

## **Рецензия**

на проектно-исследовательскую работу

«Система охлаждения помещений iClimate»

учащихся 11 «К» класса НИШ ФМН г.Шымкент

Ткачева Александра и Хамелюк Арины

Тема рецензируемой работы «Система охлаждения помещений iClimate» достаточно актуальна в настоящее время, поскольку глобальное потепление способствует постоянному повышению средней температуры воздуха и, как следствие, в ряде стран наблюдается жаркое лето. Это обуславливает необходимость искусственного охлаждения помещений. Авторы предлагают новый способ эко-кондиционирования помещений.

Исследовательская работа структурно выстроена правильно, логична, четко сформулированы цели и задачи, прослеживается логическая связь между частями работы, присутствуют теоретическая и практическая части исследования, результаты и выводы по работе. Содержание работы отвечает выбранной теме, которая раскрыта достаточно ясно, учитывая возраст авторов работы. Качество оформления работы соответствует действующим правилам и стандартам.

Учащимися проделана работа по исследованию и оцениванию различных способов охлаждения помещений и созданию собственной модели функционального, экономичного и оригинального эко-кондиционирования помещений. Исследованы виды дифференциальных уравнений и их применение. Выбранное ими дифференциальное уравнение моделирует процесс охлаждения и позволяет рассчитать время, необходимое для охлаждения определенного объема помещения размером в 28 м<sup>2</sup>. На практике были измерены реальные показатели и были произведены необходимые расчеты. Одним из главных аспектов является электроника, с которой работали учащиеся, а именно, использование элемента Пельтье,

микроконтроллера Arduino с различными сенсорными датчиками. Очевидна практическая применимость данной проектно-исследовательской работы.

Рецензент:

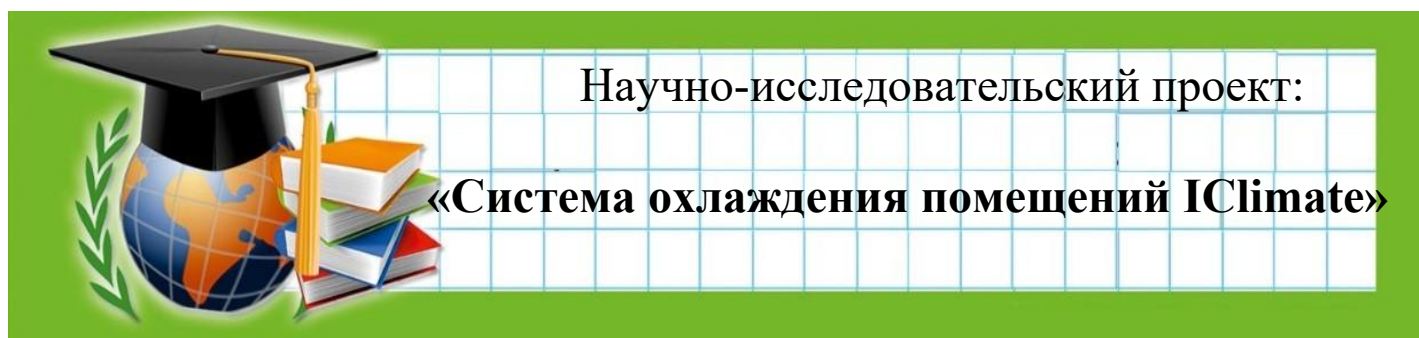
Кандидат педагогических наук  
зав. кафедрой математики ЮКПТУ



Г.О. Жетпісбаева

АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы»  
Филиал «Назарбаев Интеллектуальная школа  
физико-математического направления г. Шымкент»

Секция: «Прикладная математика»



Авторы проекта: Ткачев Александр, 11 класс

Хамелюк Арина, 11 класс

Руководители:

Учитель математики – Габдуллина Асель Куандыковна

Учитель физики – Жолдасова Айжан Абдімаратқызы

Шымкент 2023 г.

## Оглавление

Абстракт .....	3
Введение.....	4
1. Теоретическая часть исследования .....	5
1.1 Дифференциальные уравнения и их виды.....	5
1.2 Способы охлаждения.....	9
2. Практическая часть исследования .....	10
2.1 Решение дифференциального уравнения.....	12
2.2 Практическая модель системы охлаждения.....	13
2. Заключительная часть .....	18
Список использованных ресурсов .....	19

## Абстракт

Данное исследование посвящено актуальной проблеме современного мира – охлаждению помещений. Каждое лето жители страны сталкиваются с жарой, которая влияет на их настроение, производительность, а также здоровье. Имеется множество методов охлаждения помещений, среди которых наиболее актуальными и используемыми на данный момент являются вентиляторы и кондиционеры. Однако вентиляторы не всегда справляются с поставленной задачей, а кондиционеры потребляют электроэнергию в больших количествах и являются источниками сквозняков, что влечет за собой простуду. Кроме того, в мире известен новый способ охлаждения помещения – холодные потолки на капиллярной основе. Однако, на сегодняшний день, данный способ охлаждения не пользуется популярностью в нашей стране из-за своей дорогостоящей структуры.

Авторы предлагают здоровую альтернативу имеющейся системе охлаждения - инновационную систему холодных потолков на элементе Пельтье. Данная система позволит оптимизировать процесс охлаждения помещения, будет положительно влиять на экологию и здоровье человека.

В теоретической части авторы рассматривают источники по дифференциальным уравнениям, их видов и методов решения, а также их применение в сфере теплообмена, а именно охлаждения помещений. Решают дифференциальное уравнение с конкретными параметрами.

В практической части авторы описывают работу по применению дифференциального уравнения, объясняют процесс охлаждения. и сравнивают полученные результаты с теми, что получены экспериментальным путем. Обосновывают существенное преимущество именно этого метода

Проанализировав и оценив результаты экспериментальных исследований, авторы делают вывод об эффективности проекта и предлагают систему охлаждения «IClimate» для практического внедрения и использования в стране.

## **Absract**

This reseach is devoted to an urgent problem of the modern world – room cooling. Every summer, residents of the country face heat, which affects their alertness, productivity, as well as health. There are many methods of cooling rooms, among which the most relevant and used at the moment are fans and air conditioners. However, fans do not always cope with the task, and air conditioners consume electricity in large quantities and are sources of drafts, which leads to a cold. In addition, a new way of cooling the room is known in the world – cold ceilings on a capillary basis. However, today, this cooling method is not popular in our country because of its expensive structure.

The authors propose a healthy alternative to the existing cooling system - an innovative system of cold ceilings on the Peltier element. This system will optimize the cooling process of the room, will have a positive impact on the environment and human health.

In the theoretical part, the authors consider the sources of differential equations, their types and methods of solution, as well as their application in the field of heat exchange, namely, room cooling. Solve a differential equation with specific parameters.

In the practical part, the authors describe the work on the application of the differential equation, explain the cooling process. and compare the results obtained with those obtained experimentally. Substantiate the essential advantage of this particular method

After analyzing and evaluating the results of experimental studies, the authors conclude about the effectiveness of the project and propose the IClimatе cooling system for practical implementation and use in the country.

## Введение

Каждое лето, жители южных регионов сталкиваются с экстремальной жарой. Вентиляторы не справляются с поставленной задачей, а кондиционеры потребляют электроэнергию в огромных размерах. Новый вариант охлаждения помещения – холодные потолки на капиллярной основе. Однако, на сегодняшний день, данный способ охлаждения не пользуется популярностью из-за своей дорогостоящей структуры. Это очень **актуальная проблема**, поэтому мы решили исследовать возможные варианты охлаждения помещений и предложить более оптимальную версию. Мы в свою очередь, исследовали современные методы охлаждения не только с теоретической точки, а именно с изучения дифференциальных уравнений и их применения, дифференциального уравнения, описывающего скорость изменения температуры помещений, но и с практической: придумали инновационную систему холодных потолков на элементе Пельтье. Мы ставим **цель – оптимизировать систему охлаждения помещения, которая будет положительно влиять на экологию и не вредить здоровью. Гипотеза:** будет создана модель - прототип жилой комнаты с элементом Пельтье, который будет охлаждать комнату. **Задачами по достижению цели являются:**

- ✓ исследование дифференциальных уравнений, их видов и применения,
- ✓ решение дифференциального уравнения на скорость охлаждения,
- ✓ выполнение практической части: программирование Arduino, связка с элементом Пельтье, и терморегулятором
- ✓ фиксация полученных результатов,
- ✓ исследование и вывод по результатам.

**Новизной** проекта является применения элемента Пельтье как охлаждающего элемента.

## Основная часть

### Дифференциальные уравнения и их виды

Уравнение с одним или несколькими переменными, которые включают производные зависимой переменной по отношению к независимой переменной, известно как дифференциальное уравнение.

Простыми словами, дифференциальное уравнение состоит из производных, которые могут быть как обыкновенными производными, так и частными производными.

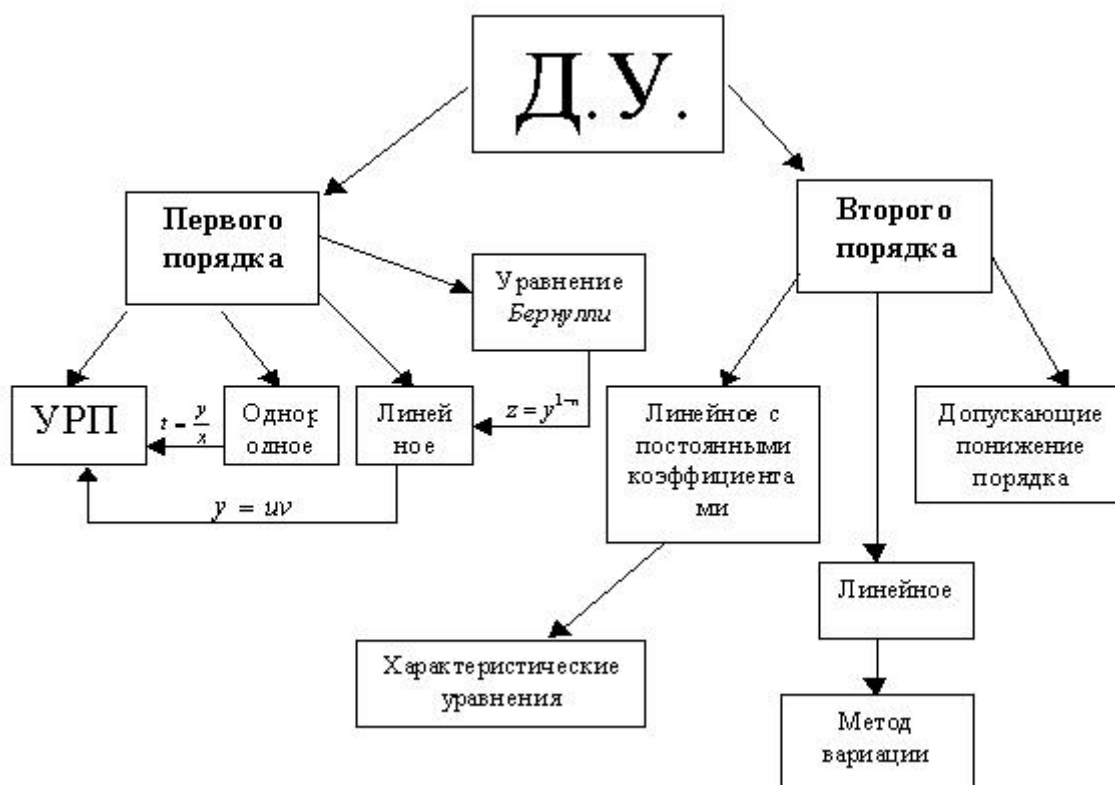
Например:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = 5\sin t$$

## Классификация дифференциальных уравнений

Приведенное ниже дерево представляет собой общую классификацию дифференциального уравнения.[1]



Теперь давайте изучим все типы с подробными объяснениями.

В зависимости от типа существует два типа дифференциальных уравнений: Обыкновенное дифференциальное уравнение и дифференциальное уравнение в частных производных.

а) Обыкновенное дифференциальное уравнение, зависящее от одной независимой переменной.

Например:

$$\frac{dy}{dx} + 5x = 5y$$

б) Дифференциальное уравнение в частных производных. Он включает в себя частные производные.

Например:

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = x^3 - t^3$$

## Порядок дифференциального уравнения



Порядок наибольшего дифференциального коэффициента (производной), участвующего в дифференциальном уравнении, известен как порядок дифференциального уравнения.

Например:

В уравнении

$$\frac{d^3y}{dx^3} + 5\frac{dy}{dx} + y = \sqrt{x}$$

порядок равен 3, так как порядок старшей производной равен 3.

Для производных предпочтительным является использование нотации в одинарных кавычках, которая

$$y' = \frac{dy}{dx}, y'' = \frac{d^2y}{dx^2} \text{ или } y''' = \frac{d^3y}{dx^3}$$

и так далее

Для производных более высокого порядка было бы громоздко использовать несколько кавычек, поэтому для этих производных используется обозначение  $y^{(n)} = \frac{d^ny}{dx^n}$

### Линейные дифференциальные уравнения

Если все зависимые переменные и все их производные встречаются линейно в данном уравнении, то оно представляет собой линейное дифференциальное уравнение.

Нелинейные дифференциальные уравнения

Любое дифференциальное уравнение с нелинейными членами известно как нелинейное дифференциальное уравнение.

$$\frac{dy}{dx} + xy = 5x$$

Оба являются линейными.

Пример

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \ln y = 10$$

In  $y$  не является линейным. Следовательно, это уравнение является нелинейным.

### Однородные дифференциальные уравнения

Рассмотрим следующие функции:

$$f_1(x, y) = y^3 + \frac{2}{3}xy^2$$

$$f_2(x, y) = x^3 \div y^2x$$

$$f_3(x, y) = \tan x + \sec y$$

Если мы заменим  $x$  и  $y$  на  $\alpha x$  и  $\alpha y$  соответственно, где  $\alpha$  — любая ненулевая константа, мы получим;

$$f_1(x, y) = (\alpha y)^3 + \frac{2}{3}(\alpha x)(\alpha y)^2 = \alpha^3(y^3 + \frac{2}{3}xy) = \alpha^3 f_1(x, y)$$

$$f_2(x, y) = \frac{(\alpha x)^3}{(\alpha y)^3(\alpha x)} = \frac{x^3}{xy^2} = \alpha^0 f_2(x, y)$$

$$f_3(x, y) = \tan(\alpha x) + \sec(\alpha y)$$

Мы отмечаем, что,  $f_1$  и  $f_2$  можно написать в виде  $f(ax, ay) = a^n f(x, y)$ , но  $f_3$  не можем.

Таким образом, если функция удовлетворяет условию, что  $f(ax, ay) = a^n f(x, y)$ , то для ненулевой постоянной  $\alpha$  она известна как однородное уравнение степени  $N$ .

Линейное дифференциальное уравнение вида,

$$f_n(x)y^n + \dots + f_1(x)y' + f_0(x)y = g(x)$$

представляет собой однородное дифференциальное уравнение, если  $g(x) = 0$ , в обратном случае представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение, то есть при  $g(x) \neq 0$ .

## Применение дифференциальных уравнений

Применение дифференциальных уравнений имеют значение как в академической, так и в реальной жизни. Уравнение обозначает связь между двумя величинами или двумя функциями, или двумя переменными, или набором переменных, или между двумя функциями. Дифференциальное уравнение обозначает связь между функцией и ее производными с помощью некоторого набора формул. Есть много примеров, которые означают использование этих уравнений.

Функции - это та, которая обозначает какую-то выполняемую операцию, и скорость изменения во время выполнения является производной от этой операции, а связь между ними является дифференциальным уравнением. Эти уравнения представлены в виде порядка степени, например, первого порядка, второго порядка и т. д. Его применение распространено в области техники, физики и т.д.

Применение дифференциальных уравнений в реальной жизни используются для расчета движения или потока электричества, движения объекта туда и обратно, как маятник, для объяснения концепций термодинамики. Также, в медицине, они используются для проверки роста болезней в графическом представлении.

Например, согласно закону Ньютона об охлаждении, изменение температуры прямо пропорционально разнице между температурой горячего объекта или тела и температурой атмосферы. Следовательно, в терминах дифференциального уравнения мы можем представить его как;

$$\frac{dT}{dt} \propto (T - T_a)$$

или

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_a)$$

Где  $k$  — пропорциональная константа,  $T$  — температура объекта, а  $T_a$  — температура атмосферы [2]

## ***Исследование способов охлаждения помещений***

### ***Виды охлаждения***

Существует множество способов охлаждения, но самые распространенные — это вентилятор и кондиционер.

**Вентилятор** дешевая и компактная альтернатива кондиционеру. Согласно исследованию, они потребляют в 50 раз меньше энергии. Однако, с вентилятором температура в помещении не меняется ни на один градус, он лишь создает ощущение прохлады и свежести. Соответственно, вентиляторы не способны создавать настоящий холод при южной жаре.

**Кондиционер**, в свою очередь, эффективно справляется с жарой, но не смотря на это, он имеет множество недостатков: возможность переохлаждения, повышенные расходы на электроэнергию, риск простудных заболеваний.

Мы решили создать свой способ охлаждения на основе **теплого пола**.

**Теплый пол** — система отопления, обеспечивающая нагрев воздуха в помещении снизу, где отопительным прибором выступает пол (настил).

Согласно Законам термодинамики, горячий воздух имеет небольшую плотность из-за чего поднимается вверх. Именно поэтому источником теплого воздуха является пол.

Теплый пол обогревает воздух нижних слоев помещения, потоки теплого воздуха поднимаются кверху, затрагивая всю площадь помещения и охлаждаясь возле потолка, снова спускаются вниз, и так цикл за циклом.

Следовательно, холодный воздух, более плотный, благодаря чему он под своей тяжестью вытесняет теплый (более легкий воздух) и стремится к земле. Именно поэтому источником холодного воздуха, в нашей системе, будет являться потолок, в котором будут находиться следующие элементы:

- 1) Элемент Пельтье
- 2) Датчик температуры Ардуино
- 3) Экран Ардуино для отображения текущей температуры в помещении
- 4) Система Водяного Охлаждения (СВО) для охлаждения горячей стороны элемента Пельтье,

### **Элемент Пельтье**

Элемент Пельтье — термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте Пельтье — возникновении разности температур при протекании электрического тока.

Принцип действия:

В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух полупроводниковых материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт таких материалов электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту.

Из чего состоит элемент:

Он состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов — одного n-типа и одного p-типа в паре (обычно теллурида висмута  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и твёрдого раствора  $\text{SiGe}$ ), которые попарно соединены при помощи металлических перемычек.

### **Система водяного охлаждения**

Как мы сказали, одна сторона элемента Пельтье охлаждается, а другая нагревается. Чтобы обеспечить корректную работу нашей системе, необходимо дополнительно охлаждать нагревающуюся сторону

Изначально мы хотели использовать кулер. Кулер - в применении к компьютерной тематике — русское название сборки вентилятора с радиатором, устанавливаемой для воздушного охлаждения электронных компонентов компьютера с повышенным тепловыделением.

Однако, основной недостаток, из-за которых нам пришлось отказаться от кулера (система воздушного охлаждения) заключается в том, что 1) его размеры прямо пропорциональны эффективности. Небольшой вентилятор не сможет качественно охладить процессор и 2) Работа вентиляторов достаточно шумная — уровень шума может превышать 45 дБ. Если пренебрегать профилактическим обслуживанием, кулер будет работать еще громче.

Наш выбор пал на СВО (система водяного охлаждения). Ее основными компонентами являются: вод блок, радиатор, вентилятор, помпа и шланги, по которым движется хладагент. От центрального процессора тепло передается вод блоку. Хладагент передает его по шлангам на радиатор, который и рассеивает тепло. Вентиляторы охлаждают радиатор. За движение жидкости отвечает помпа. В качестве хладагента зачастую выступает дистиллированная вода, которую смешивают с различными антикоррозийными добавками. Также производители предлагают готовые

жидкости, которые остаются только залить в систему. В преимущества СВО также можно записать бесшумную работу, красивый внешний вид и эффективное охлаждение.

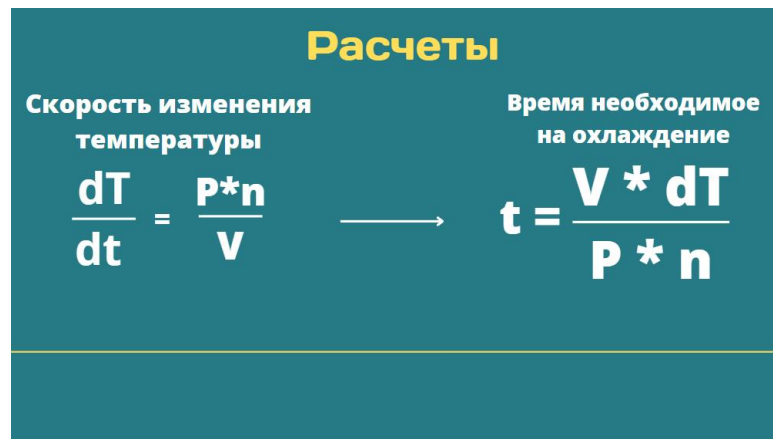
В начале работы было проведено исследование с целью выяснить, каким способом наиболее эффективно забирать тепло из помещения. Рассматривались такие устройства как: компрессор, система лучистого охлаждения, испарительная камера и др. В качестве источника холода были рассмотрены фреон, антифриз, вода. По причине низкой эффективности или влияния тех или иных веществ на экологию было решено отказаться от их использования. После изучения альтернативных источников и проведения небольших тестов, в качестве главного элемента охлаждения был выбран элемент Пельтье (см. рис.1). Выбор элемента был обоснован его нулевым влиянием на экологию, за счет полного отсутствия выбросов, а также высокой эффективностью (элемент может охлаждаться до температуры ниже 0 градусов Цельсия, используя только электрический ток), при сравнительно низком потреблении электричества.



Рис.1

## Практическая часть

В последствии была выведена формула для расчета предполагаемого времени, необходимого на охлаждение помещения. Для вывода этой формулы были использованы дифференциальные уравнения и их свойства(см. рис.2), а также физические формулы. В окончательном варианте осталось 5 основных переменных: время необходимое на охлаждение(t), объем помещения в кубических метрах(V), желаемая разница температур до и после включения охлаждения(dT), мощность одного элемента Пельтье(P) и кол-во элементов в системе(n).

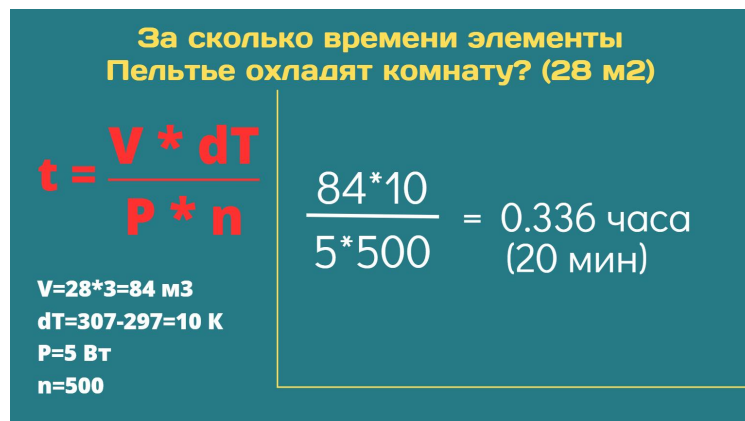


**Расчеты**

<b>Скорость изменения температуры</b> $\frac{dT}{dt} = \frac{P * n}{V}$	→	<b>Время необходимое на охлаждение</b> $t = \frac{V * dT}{P * n}$
--	---	--

Рис.2

Затем в формуле были использованы тестовые данные с целью получения предполагаемой эффективности проекта “IClimate” в сравнении с другими методами охлаждения помещений. В результате расчетов было получено предполагаемое значение за которое система из 500 элементов, с мощностью каждого в 5 Ватт, сможет охладить помещение объемом 84 м3(см.рис.3).



**За сколько времени элементы  
Пельтье охладят комнату? (28 м2)**

**$t = \frac{V * dT}{P * n}$**

V=28\*3=84 м3  
dT=307-297=10 К  
P=5 Вт  
n=500

$$\frac{84 * 10}{5 * 500} = 0.336 \text{ часа}$$

(20 мин)

Рис. 3



## Практическая модель системы охлаждения

Для проверки теоретических значений было решено провести эксперимент с охлаждением меньшего объема воздуха. В роли помещения было принято использовать герметичный пластиковый контейнер, объемом 3.75 литров, что соответствует 0.00375 кубическим метрам. Для замера температуры в контейнере, вывода температуры на электронный дисплей и питания элемента Пельтье была использованна управляющая плата с собственным процессором и памятью – Arduino(рис.4) .

Помимо платы использовался датчик температуры и влажности(для замера температуры внутри контейнера(рис.5)), макетная плата(элемент распределяющий электрический потенциал между остальными модулями(рис.6)), электронный дисплей(для вывода полученной датчиком температуры(рис.7)), элемент Пельтье(для охлаждения) и радиатор(для рассеивания тепла с обратной стороны элемента Пельтье).



Рис. 4

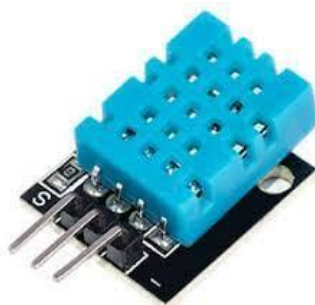


Рис. 5

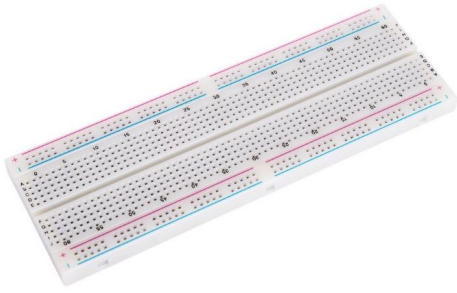


Рис. 6



Рис. 7

Чтобы объединить все элементы в единую систему, с использованием официальной документации Arduino(см. Литературу) была написана программа на языке программирования C++. После чего, вся конструкция была помещена в контейнер для проведения тестов(см.рис.8 и рис.9).

Программа для Arduino

```
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal.h>

#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 5, 4, 3, 2);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("Temp: ");
    pinMode(9, OUTPUT);
    analogWrite(9, 50);
}
```



```
void loop() {  
  
    delay(2000);  
    float humidity = dht.readHumidity();  
    float temperature = dht.readTemperature();  
  
    Serial.print("Влажность: ");  
    Serial.print(humidity);  
    Serial.print(" %\t");  
    Serial.print("Температура: ");  
    Serial.print(temperature);  
    Serial.print(" Градусов\n");  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Temp: ");  
    lcd.print(temperature);  
}
```



Рис. 8

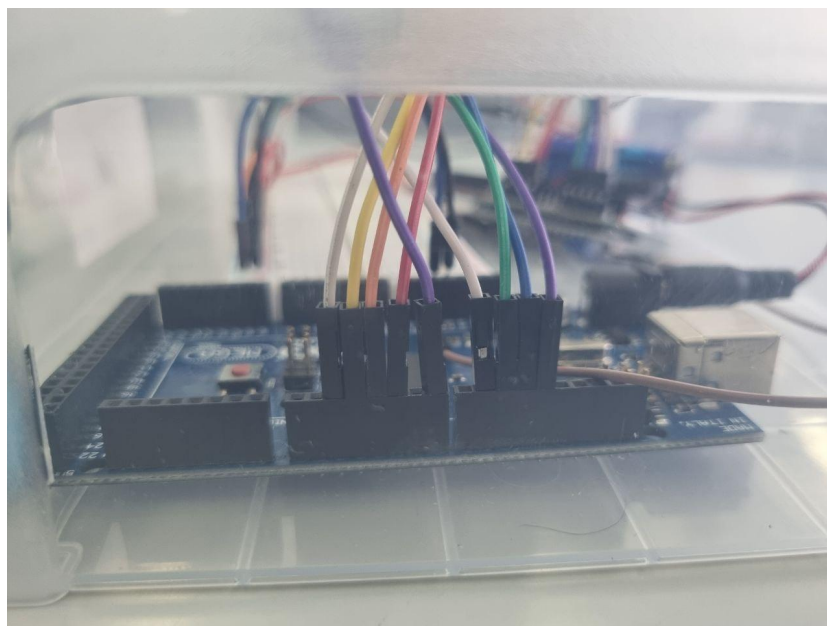


Рис. 9

Для проведения практического эксперимента был выбран отрезок времени длиной в 30 минут. Мощность элемента Пельтье во время тестирования составляла 0.1 Ватт. В результате эксперимента было зафиксированно изменение температуры в 11.6 градусов Цельсия, в то время как теоретические данные дают ответ равный 13.3 градусам Цельсия. Данная разница является допустимой, поскольку формула рассматривает идеальные условия без учета влияния окружающих факторов. Также важно учесть, что система нацелена на использование в жилых домах, где температура сохраняется лучше, следовательно в реальных условиях разница с теоретическими данными будет на уровне погрешности.



Рис.10 Начальная температура

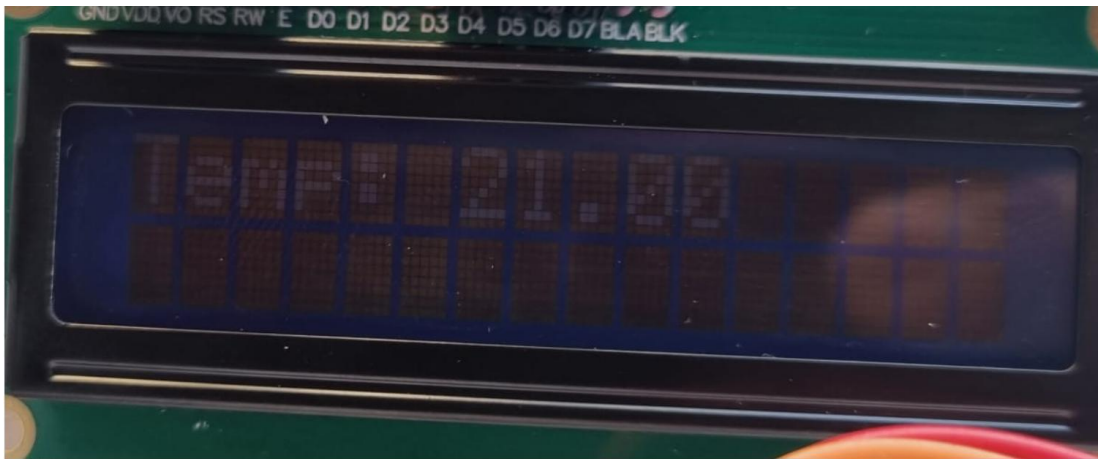
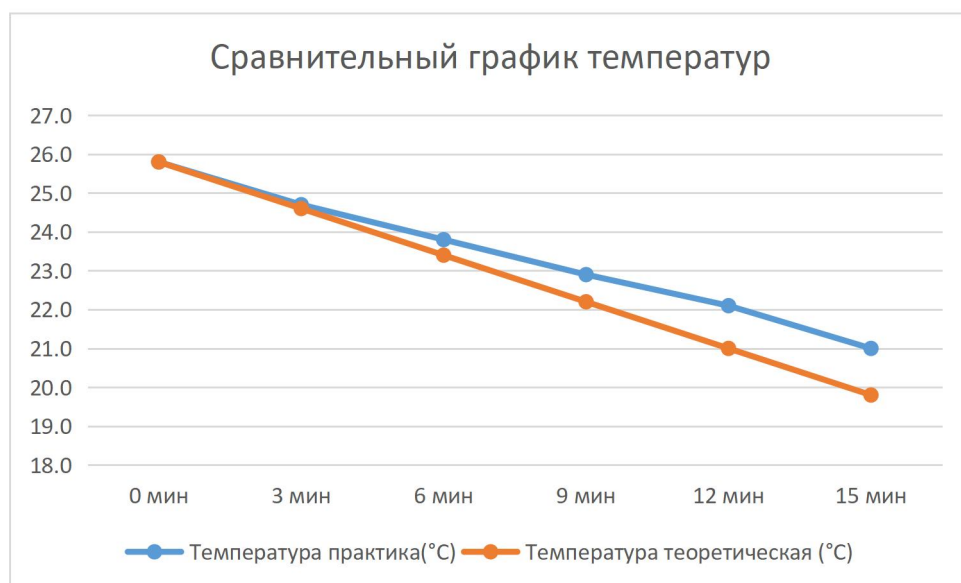


Рис.11 Температура через 15 минут



На основе полученных данных нами были рассчитаны затраты, необходимые на применение и последующее использование нашей системы в бытовых условиях. (см.рис.12)

## Расходы

- 500 элементов Пельтье =  $500 \cdot 800 = 400\,000$  тг
- Потребление =  $500 \cdot 5 = 2500$  Вт/ч = 2,5 КВт/ч
- 1 Кв/ч = 3,5 тг
- Стоимость часа =  $2,5 \cdot 3,5 = 8,75$  тг/ч

Рис. 12

## **Заключение**

Согласно графикам, можно заметить разницу между реальными и теоретическими значениями, что обусловлено условиями проведения эксперимента. Так как есть потеря температуры в связи с теплоизоляцией. Но в реальной жизни ошибка расчетов будет меньше, потому что жилые помещения хорошо теплоизолированы. Анализируя данные, полученные практическим и теоретическими способами, можно утверждать, что проект имеет свою практическую значимость, что система охлаждения работает и может стать хорошей альтернативой дорогостоящим системам кондиционирования.

Что касается планов по дальнейшему развитию проекта, наша команда планирует использовать тепло, выделяемое элементом Пельтье повторно. Это можно будет реализовать с использованием теплового двигателя или его аналогов, тем самым элементы будут самостоятельно покрывать большую часть расходов на своё функционирование.

## Использованная литература

1. [Высшая математика. Курс лекций \(siblec.ru\)](http://siblec.ru)
2. [Differential Equations Applications - In Maths and In Real Life \(byjus.com\)](http://byjus.com)
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA>
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82\\_%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%8C%D0%B5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%8C%D0%B5)
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%80>
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B8%D0%B7>