**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ.**

**К.И. Кукушкин**

*Ученик 7 класса, МБОУ Школы № 100 г.о.Самара*

*(443115, г.Самара, ул.Тополей,10)*

1. **ВВЕДЕНИЕ**

Внутренняя энергия играет важную роль в нашей жизни. Внутренняя энергия тела может изменяться за счет работы внешних сил. Для характеристики изменения внутренней энергии при теплообмене вводится величина, называемая количеством теплоты и обозначаемая Q. В международной системе единицей количества теплоты, так же как работы и энергии, является джоуль: [Q] = [A] = [E] = 1 Дж. Количество теплоты при нагревании зависит от теплоёмкости вещества.

**Цель работы:** разработать измерительный стенд, который позволит в автоматизированном режиме определять теплоемкость твердого тела.

**Задачи работы:**

- изучить литературу по теме работы;

- разработать аппаратное обеспечение для построения измерительного стенда;

- разработать программное обеспечение для реализации автоматизации измерительных процессов стенда;

- определить удельную теплоёмкость, исследуемого тела;

- развить навыки разработки средств автоматизации и применения современного программного обеспечения при проведении научных и инженерных экспериментов;

- провести анализ полученных результатов.

Теплоемкость - одна из главных физических характеристик тела, зависящая от химического состава и термодинамического состояния тела. Теплоемкость позволять установить, зависимость между количеством теплоты, подведенным к данному телу или отведенным от него, и изменением температуры данного тела. Установленная закономерность позволяет изучать теплоемкости твердых тел и газов, что дает нам знания, необходимые для применения тех или иных материалов для разнообразнейших целей: в науке, производстве, строительстве, и т.д.

Теплоемкость тела учитывают при:

- изучении строения веществ и их свойств;

- исследовании фазовых переходов и критических явлений;

- расчете суммарного количества примеси в веществе;

- определении тепловых эффектов химических реакций;

- при строительстве жилых и коммерческих строений;

- при производстве бытовых приборов, в том числе холодильных установок;

- в научных исследованиях;

**2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

**2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ.**

Удельной теплоемкостью вещества называется физическая величина, численно равная количеству энергии в форме теплоты, которое надо сообщить единице массы этого вещества для увеличения его температуры на 1 °С:

https://www.ok-t.ru/studopediaru/baza7/1445216696854.files/image732.gif , Дж/(кг×°С)

В общем случае удельная теплоемкость зависит от рода вещества и от вида термодинамического процесса, в котором телу сообщается количество теплоты.

Удельные теплоёмкости многих веществ приведены в справочниках (обычно для процесса при постоянном давлении). К примеру, удельная теплоёмкость жидкой воды при нормальных условиях - 4200 Дж/(кг·°С), льда – 2100 Дж/(кг·°С).

Количество теплоты, поглощённой телом при изменении его состояния, зависит не только от начального и конечного состояний (в частности, от их температуры), но и от способа, которым был осуществлен процесс перехода между ними.

**2.2. ТЕПЛОЁМКОСТЬ ТВЁРДЫХ ТЕЛ.**

Зная, что количество теплоты, полученное водой при нагревании в замкнутой системе (QОТД), равно количеству теплоты, отданному телом при охлаждении (QПОЛ), можно записать, что:

QОТД = QПОЛ

Тогда:

QПОЛ = ст ·mт (t2 - t)

где ст - удельная теплоемкость вещества тела, mт – масса вещества тела; t2 - температура тела после нагрева в сосуде, с учетом охлаждения при переносе в калориметр принимается, равной;

**3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ**

Для измерения нам понадобится:

1. Изолированная термодинамическая система;
2. Теплоноситель;
3. Исследуемое твердое тело - 2 шт;
4. Мерный стакан позволяющий точно отмерить 500 мл воды;
5. Весы, для определения масс в эксперименте;
6. Микропроцессорная платформа;
7. Три датчика температуры в герметичной капсуле.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНКРЕТНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРТНЫХ СРЕДСТВ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ЕГО СБОРКИ

* ВЫБОР ИЗОЛИРОВАННОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В качестве изолированной системы были выбраны бытовые термосы, в количестве - 2 шт. Выбор обусловлен высокой тепловой изоляцией содержимого термосов и их доступностью. Два термоса выбраны для параллельного измерения двух наборов исследуемых тел, что позволит с одной стороны ускорить получения искомой величины, за счет одновременного замера двух комплектов искомых тел, с другой стороны выявлению сбоев в измерительном стенде и его оборудовании при значительном расхождении результатов. Объем термосов 1 и 1,2 литра.

* ВЫБОР ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Для определения теплоемкости исследуемого тела, в качестве теплоносителя я решил применить обычную воду. Это доступный, не токсичный материал с известными характеристиками. Именно по тому как изменится температура воды я буду определять влияние исследуемого тела на теплоноситель и в итоге по данному влиянию я смогу определить теплоемкость тела. Объем воды я решил брать на уровне 500 мл, соответственно масса теплоносителя нам автоматически известна и равняется 500 мг, так как плотность воды известна и равна 997 кг/м³. Пятьсот миллилитров — это примерно половина емкости термосов. Таким образом мне остается доступным значительный объем, что позволит погрузить в него, разнообразные грузы, которые меньше диаметра горловины термоса.

* ВЫБОР ИССЛЕДУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

К исследуемому телу мной были выдвинуты следующие требования - тело должны состоять из материала с температурой плавления существенно больше 100 С, потому что оно будет погружаться в теплоноситель (воду) нагретый до температуры близкой к 100 С. Масса тела должна быть меньше теплоносителя залитого в термос, но при этом соизмерима с ней. Так как в качестве теплоносителя я использую 500 мг воды, то груз должен быть меньше данной величины. При этом он не должен быть сильно меньше, иначе погрешность измерения может составить значительную величину, так как изменения температуры будут малы и влияние тепловых потерь термоса может стать слишком большим. Для уменьшения погрешности связанной с измерением массы я выбрал в качестве груза лабораторные гири массой 200 гр, которые свободно проходят в горловину термоса и по массе соизмеримы с массой залитой в термос воды. Так как гири из лабораторного набора грузов выполненных по ГОСТ, то масса нам известна с высокой точностью. Так как гири магнитятся к магниту, то они выполнены из неизвестной марки стали.

* ВЫБОР МЕРНОГО СТАКАНА

Мерный стакан необходим для измерения объема теплоносителя (воды) которую я буду нагревать до заданной температуры и наливать в термос. Данный стакан должен с хорошей точностью позволять отмерить 500 мл воды..

* ВЫБОР ВЕСОВ

Весы необходимы для измерения массы исследуемого тела а также для контроля массы теплоносителя заливаемого в термос. Так как я выбрал в качестве исследуемого тела лабораторные гири, то массу нет необходимости замерять. Так же мерный стакан позволил мне набирать заданный объем теплоносителя. Таким образом весы перестали быть фактически нужны, но так как я их выбрал на начальном этапе подбора аппаратных средств необходимых для эксперимента, то я их оставил в качестве подстраховки.

* МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ПЛАТФОРМА

Центральным элементом моего стенда является миниатюрная микропроцессорная платформа, которая позволит мне автоматизировать процесс измерения. Уже более 4-х лет я изучаю робототехнику на базе платформы Espruino (<https://www.espruino.com>), построенную на базе 32-х битных микропроцессоров семейства ARM. Сердцем ее является «движок» Espruino, позволяющий выполнять программы написанные на языке JavaScript. Данная платформа является уменьшенной по возможностям и объему копией «движка» V8 компании Google. Фактически данный «движок» является «младшим» братом сервера Node.JS, предназначенным не для компьютеров а для небольших, малопотребляющих микроконтроллеров. Существует много микропроцессоров на которых может выполнятся Espruino, готовые модули на которых находятся микроконтроллер, память flash, ram, питание, разъемы и другие нужные для реальной работы элементы. Их производят Espruino, российская компания «Амперка», компании из Китая и европы. Наличия дисплея не было обязательным требованием, так как я могу в реальном масштабе времени получать данные о происходящих процесса в консоль. Но с другой стороны, на дисплей удобно вывести статусную информацию которую удобно получать в зоне проведения эксперимента не отвлекаясь на компьютер. При этом работа с дисплеем существенно увеличивает трудоемкость написания кода. В итоге я остановился на модуле Pixl.js (<https://www.espruino.com/Pixl.js>) производства Espruino с интегрированным монохромным ЖК дисплеем. С данным модулем я уже не однократно работал и знаю его особенности. Одной из позитивных для моего эксперимента особенностью является связь данного модуля не по USB кабелю, по радиоинтерфейсу Bluetooth, что позволяет отнести ноутбук на безопасное место и дистанционно перезаписывать программу. Модуль был упакован мной в самодельный корпус Slot Box выполненный из вспененного ПВХ материала. Набор для данного корпуса выпускает компания «Амперка» (<https://amperka.ru/product/structor-slot-box>).

* ВЫБОР ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для проведения эксперимента мне понадобятся три датчика температуры, с точностью измерения не хуже 0,5 С и способные измерять температуры в диапазоне 0…100 С, при этом они должны быть рассчитаны на погружение в жидкость, т.е. находится в герметичном корпусе. Под такие требования хорошо подходит один из моих любимых датчиков температуры DS18B20 производства Dallas Semiconductor. Мне понадобятся вариант датчиков изготавливаемые герметичном корпусе (<https://amperka.ru/product/sealed-temperature-sensor-ds18b20>). Данный датчик представляет собой микропроцессорный, настраиваемы измеритель температуры с регулируемой разрядностью измерения температуры от 9 до 12 бит что дает разрешающую способность ~0,05 С. Погрешность на границах диапазона измерения -50….+125С не превышает 0,5С. Датчик работает по цифровой шине OneWire что позволяет экономно использовать аппаратные ресурсы микроконтроллера. В конце Далее я опишу почему мне понадобилось сразу три датчика температуры.

* ПРОВЕДЕНИЕ ПЕРВОЙ ФАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Сборка стенда и проведения итогового эксперимента было разбито мной на два этапа. На первом этапе мне было необходимо определить тепловые потери выбранных мной термосов, величину **dT/dt**, где **dT** изменение температуры за заданное время dt, т.е. скорость изменения температуры. Для чего мне это понадобилось. Когда я решал как я буду определять что термодинамическая система состоящая из термоса, теплоносителя, исследуемого тела (гиря) после их объединения пришла в равновесие мне нужен был критерий. Если бы система была бы идеальной, то после выравнивания величина **dT/dt** стала бы равна = 0, хоть это и произошло бы, строго говоря через бесконечно большое время. Но в моем случае используются бытовые термосы и мне необходимо учитывать потери, которые неизбежно происходят через их стенки. И поэтому сравнивать мне необходимо именно с этой, на начальном этапе, мне не известной величиной. Так же я решил найти эту величину для того, что бы иметь возможность компенсировать погрешность связанной с падением температуры из за остывания термосов и для того что бы убедится что термоса исправные и имеют относительно небольшие потери на интервале измерения.

Таким образом. на первой фазе эксперимента мне понадобилось разработать программное обеспечение, которое по моей команде начало бы фиксировать температуру в термосе, в который залито 500 мл воды, при температуре ~70C. И начало бы фиксировать показания термодатчика на SD карту, подключенную к микропроцессорному модулю. На карте заранее был подготовлен файл **data.csv**, с тем, чтобы записывать в него порядковый номер замера, время когда произошел замер и показания термодатчика. После окончания замера модуль должен подать сигнал о прекращении измерении. Немного о том, как выбиралась температура теплоносителя и на первой фазе, и на второй. Я исходил из следующих соображений – при высокой температуре теплоносителя (воды) я приближусь к границе измерения (+125С) выбранного мной термодатчика, что привело бы к увеличению погрешности измерения. Также при высокой температуре вода интенсивно парит, что приводит к быстрым изменениям температуры при открывании термосов, внесения в них грузов и т.д. Мне не хотелось бы получить дополнительные погрешности и поэтому по совету кураторов я выбрал температуру теплоносителя в р-не 70 С. Несколько слов как я выдерживал температуру теплоносителя на данном уровне. Для этого я применил для подготовки воды «цифровой» чайник Viomi Smart Kettle Bluetooth (<https://mi-shop.com/ru/catalog/smart_devices/viomi-smart-kettle-bluetooth-white>), который имеет встроенный датчик и режим удержания температуры возле заданной температуры. Такой прием также позволил мне повысить повторяемость условий эксперимента в целом, что как я считаю положительно сказалось на точности измерений.

В результате проведения первой фазы эксперимента мной были собраны данные для определения величины dT/dt для обеих чайников. Эксперимент пришлось повторить пять раз так как на начальном этапе я не имел представление с какой скоростью будет происходить падение температуры. В первых экспериментах я выбрал интервал измерения 10 сек. При таком темпе датчик был не способен отличить значения измерений. Пришлось несколько раз переписать программу. В силу особенности датчика мне пришлось подобрать темп измерения датчиком, и интервал записи усредненного значения на SD карту. В итоге были подобраны следующие величины, темп измерения 30 сек, темп записи на SD карту 300 сек (5 мин) и длительность наблюдения 7 200 сек (2 часа).

После завершения измерений данные были переброшены в компьютер путем импорта значений в программу excel. Я уже проделывал такое ранее и знал, что для удобства импорта в excel необходимо было сохранять данные в микропроцессорном модуле на SD карте в формате **csv** (<https://ru.wikipedia.org/wiki/CSV>). Данные в таком файле разделяются символом «точка с запятой». Для обработки данных в excel я подготовил файл **result.xlsx** (<https://github.com/konstantin-ki/Physics-heat-capacity/blob/main/res/data/result.xlsx>). На вкладках **termos\_1** и **termos\_2** произведен расчет dT/dt для термоса 1 и 2.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание  
Рисунок 1 – тепловые потери первого термоса

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок 2 – тепловые потери второго термоса

Из представленных данных видны величины потерь:

1. **0,00089** С/сек;
2. **0,00046** С/сек;

Именно на эти величины я буду опираться при определении момента установления равновесия при второй фазе эксперимента.

**4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Важным становится проектирование теплозащиты жилых зданий, больниц, детских садов, в которых нужно поддерживать постоянной температуру в теплый и холодный периоды года.

Применение материалов, которые обладают малой теплопроводностью, позволяет снизить теплопотери. Но теплопроводность веществ касается не только зданий, но и непосредственно человека, материала его одежды, учитывается в сельском хозяйстве, чтобы сохранить от вымерзания посевы. В быту также невозможно не учитывать теплопроводность различных веществ.

Анализируя полученные результаты, видим, что они имеют ряд погрешностей.