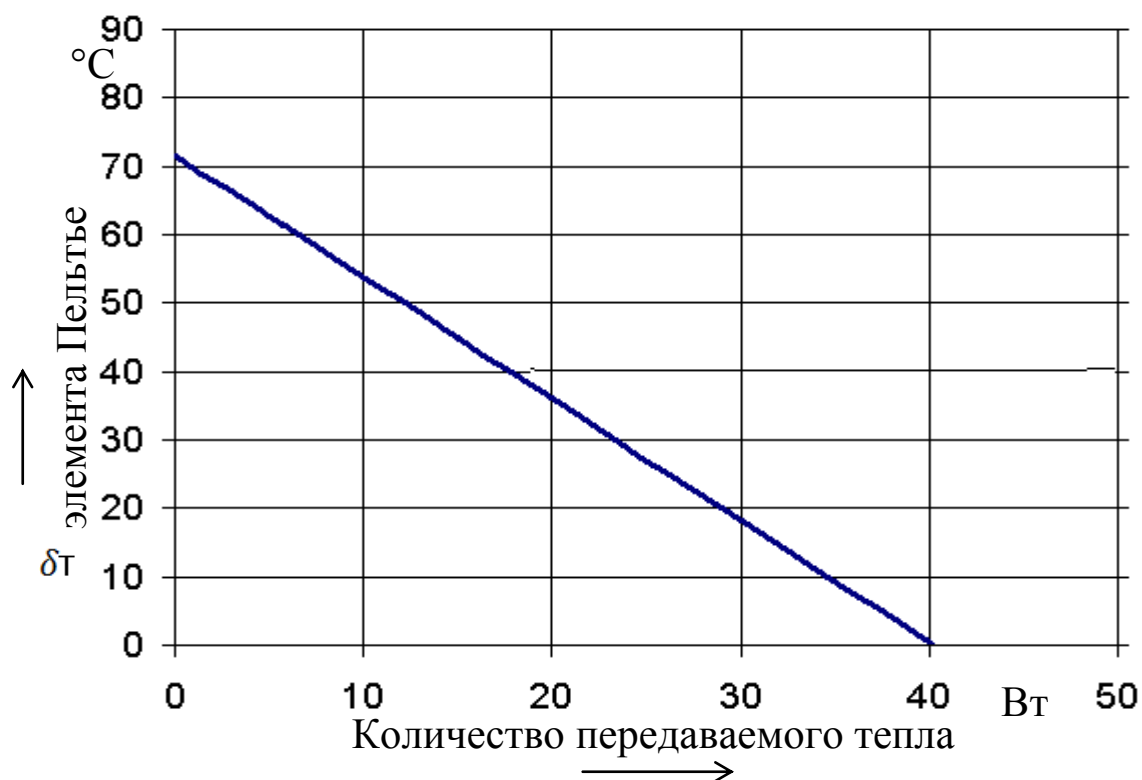


Рисунок 2 – Упрощённый график зависимости количества передаваемого тепла от разности температур

Представьте, что вы охлаждаете процессор с использованием мощности 35 Вт, используя обычный радиатор. Упадёт ли температура, если вы добавите элемент Пельтье из примера между процессором и радиатором? Нет. По одной простой причине: в дополнение к транспортировке тепла, элементы Пельтье также выделяют значительное количество тепла (и следовательно, используют значительные объёмы электроэнергии). Таким образом, радиатор должен будет рассеивать значительно больше тепла, чем раньше, и станет намного горячее.

### 1.2.3 Преимущества и недостатки применения элементов Пельтье

Как уже упоминалось выше, высокая потребляемая мощность и высокая рассеиваемая мощность являются самыми большими проблемами, связанными с

ТЭМ. В дни первого поколения процессоров компании “Pentium”, готовые комбинации Пельтье/теплоотвод были широко доступны и могли быть установлены и использованы как обычный радиатор.

Для современных процессоров, с рассеиваемой мощностью более 100 Вт, строительство процессорного кулера на основе Пельтье, используя только элемент Пельтье и теплоотвод, является довольно сложной задачей, и готовые Пельтье охладители редки и дороги. С такими охладителями можно отвести более 200 Вт тепла. Для современных процессоров лучше сочетать элементы Пельтье с водяным охлаждением. В любом случае, в результате система охлаждения будет дорогой, из-за высокой потребляемой мощности. Большая рассеиваемая мощность потребует мощных (и, таким образом, громких) вентиляторов.

После того, как выяснили проблемы, связанные с элементами Пельтье, не будем забывать об их самом большом преимуществе: они позволяют охлаждать ниже температуры окружающей среды, но в отличие от других систем охлаждения, которые позволяют это (охлаждение фреоном), они являются менее дорогими и более компактными. Элементы Пельтье являются твердотельными устройствами без движущихся частей; они чрезвычайно надежны и не требуют технического обслуживания.

#### 1.2.4 Производительность элементов Пельтье

Есть одна вещь, которую необходимо учитывать: термопара всегда остаётся термопарой, таким образом, когда к ней прикладывается напряжение и получается разность температур, также вызывается обратное напряжение, создаваемое эффектом Зеебека. Это очень похоже на обратную ЭДС, создаваемую внутри электродвигателя, таким образом, также как двигатели, ТЭМ показывают отрицательную линейную зависимость от нагрузки выходной кривой. Также, когда напряжение подается через блок ТЭМ, то и ток протекает через ТЭМ. Это приводит к внутреннему нагреву за

счет потерь  $I^2R$ . Это очень важный момент, потому что прикладывается гораздо больше тепла к радиатору, которое он должен охладить.

На рисунке 3 показана зависимость переданного тепла от разности температур на Пельтье при питании 12 Вольт. Вертикальная ось, расположенная слева, показывает разность температур ( $^{\circ}\text{C}$ ), и полную мощность теплоотвода (Ватт). Вертикальная ось справа - Ток (ампер). Первое, что вы заметите, что независимая ось – ось передаваемой мощности. Следующее, что вы можете заметить, возможность сразу увидеть количество мощности, передаваемой на теплоотвод в зависимости от количества энергии, переданной в ТЭМ. Например, на 15 Ватт теплопередачи через элемент Пельтье вы получите еще почти 30 Ватт потерь, что создаст около 45 Ватт на радиаторе. Это показывает, что ТЭМ добавляют немало "лишнего" тепла к общей системе.

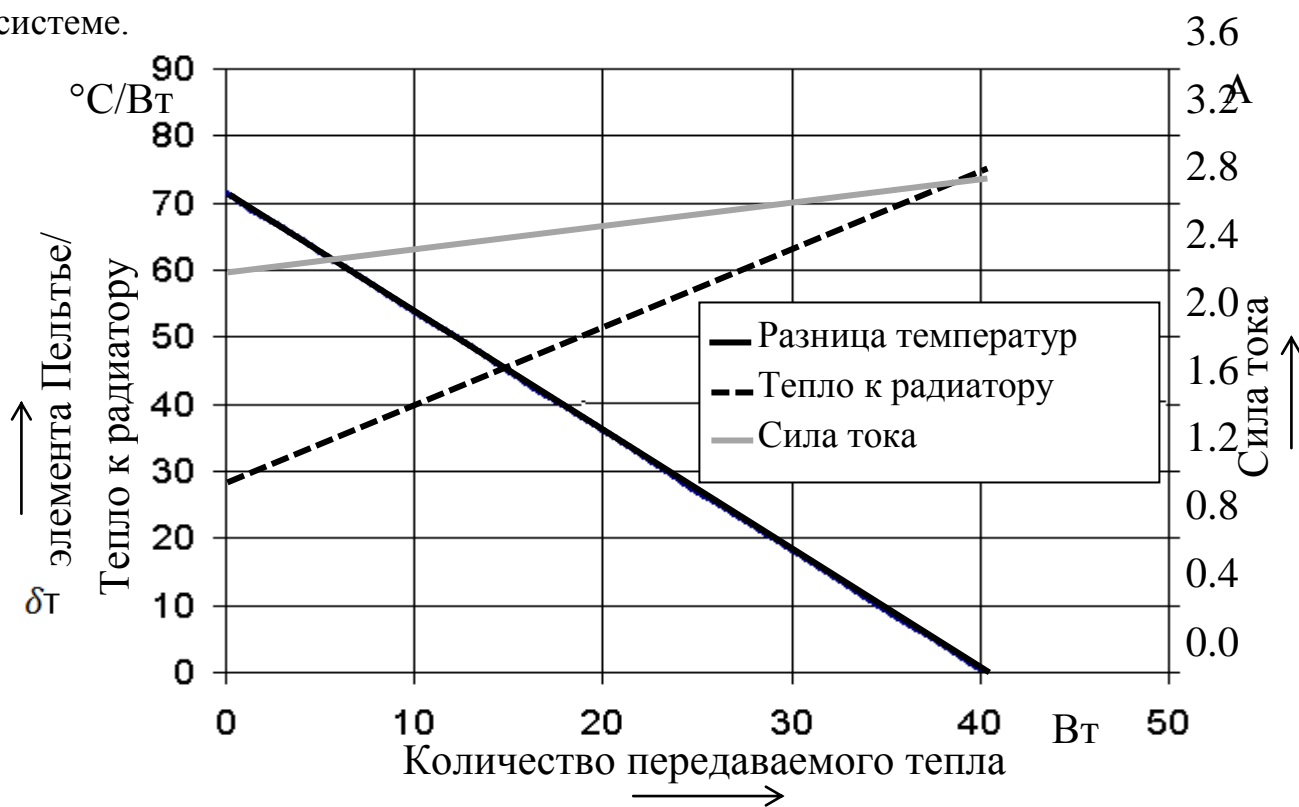


Рисунок 3 – Производительность ТЭМ

Предположим, что нагрузка отдаёт 15 ватт, сопротивление  $R$  радиатора равно  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ , а температура окружающей среды  $25^{\circ}\text{C}$ . Тогда, интерполируем вдоль кривой ТЭМ к нагрузке (15 Вт) и найдём, что  $\delta T$  равно  $45^{\circ}\text{C}$ . А общая выходная мощность составляет около 43 Вт к радиатору.  $43 \text{ Вт} \cdot 0,5^{\circ}\text{C}/\text{Вт} = 21,5^{\circ}\text{C}$ . Таким

образом, радиатор будет иметь температуру  $25 + 21,5 = 46,5$  °С. ТЭМ обеспечит разность температур 45 °С и, таким образом, на холодной стороне температура ТЭМ будет  $46,5 - 45 = 1,5$  °С. Это довольно холодно, но могут возникнуть проблемы с конденсацией.

Теперь рассмотрим ситуацию с менее выгодным примером: предположим, что теплоотвод плохого качества; предположим, что сопротивление радиатора составляет 1,5 °С/Вт - тогда радиатор будет разогрет до 65 °С над окружающей средой, а  $65 + 25 = 90$  °С, тогда температура на холодной стороне будет 45 °С. А если не использовать ТЭМ, тогда у нагрузки будет температура  $15\text{Вт} * 1,5^\circ\text{C}/\text{W} = 22,5$  °С над окружающей средой, или 47,5 °С. В этом случае, вероятно, не стоит использовать ТЭМ, потому что он добавит дополнительно 30 Ватт.

### 1.2.5 Выводы

В заключении можно сказать, что ТЭМ представляют собой твердотельные устройства перекачки тепла, которые могут уменьшить температуру какого-либо элемента, но требуют некоторой предусмотрительности в применении. Если ТЭМ подобран неправильно, то он может фактически нагреть вашу нагрузку, а не охладить её. Самое главное, что радиатор и ТЭМ должны быть правильно подобраны в соответствии с тепловой нагрузкой. Охладитель должен, по крайней мере, держать температуру только на 15-18 °С выше температуры окружающего воздуха без ТЭМ. ТЭМ должен иметь максимальную теплопередачу в 2 - 3 раза больше, чем количество тепла, что отдаёт нагрузка.

### 1.3 Область применения Элементов Пельтье

Термоэлектрические модули довольно широко используются в системах охлаждения.

Например, в кондиционерах для автомобилей (рисунок 4). Кондиционер содержит корпус с установленными в нем термоэлектрическими блоками.



Рисунок 4 - Термоэлектрический кондиционер для кабины КАМАЗа

Термоэлектрические блоки установлены на расстоянии друг от друга и состоят из радиаторов с ребристыми поверхностями, между которыми размещены термоэлектрические элементы. Радиаторы термоэлектрических блоков размещены в разных частях корпуса, разделенного перегородкой. В каждой части корпуса выполнено воздухозаборное устройство, сообщающееся с атмосферой. В средней части корпуса по его оси установлен двигатель, на выходных валах которого закреплены вентиляторы. Верхний вентилятор размещен во входном отверстии корпуса, связанном воздуховодом с воздухозаборником, а нижний вентилятор размещен в патрубке для подвода воздуха в кабину. Верхняя часть корпуса имеет воздухоотвод, сообщающийся с атмосферой.

Также ТЭМ применяются для охлаждения процессоров компьютеров. Пример конечной конструкции представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – применение конструкции с ТЭМ для охлаждения процессора компьютера

Следует обратить внимание, что модули Пельтье нельзя устанавливать непосредственно на ядро/теплораспределительную крышку чипов – тонкая керамическая подкладка не способна поддерживать эффективную теплопередачу ко всем полупроводниковым парам, составляющим ТЭМ. Для этой цели лучше всего подойдет промежуточный «буфер» – медная пластинка толщиной 5–7 мм, полностью закрывающая поверхность модуля.

В случае охлаждения компонентов до температур ниже комнатных (в частности, ниже «точки росы») стоит ожидать появления конденсата на переохлажденных поверхностях. Понятно, что вода в таком виде является главным врагом пользователя, и ее выделение необходимо предупредить. Делается это путем тщательной теплоизоляции любых поверхностей (частей РСВ, околосокетного пространства с обеих сторон платы, собственно ТЭМ, теплораспределителя процессора и GPU) материалами, не пропускающими воздух. Лучше всего для этих целей подходит стандартный теплоизоляционный материал для труб водоснабжения (на основании вспененного каучука), специальные замазки, отдельные виды



поролону, поставляемого в комплекте с компонентами ПК. Теплоизоляция обеспечит повышение общего КПД установки.

Помимо охладительных систем элементы Пельтье также применяются для производства электричества, то есть, как генератор. Так, устройство, представленное на рисунке 6, производит достаточно электричества, чтобы запитать радиоприёмник. Одна сторона ТЭМ обращена к стеклу керосиновой лампы, вторая к радиатору на ней. Таким образом, сторона у лампы нагревается, а у радиатора – охлаждается.



Рисунок 6 – Применение ТЭМ для питания радиоприёмника

Говоря о более современном применении, можно представить термоэлектрическое зарядное устройство для, например, мобильного телефона, которое можно использовать в длительном походе (рисунок 7).



Рисунок 7 – Использование ТЭМ для зарядки телефона

Термоэлектрический генератор, в котором отсутствуют вращающиеся, трущиеся и какие-либо другие изнашиваемые части, позволяет непосредственно получать электричество из любого источника тепла: выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, горячей воды геотермальных источников, "бросового" тепла теплоэлектростанций и тому подобного.

Возвращаясь к теме диплома, рассмотрим применение элементов Пельтье в холодильниках, а именно, автомобильных холодильниках (рисунок 8).



Рисунок 8 – Пример термоэлектрического холодильника

Конструкция оных довольно проста: гидроизолированный корпус, также с теплоизоляцией, элемент (ы) Пельтье, радиатор и, в зависимости от ценовой категории, наличие или отсутствие пользовательской системы управления.

#### 1.4 Обзор рынка термоэлектрических холодильников

Чтобы понять, к какому конечному результату следует стремиться, рассмотрим экземпляры как крупных, промышленных производителей, так и частные разработки, созданные любителями.

##### 1.4.1 Экземпляры промышленных производителей

Термоэлектрический автохолодильник AVS CC-32B (рисунок 9). Холодильник низкой ценовой категории



Рисунок 9 – Термоэлектрический автомобильный холодильник низкой ценовой категории

Технические данные:

Система охлаждения: термоэлектрическая (система Пельтье)

Объем: 32 литра

Универсальное питание: 12/220 В

Потребление энергии в режиме охлаждения: 45 Вт

Мощность в режиме нагрева: 35 Ватт

Охлаждение: на 15-18°C ниже температуры окружающей среды

Нагрев: до +65°C

Внутренняя изоляция: пенополиуретан

Материал: ударопрочный литой пластик

Вес: 6,6 кг

Габариты: 475x310x440 мм

Цена: 6750 р.

Информация взята с сайта интернет-магазина <http://topradar.ru/>

Термоэлектрический автохолодильник Mobicool G35 (рисунок 10).

Холодильник средней ценовой категории.



Рисунок 10 – Термоэлектрический автомобильный холодильник средней ценовой категории

Технические данные:

Система охлаждения: термоэлектрический (система Пельтье)

Объем: 35 литров

Универсальное питание: 12 / 220 В

Потребление энергии: 48 Вт при 12В

Класс энергопотребления: А

Охлаждение: до 20°C ниже температуры окружающей среды (от +1°C до +15°C)

Нагревание: до +65°C

Внутренняя изоляция: пенополиуретан

Материал: ударопрочный литой пластик

Цвет: Темно-серый

Вес: 8.1 кг

Габариты (Д x Ш x В) 540x350x445 мм

Цена: 13800 р.

Информация взята с сайта интернет-магазина <http://topradar.ru/>

Термоэлектрический автохолодильник WAECO TropiCool TC-35FL-AC  
(рисунок 11). Холодильник высокой ценовой категории.



Рисунок 11 – Термоэлектрический автомобильный холодильник высокой ценовой категории

Технические данные:

Система охлаждения: термоэлектрический (система Пельтье)

Объем: 35 литров

Универсальное питание: 12 / 24 / 220 В

Потребление энергии: 48 Вт при 12В

Класс энергопотребления: А

Охлаждение: до 30°C ниже температуры окружающей среды

Нагревание: до +65°C

Внутренняя изоляция: пенополиуретан

Материал: ударопрочный литой пластик

Цвет: Темно-серый

Вес: 10 кг

Габариты (Д x Ш x В) 550x376x460 мм



Цена: 25320 р.

Информация взята с сайта интернет-магазина <http://autoholodilniki.ru/>

Итог: как видно из сравнения, стоимость холодильника увеличивается с увеличением холодильной мощности. Также очевидно увеличение веса конструкции. Вероятнее всего, для увеличения мощности применяются более габаритные радиаторы и большее количество элементов Пельтье (или элемент с большей площадью). Более того, пользовательская система управления представлена лишь на самом дорогом изделии.

#### 1.4.2 Частные разработки

Так как любители не часто называют свои модели, просто пронумеруем варианты.

Частный автохолодильник на элементах Пельтье 1 (рисунок12).



Рисунок 12 – Частный термоэлектрический автомобильный холодильник 1

Контейнер изготовлен из пенополистирола. В крышке установлен элемент Пельтье с кулерами с обеих сторон: с внутренней – для обеспечения равномерного охлаждения, и с внешней – для отвода тепла. Также предусмотрен шнур питания от бортовой сети автомобиля. Автор использовал 2 последовательно установленных элемента для достижения внутри контейнера температуры на 18 °С отличающуюся от температуры окружающей среды. Объём примерно 32-35 л.

Полная стоимость изделия, исключая затраты на создание – тысяча рублей.  
Частный автохолодильник на элементах Пельтье 2 (рисунок13).



Рисунок 13 – Частный термоэлектрический автомобильный холодильник 2

Данный холодильник отличается от предыдущего разве что наличием внутреннего жёсткого корпуса.

Как выяснилось холодильники на элементах Пельтье, сделанные любителями не сильно отличаются друг от друга. Разница может быть лишь в материале каркаса или изоляции, объёме. Пользовательской системы управления, как правило, нет, то есть, охлаждение непрерывно.



Из всего выше сказанного можно выделить следующие задачи данной выпускной квалификационной работы:

1. Выбрать оптимальные элементы Пельтье
2. Разработать структурную систему управления, которая обеспечивала бы задание температуры, определение действительной температуры, релейный механизм управления элементами Пельтье
3. Разработать принципиальную схему
4. Разработать конструкцию электронной схемы управления
5. Разработать конструкцию холодильника
6. Изготовить конструкцию электрической схемы
7. Изготовить конструкцию холодильника
8. Провести экспериментальные исследования схемы управления и холодильника
9. Оценить стоимость разработки

## ГЛАВА 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Выбор элементов Пельтье

Исходя из информации, указанной в первой главе, выберем для нашего холодильника элементы TEC1-12706 в количестве двух штук ввиду их относительной дешевизны, удовлетворительных характеристик, размеров и мощности; технические характеристики сих модулей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики выбранных элементов Пельтье

Характеристика	Значение 1	Значение 2
Температура горячей стороны ( $t_h$ , °C)	25	50
Максимальная мощность ( $P_{max}$ , Вт)	50	57
Максимальное напряжение ( $U_{max}$ , В)	10.8	12.1
Максимальный ток ( $I_{max}$ , А)	6	
Габаритные размеры (мм)	40× 40× 3.9	
Разность температур ( $\delta t$ , °C)	66	75
Сопротивление элемента (Ом)	1.98	2.30

Материал керамических пластин: оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ),

Припой: олово-висмут (BiSn)

Выработка: 200 000 часов.

Размеры выбранных элементов просматриваются на рисунке 14.

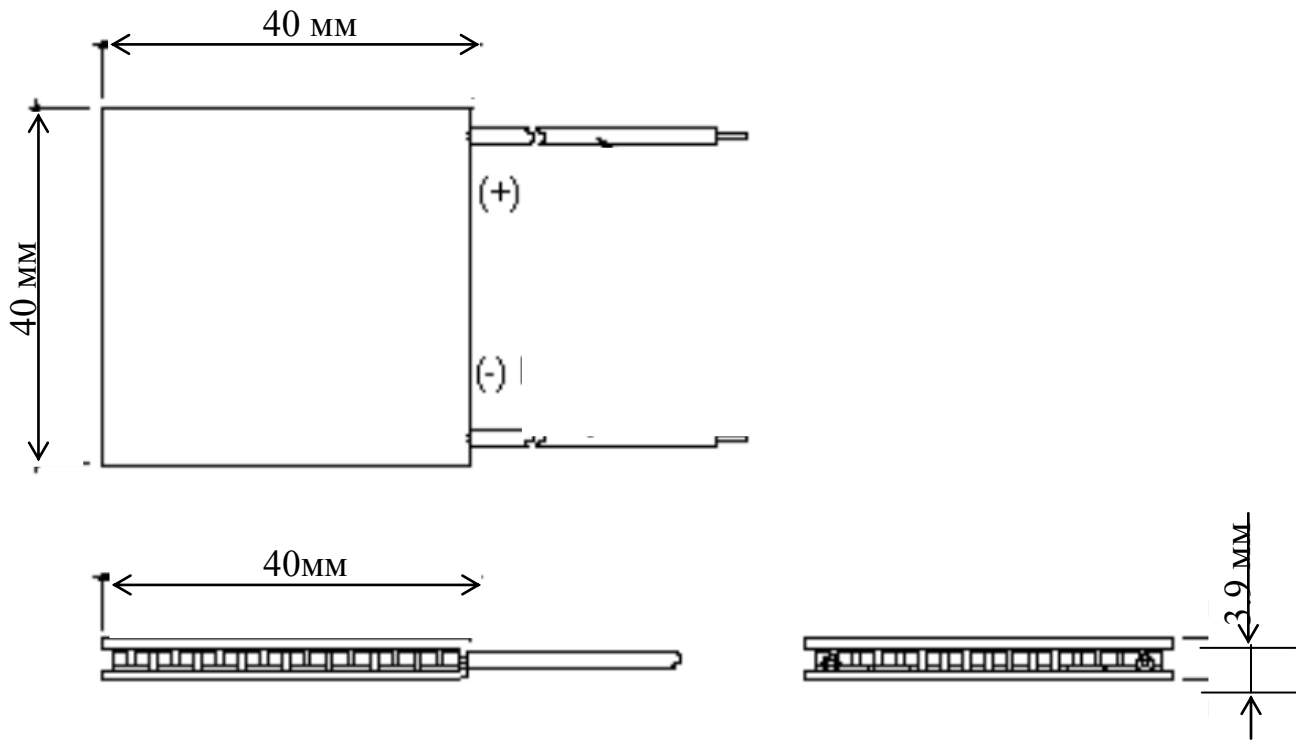


Рисунок 14 – Габаритные размеры выбранных элементов Пельтье

## 2.2 Выбор структуры схемы управления

После выбора модулей Пельтье необходимо определиться со схемой управления, которая обеспечит возможность наблюдать текущую температуру внутри будущего холодильника, повышать или понижать требуемую температуру, держать её на выбранном уровне, и использовать релейный механизм управления элементами Пельтье.

Было решено использовать аппаратную платформу Arduino Nano, на базе микроконтроллера ATmega328 ввиду его удовлетворительной стоимости и простоты программирования. Для определения температуры будет использоваться датчик dht11, для выбора температуры - нефиксирующиеся кнопки, а вывод информации будет осуществлён LCD дисплеем HD44780 с размерностью 16x02. Структурная схема представлена на рисунке 15





### Рисунок 15 – Структурная схема системы управления

Платформа Arduino Nano 3.0 работающая на микроконтроллере ATmega328 имеет небольшие размеры и может быть использована в различных проектах. Nano была разработана и продается компанией Gravitech. Технические характеристики приведены ниже:

Микроконтроллер – ATmega328

Рабочее напряжение – 5 В

Входное напряжение (рекомендуется) – 7-12 В

Входное напряжение (макс) – 6-20 В

Цифровые входы / выходы – 14

Аналоговые входы – 8

Постоянного тока через вход / выход – 40 мА

Флэш-память – 32 КБ (с 2 КБ используется для загрузчика)

Оперативная память – 2 КБ

EEPROM – 1 КБ

Тактовая частота – 16 МГц

Размеры – 1,85 см x 4,3 см

Внешний вид платформы показан на рисунке 16.



Рисунок 16 – Внешний вид платформы Arduino Nano.

Arduino Nano питается через разъем Mini-USB, а также от нерегулируемого 6-20 В (вывод 30) или регулируемого 5 В (вывод 27) внешнего источника питания. Автоматический выбирается источник с более высоким напряжением.

Все 14 цифровых выходов (с использованием функции `pinMode ()` `digitalWrite ()`, и `digitalRead ()`) может быть сконфигурирован как вход или выход. Они работают при напряжении 5 В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор (стандартно отключен) 20-50 Ом и может передавать до 40 мА.

Есть несколько способов общения с компьютером или другими устройствами и микроконтроллерами. ATmega328 поддерживает последовательный интерфейс UART TTL (5 В) через входы 0 (RX) и 1 (TX). FTDI микросхема FT232RL направляет данный интерфейс через USB, а драйверы FTDI предоставляют виртуальный COM-порт на компьютер программой Arduino. Платформа мигает светодиодами RX и TX во время передачи данных только через микросхему FTDI или подключение USB.

Распиновка Arduino Nano показана на рисунке 17.

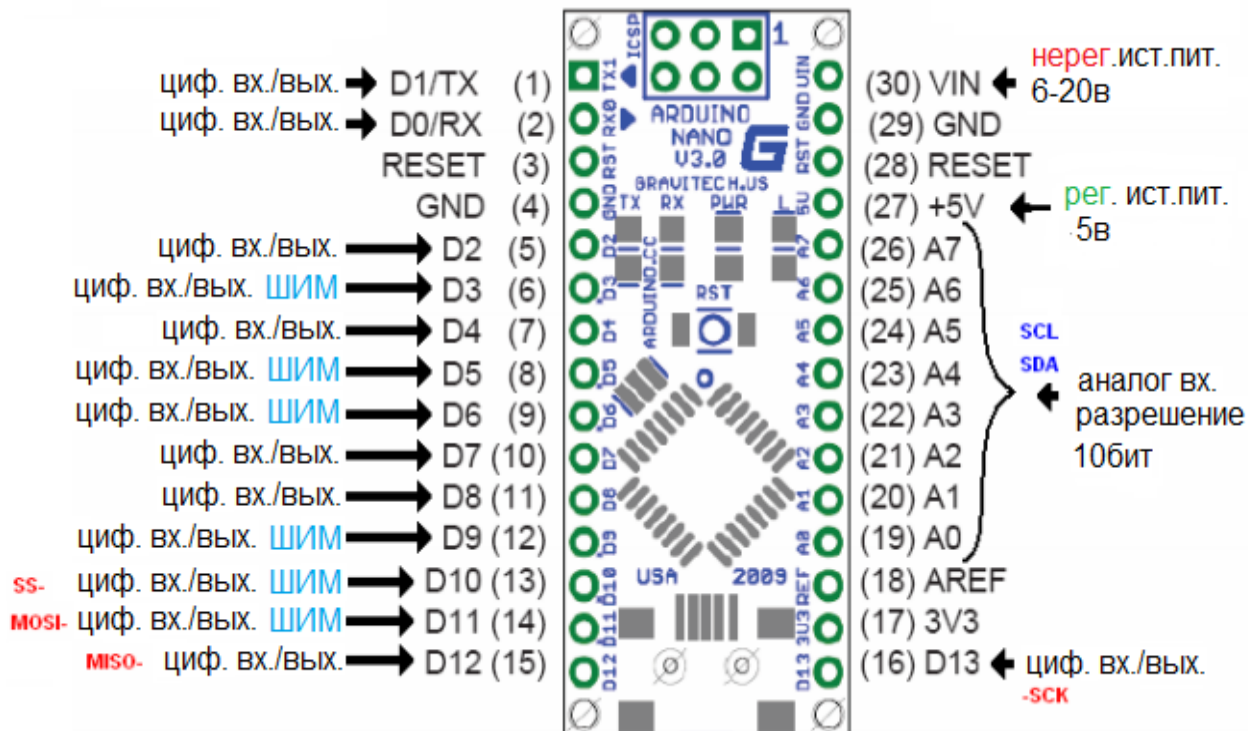


Рисунок 17 – Распиновка платформы Arduino Nano

LCD дисплеи на контроллере HD44780 могут иметь различную размерность, но управляться они будут одинаково. Самые распространенные размерности 16x02 (т.е. по 16 символов в двух строках) либо 20x04. Разрешение же самих символов - 5x8 точек.

Большинство дисплеев не имеют поддержку кириллицы, имеют её лишь дисплеи с маркировкой СТК. В нашем случае дисплей не поддерживает кириллицу. Но данную проблему можно попытаться частично решить. Процесс будет рассмотрен дальше.

Выводы дисплея.

На дисплее имеется 16pin разъем для подключения (Рисунок 18). Выводы промаркированы на тыльной стороне платы.

- 1 (VSS) - Питание контроллера (-)
- 2 (VDD) - Питание контроллера (+)
- 3 (VO) - Вывод управления контрастом
- 4 (RS) - Выбор регистра

- 5 (R/W) - Чтение/запись (режим записи при соединении с землей)
- 6 (E) - Enable (строб по спаду)
- 7-10 (DB0-DB3) - Младшие биты 8-битного интерфейса
- 11-14 (DB4-DB7) - Старшие биты интерфейса
- 15 (A) - Анод (+) питания подсветки
- 16 (K) - Катод (-) питания подсветки

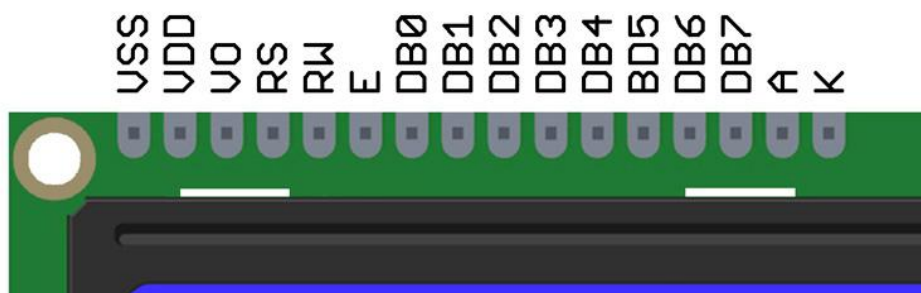


Рисунок 18 – Маркировка разъемов дисплея на контроллере HD44780

Режим самотестирования.

Перед попытками подключения и вывода информации, было бы неплохо узнать рабочий дисплей или нет. Для этого необходимо подать напряжение на сам контроллер (выводы VSS и VDD), запитать подсветку (A и K), а также настроить контрастность.

Для настройки контрастности следует использовать потенциометр на 10кОм (рисунок 19). Каким он будет по форме - не важно. На крайние ножки подается +5V и GND, центральная ножка соединяется с выводом VO



Рисунок 19 - Виды потенциометров

После подачи питания на схему необходимо добиться правильного контраста, если он будет настроен не верно, то на экране ничего не будет отображаться. Для настройки контраста следует поиграться с потенциометром.

При правильной сборке схемы и правильной настройке контраста, на экране должна заполниться прямоугольниками верхняя строка.

Вывод информации.

Для работы дисплея используется встроенная в среду Arduino

IDE библиотека LiquidCrystal.h

Сам же дисплей может работать в двух режимах:

- 8-битный режим - для этого используются и младшие и старшие биты (BB0-DB7)
- 4-битный режим - для этого используются и только младшие биты (BB4-DB7)

Использование 8-битного режима на данном дисплее нецелесообразно. Для его работы требуется на 4 входа больше, а выигрыша в скорости практически нет т.к. частота обновления данного дисплея упирается в предел не более 10раз в секунду.

Для вывода текста необходимо подключить выводы RS, E, DB4, DB5, DB6, DB7 к выводам контроллера. Их можно подключать к любым входам Arduino, главное в коде задать правильную последовательность.

LCD дисплеи размерности 16x02 на базе контроллера HD44780 являются одними из самых простых, доступных и востребованных дисплеев для разработки различных электронных устройств. Его можно встретить как в устройствах собранных умельцами, так и в промышленных устройствах, таких как, например, автоматы для приготовления кофе.

Создание собственных символов.

С выводом текста разобрались, буквы английского алфавита зашиты в память контроллера внутри дисплея и с ними проблем нет. В случае, когда нужного символа в памяти контроллера нет, его можно сделать вручную (всего до семи символов). Ячейка, в рассматриваемых нами дисплеях, имеет разрешение 5x8 точек. Все, к чему сводится задача создания символа, это написать битовую маску и расставить в ней



единички в местах, где должны гореть точки, и нолики, где нет. Пример представлен на рисунке 20.

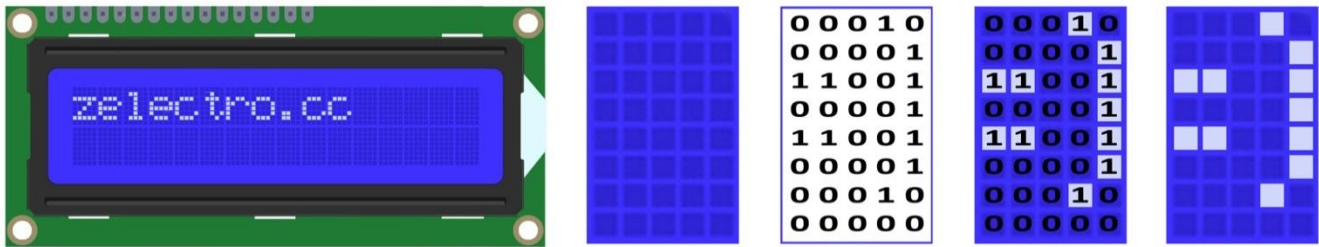


Рисунок 20 – пример создания символа вручную

DHT11 – цифровой датчик температуры и влажности. Он является составным датчиком, который содержит калиброванный цифровой выходной сигнал с показаниями температуры и влажности. Он имеет высокую надежность и превосходную долговременную стабильность работы. Датчик включает в себя резистивный сенсор влажности и компоненты NTC структуры для измерения температуры.

Основные характеристики:

Относительная влажность

Разрешение: 16Бит

Повторяемость:  $\pm 1\%$  относительной влажности

Точность: На  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\%$  относительной влажности

Взаимозаменяемость: полностью взаимозаменяемы

Время отклика:  $1/e$  (63%) из  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  6с    1 м/с воздуха 6с

Гистерезис:  $<\pm 0,3\%$  RH

Температура

Разрешение: 16Bit

Повторяемость:  $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Диапазон: На  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Время отклика:  $1 / e$  (63%) 10с

Электрические характеристики

Питание: DC 3,5 ~ 5,5 В

Ток питания: измерение 0.3 мА ожидания 60μ

Период выборки: более 2 секунд

Внешний вид датчика представлен на рисунке 21.

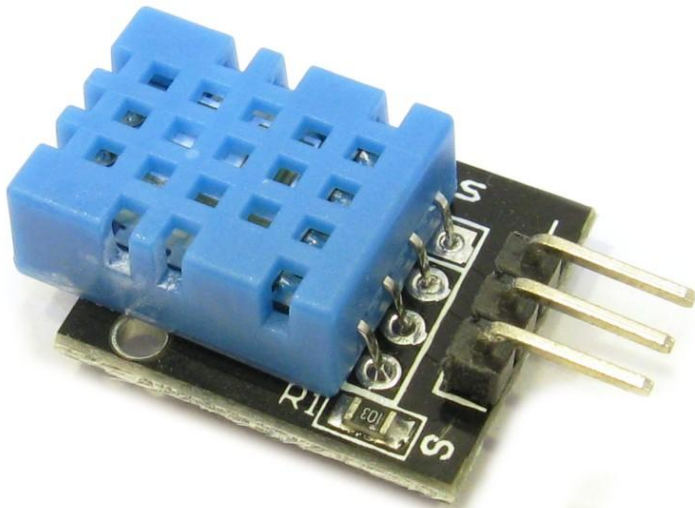


Рисунок 21 – Внешний вид датчика DHT11

Поскольку Arduino не способен обеспечить достаточного питания модулям Пельтье и вентиляторам, необходимо учесть отдельное питание описанных элементов. Поэтому воспользуемся мосфетами для управления как вентиляторами, так и модулями Пельтье.

Выбор пал на мосфеты IRL3705Z, характеристики которых представлены в приложении А.

Две нажимные кнопки, используемые в схеме, соединены последовательно через резистор 2 кОм. Сделано это для того, чтобы уменьшить используемые входа Arduino, потому как на аналоговом входе можно программно задать диапазоны напряжений, при которых будет выполняться та или иная операция, в нашем случае – понижение или повышение температуры.

Общая схема устройства изображена на рисунке 22.

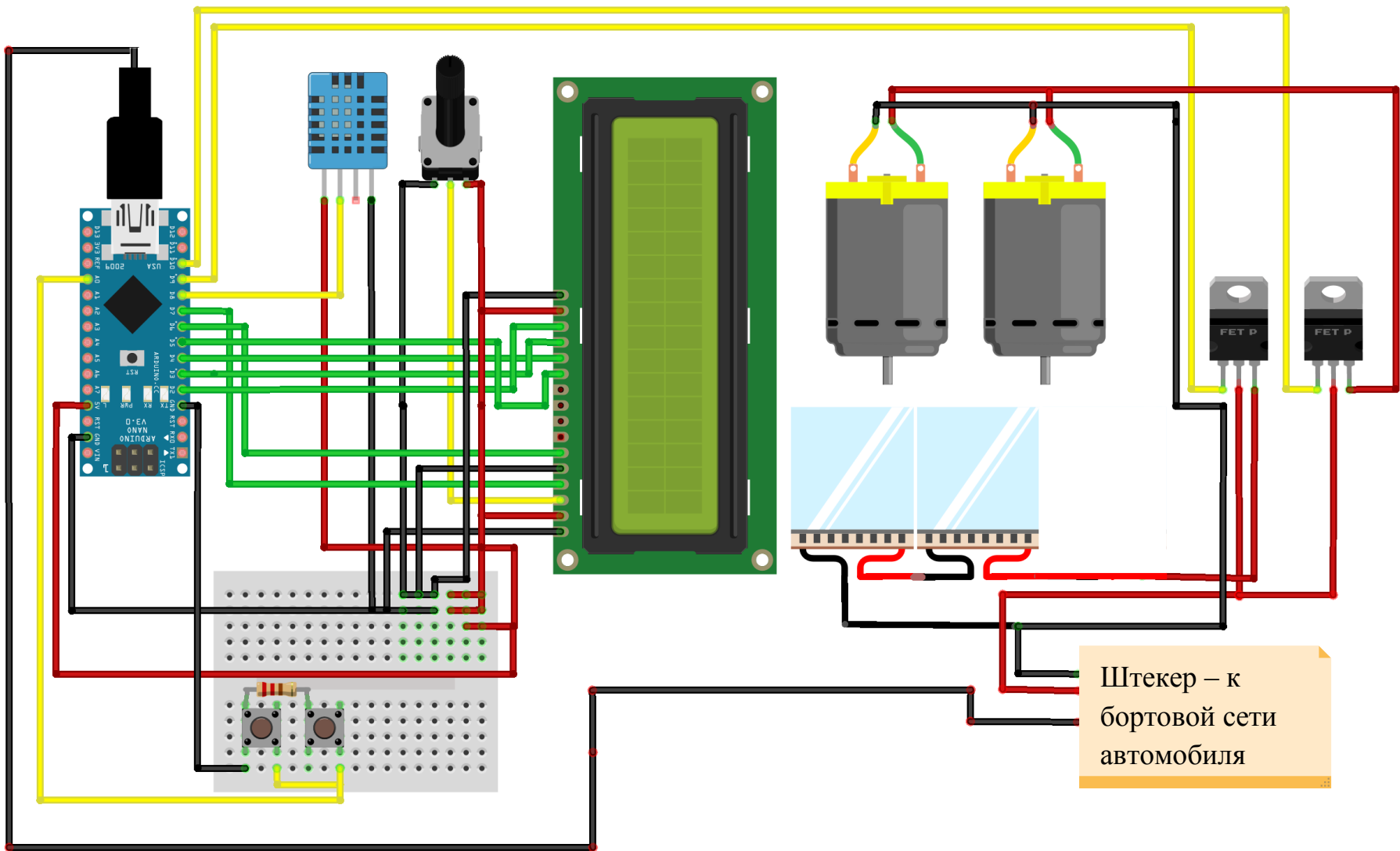


Рисунок 22 – Холодильник-термостат на элементах Пельтье. Схема электрическая общая

## 2.3 Принципиальная электрическая схема системы управления

Разработав структурную и общую схемы, с учётом всех необходимых элементов, можно составить принципиальную схему управления устройством. Она представлена на рисунке 23.

На данной схеме управление системой осуществляется платформой Arduino Nano (A2), процессором которой является ATmega328. Питание на платформу подаётся со внешнего источника (A3) от вывода 2, выдающего напряжение 5 В. Необходимая пользователю информация выводится на LCD дисплей с подсветкой (A1), контрастность которого настраивается потенциометром (RP1). Необходимость потенциометра объясняется тем, что при его отсутствии на дисплее не будет виден ни один символ. Считывается текущая температура с помощью датчика температуры и влажности (B1), в который уже встроен чип преобразования данных из аналогового формата в цифровой, поэтому он подключается к цифровому, а не аналоговому входу Arduino.

Коррекция температуры осуществляется за счёт элементов Пельтье (B2-B4) и присоединённых к ним кулеров (M1, M2). Поскольку указанным элементам необходимы большие значения напряжения и тока питания, они подключены через транзисторы (VT1, VT2) к выводу 1 внешнего источника питания (A3) с напряжением 12 В. Транзисторы же выбраны с логическим управлением, благодаря чему базы их подключены к цифровым входам Arduino, что позволяет избежать каких-либо помех, возможных на аналоговых входах. Заострю внимание также на том, что кулеры и элементы Пельтье подключены к разным входам Arduino. Сделано это для того, чтобы кулеры после отключения модулей Пельтье ещё некоторое время обдували их для предотвращения перегрева горячей стороны и продления охлаждения холодной стороной.

Код программы управления холодильником представлен в приложении В.

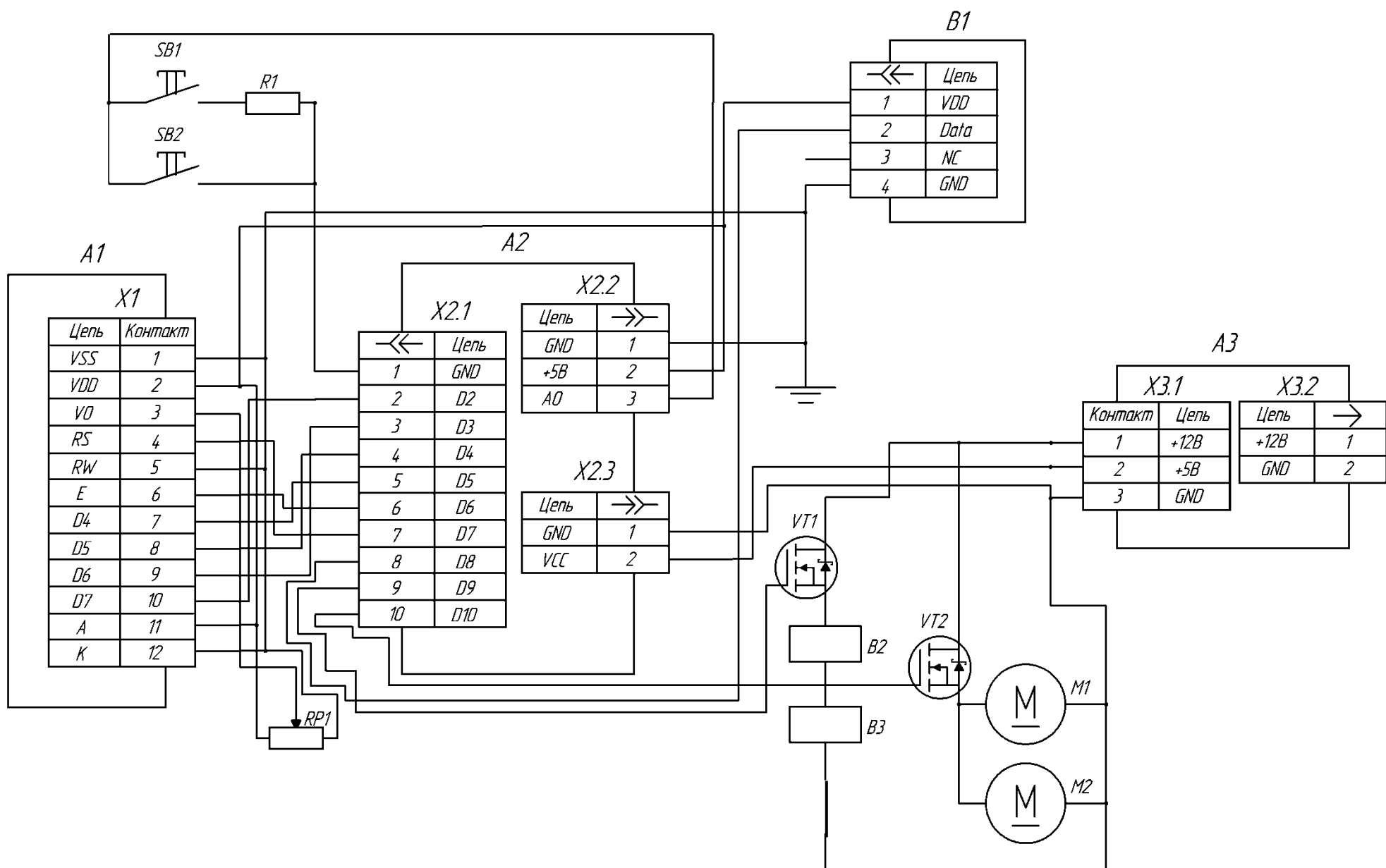


Рисунок 23 – Холодильник-термостат н элементах Пельтье. Схема электрическая принципиальная

## ГЛАВА 3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Разработка и изготовление конструкции электронной схемы управления

Подключение осуществлено по общей схеме (рисунок 22).

Поскольку дисплей имел лишь контактные отверстия вместо контактов, пришлось впаявать контакты проводов в необходимые отверстия (рисунок 24).

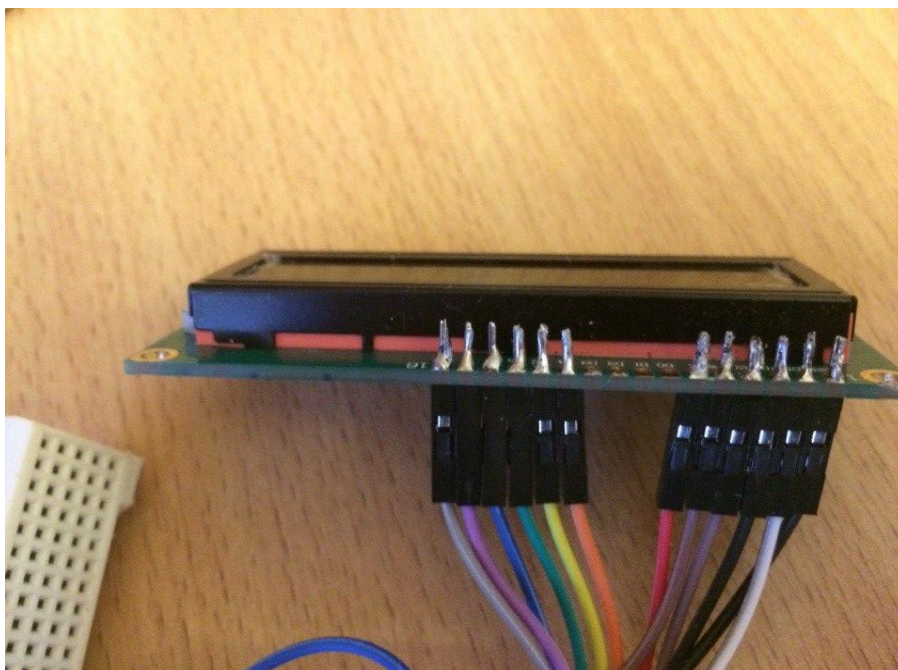


Рисунок 24 – Впаянные контакты проводов в отверстия дисплея

Подсоединить все элементы к земле и питанию, питающихся от Arduino, было решено через макетную плату, ввиду того, что скрутка или спайка такого количества проводов нецелесообразна.

Так как кнопки должны быть выведены на жёсткой основе, было решено распилить макетную плату пополам и уже на одной из частей подсоединить кнопки параллельно через резистор (рисунок 25).

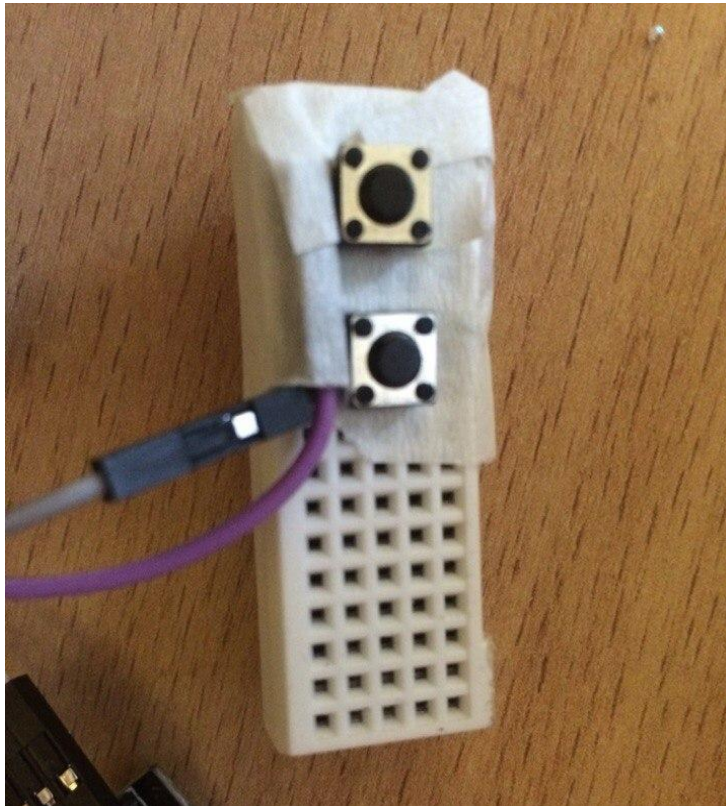


Рисунок 25 – Кнопки на одной из частей макетной платы

### 3.2 Разработка и изготовление конструкции холодильника

Конструкция будущего холодильника изображена на рисунках 26-29. На них изображены соответственно: вид сзади, вид сверху, вид сбоку, общий вид.

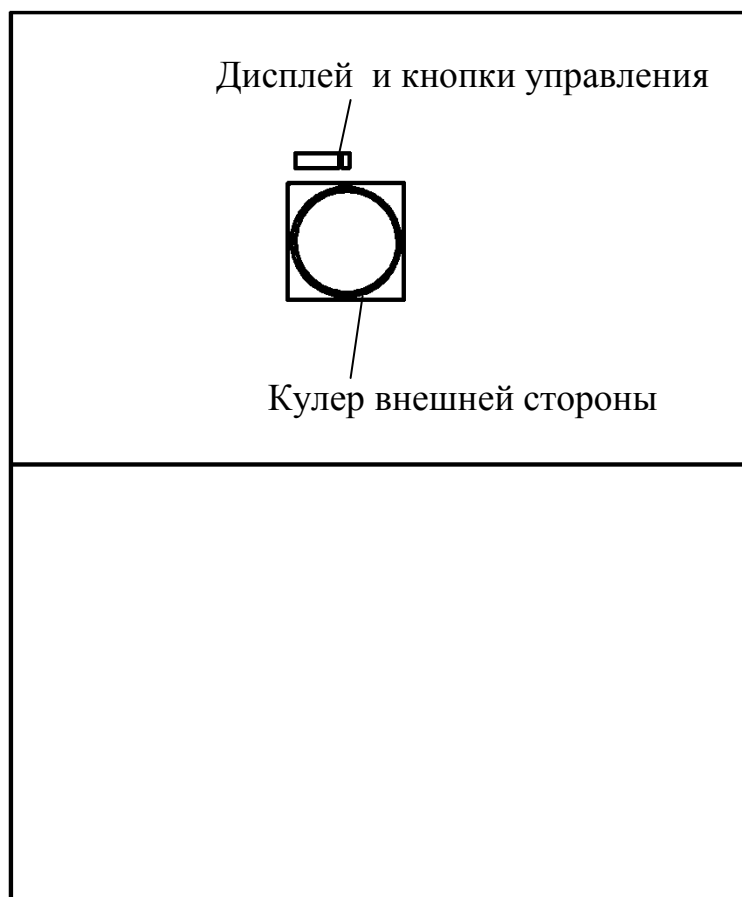


Рисунок 26 – Конструкция холодильника. Вид сзади

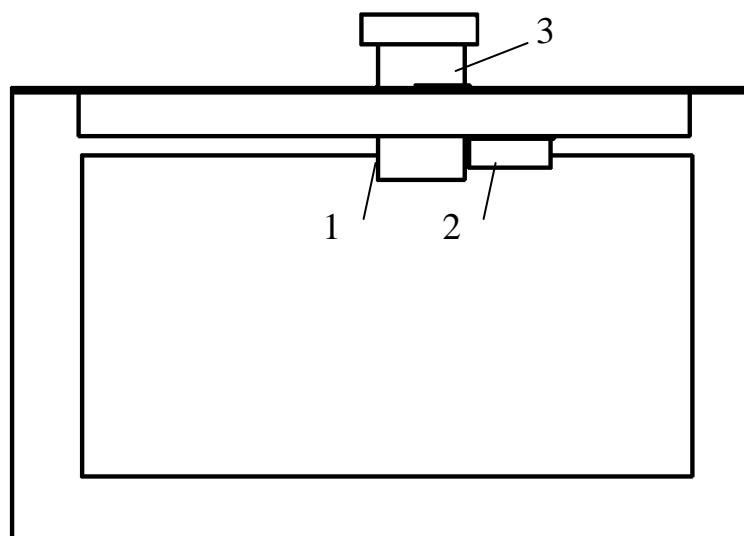


Рисунок 27 – Конструкция холодильника. Вид сверху

1 – радиатор внутренней стороны, 2 – кулер внутренней стороны, 3 – радиатор внешней стороны



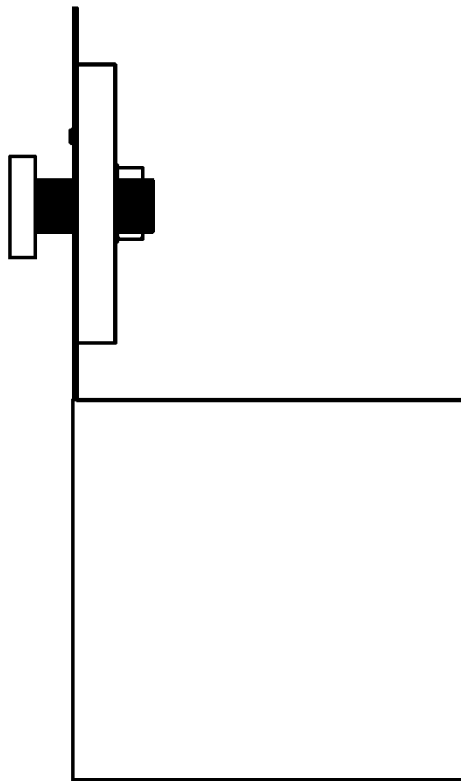


Рисунок 28 – Конструкция холодильника. Вид сбоку

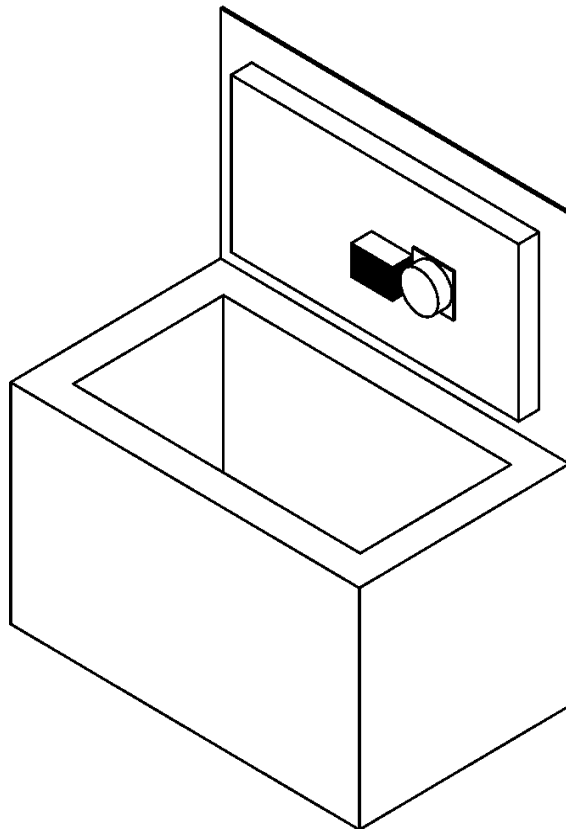


Рисунок 29 – Конструкция холодильника. Общий вид

Каркасом холодильника (рисунок 30) является дощатый ящик из под фруктов: он достаточно лёгкий и прочный. С внешней стороны он отделан картоном для дополнительной теплоизоляции (рисунок 31). С внутренней – сначала полиэтилен, затем пенополистирол толщиной 3 см, склеенный в местах соприкосновения жидкими гвоздями (рисунок 32).



рисунок 30 – Каркас будущего холодильника



Рисунок 31 – Внешняя отделка картоном



Рисунок 32 – Внутренняя отделка пенополистиролом

Внешние размеры итоговой конструкции: 51x31x30 см. Внутренние: 42x22x24 см, объём – около 22 литров.

### 3.3 Проведение экспериментальных исследований холодильника

Собрав холодильник воедино, была проведена проверка его способности охлаждать не только воздух внутри него, но и предметы, находящиеся в нём. Было решено использовать пластиковые двухлитровые бутылки с водой в количестве пяти штук, в одну из которых был помещён дополнительный датчик температуры, который не является частью конструкции данного холодильника. Вода в нашем случае была использована ввиду её высокой теплоёмкости. Также был произведён замер потребляемого напряжения в ходе всего процесса замеров. Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – результаты измерений температур и потребляемого напряжения.

Температура, внутри холодильника, °С	Температура жидкости, °С	Время, ч	Напряжение, В
23	22	0	13,9
14	20	0,5	13,8
13,5	19	1	13,8
12,8	18	1,5	13,9
12,3	17	2	13,8
11,9	16	2,5	13,9
11,4	15	3	13,9
10,9	14	3,5	13,8

Продолжение таблицы на стр. 46

Продолжение таблицы 3

Температура, внутри холодильника, °С	Температура жидкости, °С	Время, ч	Напряжение, В
10,6	13	4	13,9
10	12	4,5	13,8
9,9	12	5	13,8
9,8	12	5,5	13,9
9,7	11	6	13,8

По данной таблице был построен график зависимостей температур жидкости и воздуха внутри холодильника от времени (рисунок 33).

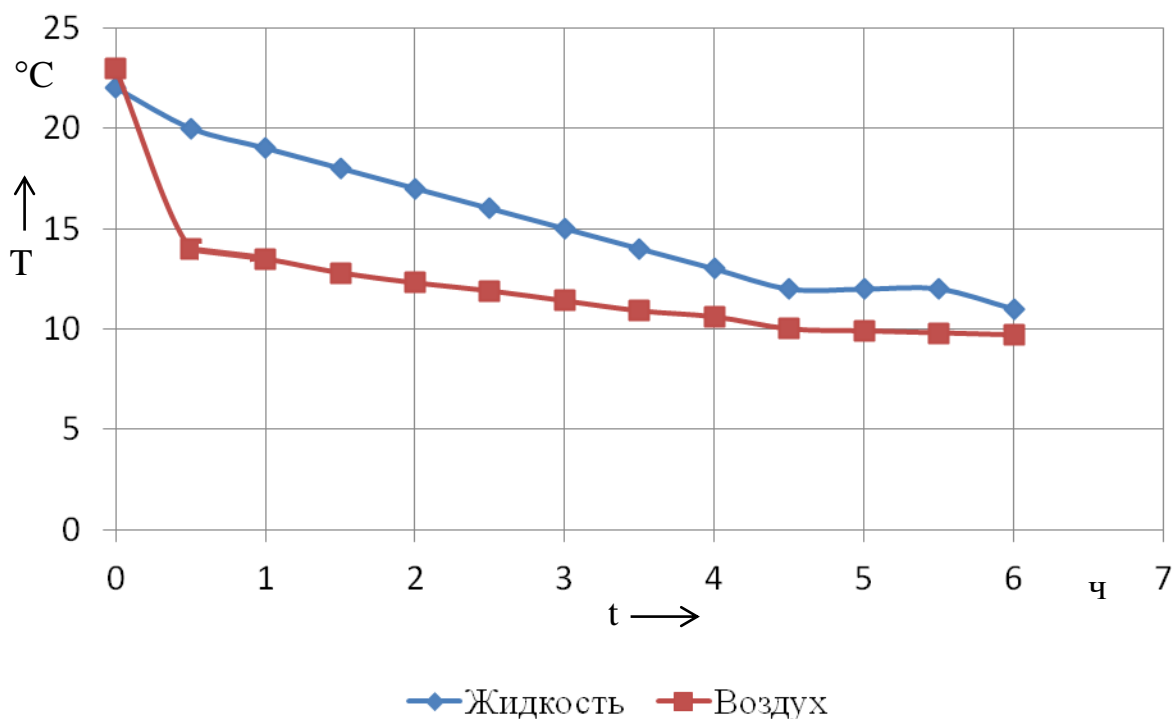


Рисунок 33 – график зависимости температур жидкости и воздуха внутри холодильника от времени

Как видно по графику, температура жидкости понижается практически линейно до достижения температуры в 9,8 градусов, в то время как температура воздуха в первые полчаса работы системы охлаждения понижалась гораздо быстрее, после чего её поведение было аналогичным графику охлаждения жидкости.

Судя по таблице, потребляемое напряжение несколько выше 12 В, но это вполне допустимо, учитывая напряжение бортовой сети автомобиля около 14,4 В.

## ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В таблице 2 приведён перечень закупленных комплектующих, необходимых для создания системы управления температурой внутри холодильника, их количество и стоимость. Материалы для создания конструкции холодильника приведены в таблице 3.

Таблица 2 – комплектующие для создания системы управления температурой внутри холодильника

Наименование	Количество, шт.	Стоимость за шт., руб	Общая стоимость, руб
Элемент Пельтье	2	556	1112
Платформа Arduino Nano	1	175	175
LCD дисплей	1	151	151
Датчик температуры и влажности	1	100	100
Макетная плата	1	50	50
Кнопка нажимная нефиксируемая	2	15	30
Резистор 2 кОм	1	2	2
Потенциометр 10 кОм	1	5	5
Мосфет IRL3705Z	2	37	74
Переходник для прикуривателя автомобиля	1	200	200
Радиатор	1	550	550
Комплект проводов	1	179	179

(100шт.)			
			Итого 2629

Таблица 3 – Материалы для корпуса холодильника

Наименование	Количество, шт.	Размеры (м)	Стоимость за шт., руб	Общая стоимость, руб
Ящик из под фруктов	1	xx	-	-
Лист картона	3	1x2x0,005	75	225
Лист пенополистирола	2	1x2 x0,03	39	78
Жидкие гвозди	1	-	230	230
Лист ДВП	1	1x1x0,004	60	60
			Итого	593

Получается, без учёта трудозатрат, разработанный холодильник на элементах Пельтье имеет ориентировочную стоимость в 3300 рублей, что явно меньше имеющихся на рынке даже самых дешёвых аналогов, более того, холодильники в данном сегменте не имеют цифровой индикации температуры в отличие от разработанного.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над устройством, поставленные цели, а именно: увеличение срока хранения скоропортящихся продуктов, повышение надёжности в сравнении с компрессионными холодильниками, снижение уровня шума холодильника и повышение устойчивости к ударным нагрузкам были достигнуты благодаря тому, что были решены следующие задачи:

1. Выбраны оптимальные элементы Пельтье типа TEC1-12706.
2. Разработана структурная система управления, которая обеспечивает задание температуры, определение действительной температуры, релейный механизм управления элементами Пельтье.
3. Разработана принципиальная электрическая схема холодильника.
4. Разработана конструкция электронной схемы управления.
5. Разработана конструкция холодильника.
6. Изготовлен электронный блок холодильника.
7. Изготовлен корпус холодильника.
8. Проведены экспериментальные исследования схемы управления и холодильника.

Выяснено, что температура воздуха внутри холодильника достигает установившегося значения за 4 часа при установке требуемого значения на минимум.

Эффективная работа данного холодильника достигнута за счёт применения двух вентиляторов, а также их расположения: с наружной и внутренней сторон.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник – Киев: Наукова Думка, 1979. – 385 с. – ISBN 200000919939
2. Анатычук Л.И., Семенюк В.А. Оптимальное управление свойствами термоэлектрических материалов и приборов – Черновцы, Прут, 1992. –135 с.
3. Бернштейн А. С. Термоэлектрические генераторы – М. ; «Госэнергоиздат»,1956 – 50 с. – ISBN 978-5-458-36374-7
4. Булат Л.П. Термоэлектрическое охлаждение: Текст лекций – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002, 147 с. – ISBN 5-89565-053-8.
5. Ильярский О. И., Удалов Н. П. – Термоэлектрические элементы – М. : «Энергия», 1970 – 72 с. ISBN 978-5-458-30538-9
6. Коленко Е.А. Термоэлектрические охлаждающие приборы – 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Наука (Ленинградское отделение). – 1967, - 282 с.
7. Косенко Е. А. Термоэлектрические охлаждающие приборы. 2-е изд., перераб. И доп. Л. : Наука (Ленинградское отделение). – 1967. – 282 с. ISBN 966-691-209-0
8. Охотин А.С., Ефремов А.А., Охотин В.С., Пушкарский А.С. Термоэлектрические генераторы – М., Атомиздат, 1971, – 292 с. Под ред.доктора физико-математических наук А. Р. Регеля.
9. Поздняков Б.С., Коптелов Е.А. Термоэлектрическая энергетика – М., Атомиздат, 1974, – 264 с.

10. Самойлович А. Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы превращения энергии – М. : ЛКИ, 2007. – 224 с. – ISBN 978-5-382-00062-6
11. Ушаков Б.А. и др. Основы термоэмиссионного преобразования энергии – М.: Атомиздат, 1974, – 288 с.
12. Goldsmid H.J. Introduction to thermoelectricity – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, – 250 p.
13. Goupil C. (Ed.) Continuum Theory of Thermoelectric Elements – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim, Germany, 2016, – 363 p. – ISBN: 3527413375
14. Ioffe A.F. Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling – London: Infosearch, 1957, – 184 p.
15. Rowe D.M. (editor) Materials, preparation, and characterization in thermoelectrics – by Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press. – 2012, 535 p.

#### Интернет-ресурсы

16. Custom thermoelectric [Электронный ресурс]. – Бишопвилль, США. : Custom thermoelectric, 2009 - 2013. – Режим доступа: [http://www.customthermoelectric.com/Peltier\\_analysis.html](http://www.customthermoelectric.com/Peltier_analysis.html), свободный. – Загл. с экрана.
17. Custom thermoelectric History [Электронный ресурс]. – Бишопвилль, США. : Custom thermoelectric, 2009 - 2013. – Режим доступа: <http://www.customthermoelectric.com/History.html>, свободный. – Загл. с экрана.
18. ExtremeTech [Электронный ресурс]. – Калифорния, США. : ExtremeTech, 1996 - 2016. – Режим доступа: <http://www.extremetech.com/extreme/169951->

wristify-a-personal-peltier-wrist-cooler-that-could-save-the-us-millions-in-energy-costs

19. Tellurex [Электронный ресурс]. – Траверс-Сити, Мичиган. : Tellurex, 2009 - 2011. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20130308061031/http://www.tellurex.com:80/technology/peltier-faq.php>, свободный. – Загл. с экрана.
20. THE HEATSINK GUIDE [Электронный ресурс]. – Франкфурт, Германия.: Tillmann Steinbrecher, 1997 - 2005. – Режим доступа: <http://www.heatsink-guide.com/peltier.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

International  
**IR** Rectifier

### AUTOMOTIVE MOSFET

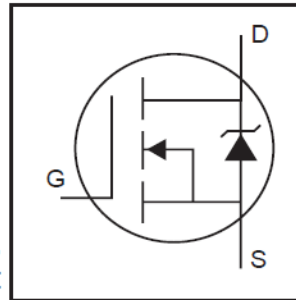
PD - 95854  
**IRL3705Z**  
**IRL3705ZS**  
**IRL3705ZL**  
HEXFET® Power MOSFET

#### Features

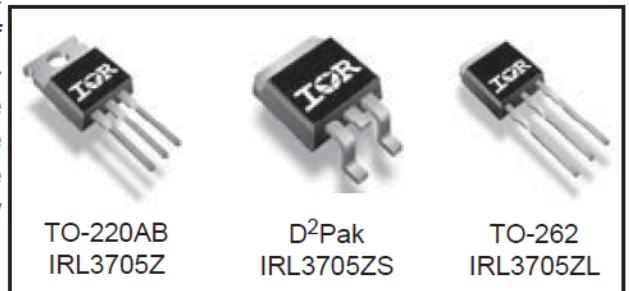
- Logic Level
- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Repetitive Avalanche Allowed up to Tjmax

#### Description

Specifically designed for Automotive applications, this HEXFET® Power MOSFET utilizes the latest processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. Additional features of this design are a 175°C junction operating temperature, fast switching speed and improved repetitive avalanche rating. These features combine to make this design an extremely efficient and reliable device for use in Automotive applications and a wide variety of other applications.



$V_{DS} = 55V$   
 $R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$   
 $I_D = 75A$



#### Absolute Maximum Ratings

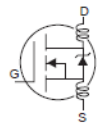
	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ (Silicon Limited)	86	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	61	
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ (Package Limited)	75	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	340	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.88	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 16$	V
$E_{AS}$ (Thermally limited)	Single Pulse Avalanche Energy ②	120	mJ
$E_{AS}$ (Tested )	Single Pulse Avalanche Energy Tested Value ③	180	
$I_{AR}$	Avalanche Current ④	See Fig.12a, 12b, 15, 16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ⑤		mJ
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw ⑦	10 lbf•in (1.1N•m)	

#### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.14	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat Greased Surface ⑦	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ⑧	—	62	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient (PCB Mount) ⑧	—	40	

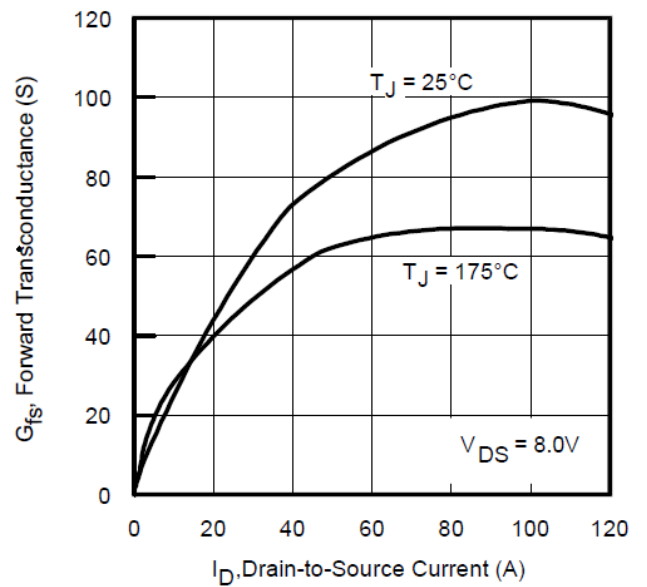
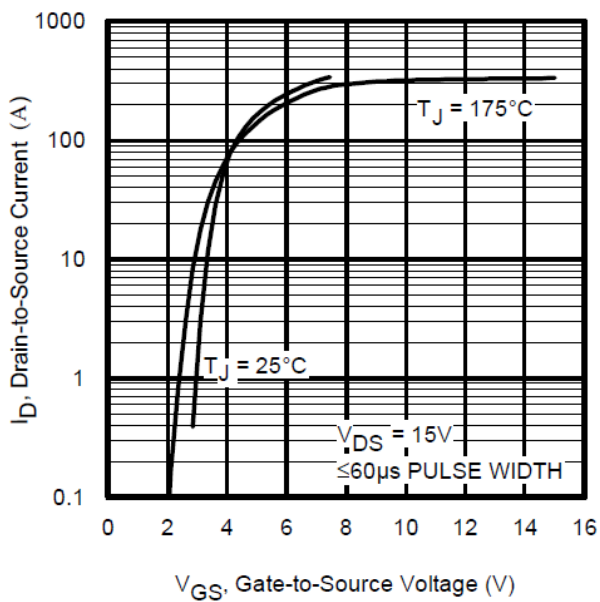
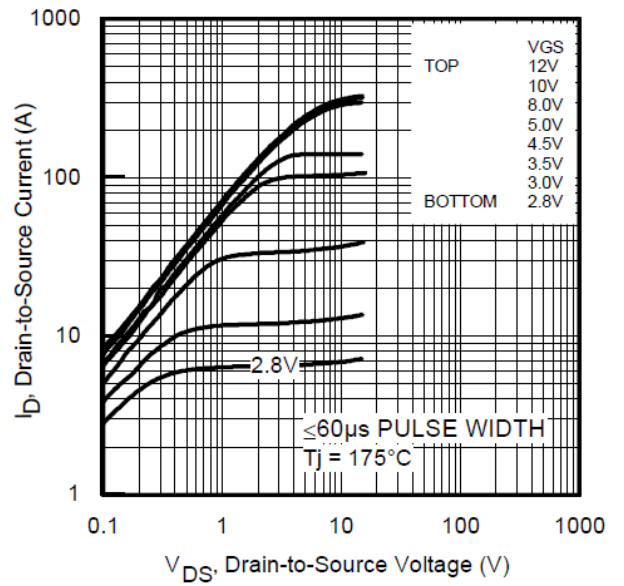
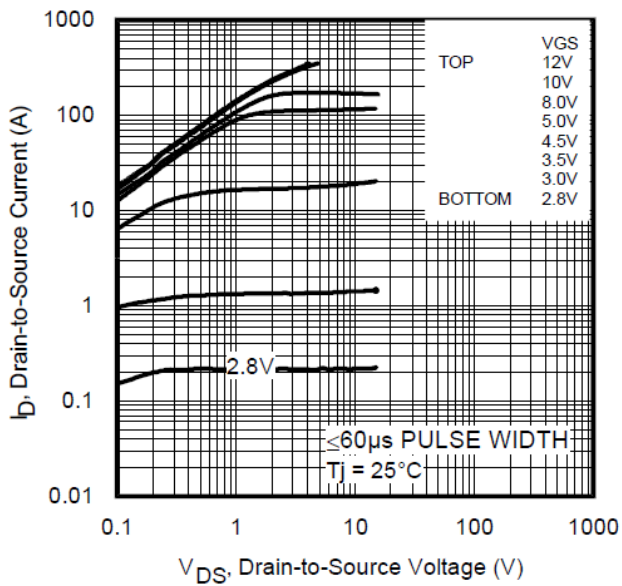
**Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)**

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	V <sub>GS</sub> = 0V, I <sub>D</sub> = 250μA
ΔV <sub>(BR)DSS</sub> /ΔT <sub>J</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.055	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> = 1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	6.5	8.0	mΩ	V <sub>GS</sub> = 10V, I <sub>D</sub> = 52A ③
		—	—	11		V <sub>GS</sub> = 5.0V, I <sub>D</sub> = 43A ③
		—	—	12		V <sub>GS</sub> = 4.5V, I <sub>D</sub> = 30A ③
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	1.0	—	3.0	V	V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	150	—	—	V	V <sub>DS</sub> = 25V, I <sub>D</sub> = 52A
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	μA	V <sub>DS</sub> = 55V, V <sub>GS</sub> = 0V
		—	—	250		V <sub>DS</sub> = 55V, V <sub>GS</sub> = 0V, T <sub>J</sub> = 125°C
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	200	nA	V <sub>GS</sub> = 16V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-200		V <sub>GS</sub> = -16V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	40	60	nC	I <sub>D</sub> = 43A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	12	—		V <sub>DS</sub> = 44V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	21	—		V <sub>GS</sub> = 5.0V ③
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	V <sub>DD</sub> = 28V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	240	—		I <sub>D</sub> = 43A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	26	—		R <sub>G</sub> = 4.3 Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	83	—		V <sub>GS</sub> = 5.0V ③
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	2880	—	pF	V <sub>GS</sub> = 0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	420	—		V <sub>DS</sub> = 25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	220	—		f = 1.0MHz
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	1500	—		V <sub>GS</sub> = 0V, V <sub>DS</sub> = 1.0V, f = 1.0MHz
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	330	—		V <sub>GS</sub> = 0V, V <sub>DS</sub> = 44V, f = 1.0MHz
C <sub>oss eff.</sub>	Effective Output Capacitance	—	510	—		V <sub>GS</sub> = 0V, V <sub>DS</sub> = 0V to 44V ④



**Source-Drain Ratings and Characteristics**

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	75	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	340		
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>S</sub> = 52A, V <sub>GS</sub> = 0V ③
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	16	24	ns	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>F</sub> = 43A, V <sub>DD</sub> = 28V
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	7.4	11	nC	di/dt = 100A/μs ③
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by LS+LD)				



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

```
#include <LiquidCrystal.h> // подключение библиотеки управления дисплеем
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2); // обозначение выходов ардуино, идущих к LCD
int q = 0;
byte deg[7] = {          //вывод знака °
  B01110,
  B01010,
  B01110,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};
unsigned char a, b,i,rh1,rh2,t1,t2,sum;
void setup() {
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
                                     // зададим количество колонок и строк дисплея
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.createChar(0, deg);
  pinMode (A0, OUTPUT); //выставляем 5В на пине
  digitalWrite (A0, HIGH); //включаем подтягивающий резистор
}
int tt = 10;
int readButtons (int A0) // возвращает номер нажатой кнопки
{
  int w,c = 0;
  c = analogRead (A0); // получить аналоговое значение
  if (c>1020)
  {
    w=0; // кнопки не нажаты
  }
  else
  if (c>1000 && c<1015)
  {
    w=1; // нажата кнопка 1
  }
  else
  if (c<600)
  {
    w=2; // нажата кнопка 2
  }
  return w;
}
```



```

}
int startsignal(){
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(8,LOW);
  delay(18);
  digitalWrite(8,HIGH);
  delayMicroseconds(30);
  digitalWrite(8,LOW);
  pinMode(8, INPUT);}

int checkresponse(){
  a = 0;delayMicroseconds(40);
  if(digitalRead(8)==LOW){
    delayMicroseconds(80);
    if(digitalRead(8)==HIGH)
      a = 1;}
  delayMicroseconds(40);
}

int readdata(){
  for(b=0;b<8;b++){
    while(!digitalRead(8)); //задержка на переход в high
    delayMicroseconds(30);
    if(digitalRead(8)==LOW){
      bitClear(i,7-b);}
    else { bitSet(i,7-b);
      while(digitalRead(8));//задержка на переход в low
    }
  }
}

void loop() {
  q = readButtons (0);
  startsignal(); //послать стартовый сигнал на сенсор
  checkresponse(); //проверка получения ответа от сенсора
  if (a==1){
    readdata();
    rh1 = i;
    readdata();
    rh2 = i;
    readdata();
    t1=i;
    readdata();
    t2 = i;
    readdata();
  }
}

```

```

sum = i;
if (sum == rh1+rh2+t1+t2){ //проверка
  //Вывести текущую температуру
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Current t =  C");
  lcd.setCursor(12, 0); lcd.print(t1);
  lcd.setCursor(14, 0);lcd.write(byte(0));
  //Вывести требуемую температуру:
  lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Target t =  C");
  lcd.setCursor(14, 1);lcd.write(byte(0));
  if (q==0) //кнопки не нажаты
  {
    lcd.setCursor(12, 1); lcd.print(tt);
  }
  else
  if (q==1) //нажата кнопка 1
  {
    delay(50);
    tt = (tt+1);
    if (tt > t1)
    {
      tt = 6;
    }
    lcd.setCursor(12, 1); lcd.print(tt);
  }
  else
  if (q==2) //нажата кнопка 2
  {
    delay(50);
    tt = (tt-1);
    if (tt < 6)
    {
      tt = t1;
    }
    lcd.setCursor(12, 1); lcd.print(tt);
  }
  }
  else { //если проверка суммы не прошла
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1, 0); lcd.print("Checksum error");}
}
else { //если сенсор не отвечает
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(2, 0); lcd.print("no response");
}

```

```
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("from the sensor");  
}  
if (tt <= t1)  
{  
digitalWrite(9, HIGH);  
digitalWrite(10, HIGH);  
}  
else  
{  
digitalWrite(9, LOW);  
digitalWrite(10, LOW);  
}  
delay(200);  
}
```