

**ОТДЕЛ ПО ОБРАЗОВАНИЮ АДМИНИСТРАЦИИ
ПЕРВОМАЙСКОГО РАЙОНА ГОРОДА ВИТЕБСКА
ГУО «Гимназия № 5г. Витебска имени И.И Людникова»**

Проект практических мероприятий по энергосбережению

**Оптимизация использования энергии тепловых потоков за
счёт эффекта Коанда**

Авторы:

**Воробьёва Ульяна Николаевна,
учащаяся 11 «А» класса**

Сроки проведения: 2020 - 2021 гг.

Место проведения: г. Витебск

**Консультант: Тищенко Ника Геннадьевна,
учитель физики**

**Адрес учебного заведения: 210027, Витебск, ул. Чкалова 19-а,
гимназия №5, тел.8-0212-642774. gymn5@pervvoo-vitebsk.gov.by**

Содержание

1. Введение. Цель и задачи.....	2
2. Теоретическое исследование.....	5
3. Экспериментальное исследование.....	7
4. Выводы (по результатам исследований)	9
5. Разработка собственного устройства.....	9
6. Заключение.....	15
7. Новизна. Наши планы.....	15
8. Используемые источники.....	16

Введение. Цели и задачи

Известный факт: $\frac{3}{4}$ от всей потребляемой в быту энергии идет на отопление помещений. Передача тепла происходит конвекцией (70%) и излучением (30%). Даже наличие на современных отопительных приборах специальных ребер-воздуховодов не гарантия комфортных и оптимальных условий: перепад температур на полу и потолке достигает 8-10°C. А ведь всем хорошо известна народная поговорка «Держи ноги в тепле, а голову в холоде!» (головной мозг потребляет от 30 до 50% энергии человека - голова всегда теплее, чем ноги; при таком теплообмене в комнате этот температурный дисбаланс значительно усиливается – поэтому такие жалобы, как «болит голова» и «мерзнут ноги» – усиливаются в период отопления). При этом нерационально расходуется энергия, перегревая пространство под потолком (согласно исследованиям ученых, перерасход может достигать 40%).

На данный момент существуют несколько способов достичь комфорта, однако, они влекут дополнительные энергозатраты и значительные изменения в дизайне помещений.

Следовательно, нужен легко реализуемый и неэнергозатратный способ, обеспечивающий оптимизацию использования энергии тепловых потоков, то есть надо способствовать тому, чтобы конвективные потоки обогревали не только потолок. Это значит, что организовать пространство над батареей в комнате нужно так, чтобы перенаправить и перераспределить потоки. Но там и так часто есть уже подоконник. Второе препятствие сразу снизит теплоотдачу за счет экранирующего эффекта. Можем предложить выход – приспособление (не использующее дополнительно энергию) встроить в подоконник или совместить с ним.

Известно, что при обтекании тел воздушным потоком образуется течение вокруг и за обтекаемым телом, имеющее особую структуру скоростной картины. В разделе физики «Аэродинамика» точного математического описания подобных процессов пока не получено, поэтому именно получение экспериментальных данных является способом накопления знаний для дальнейшего применения на практике. Очевидно, что потоки воздуха будут обтекать устройство т.е. перераспределение и оптимизация будет происходить за счет энергии естественного потока воздуха. Следовательно, используя его, *мы способствуем достижению целей устойчивого развития, в частности цели 7 «Недорогостоящая и чистая энергия».*

Поэтому данное исследование является **актуальным**. Тогда **цель** нашей работы: исследование реальных возможностей экономии энергетических ресурсов при поддержании комфортной температуры; выявление области применения результатов исследования. Для ее достижения были сформулированы следующие **задачи**:

- 1) Изучить материал по данной теме, провести теоретическое исследование.
- 2) Создать модель приспособления.
- 3) Провести эксперименты для исследования влияния существенных параметров системы на перераспределение тепловых потоков.
- 4) Сформулировать выводы.
- 5) Определить области применения результатов исследования.

Объект исследования – создание и поддержание комфорта при помощи недорогого и энергоэкономичного устройства.

Предмет исследования – устройство, функционирующее за счет эффекта Коанда.

Методы исследования: анализ теоретического материала; моделирование условий; наблюдение и измерение; установление причинно-следственной связи; обобщение.

Гипотеза: можно создать устройство, повышающее эффективность отопления.

Предполагаемый результат: устройство, позволяющее поддерживать комфорт в быту, учреждениях образования, общественных зданиях без дополнительных энергозатрат, при этом позволяющее экономить энергию.

Этапы реализации проекта: выявление проблемы; проведение теоретического исследования; проведение экспериментального исследования; определение области применения исследования; выработка реальных рекомендаций; распространение идей и пропаганда эффективных способов энергосбережения; появление новых идей на основании полученных результатов.

Теоретическое исследование

Вначале выяснили, реально ли существует вышеописанная проблема. Выбрав произвольно комнату в квартире с центральным отоплением, произвели измерения температуры в центре комнаты. Результаты: на уровне пола 17,6 °С, на высоте 1,6 м - 22,7 °С, у потолка – 25,1 °С.

Так, выявив проблему, мы определили, что наше устройство будет перераспределять потоки в месте их максимальной интенсивности – «окно-подоконник-радиатор».

Ознакомим Вас с основными положениями теории, выбранной для решения проблемы.

А) При обтекании газом поверхности твердого тела образуется пограничный слой (рис.3.) (эффект Коанда, описанный им в 1932 году), т.к. между потоком и поверхностью образуются вихревые

потоки, там возникает область пониженного давления. В этом слое происходит плавное изменение скорости вследствие прилипания потока к твёрдой поверхности.

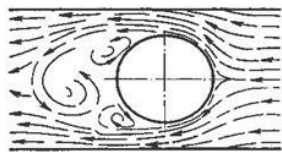


Рисунок 3 Один из примеров обтекания твердого тела потоком воздуха

Б) Когда кинетическая энергия заторможенных в пограничном слое частиц газа становится недостаточной для преодоления сил давления, течение в пограничном слое теряет устойчивость и возникает отрыв потока, который может быть как ламинарным, так и турбулентным даже при изначально ламинарном. Точка на поверхности тела, в которой происходит отрыв пограничного слоя, называется точкой отрыва.

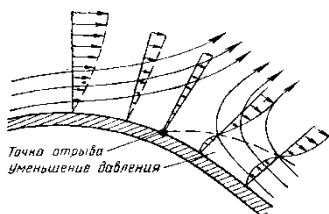


Рисунок 4 Течение в пограничном слое вблизи точки отрыва

В) В основном участке струи, который представляет наибольший интерес с практической точки зрения, создается поток, в котором осевая скорость потока обратно пропорциональна расстоянию от отверстия. На сравнительно коротком расстоянии от отверстия при любых условиях свободный воздушный поток превращается в струю с углом расширения близким к 20° .

Поэтому, исходя из общей теории, получаем, что для решения проблемы будем использовать эффект Коанда, который возникает

вследствие того, что происходит обтекание твердого тела воздушным потоком.

Экспериментальное исследование

Вначале, используя аналогию потоков газа и жидкости, проследим за изменением направления при наличии обтекаемой преграды. Так (рис. 1а,б), вертикальный поток изменил направление на 170° и на 190° (для наглядности выделили черным цветом путь потока воды по поверхности цилиндра) в зависимости от скорости потока. На рис 1в показано, что при удалении четвертины сразу произошел отрыв потока.



Рис 1а,б – обтекание потоком цилиндра, в–обтекание цилиндра с удаленной четвертиной

Следовательно, используя эффект Коанда, можно изменить направление потока.

Теперь определим основные характеристики потока, образующегося за счет эффекта Коанда. Для этого используем воздуходувку, анемометр и различные бутылки (как модели обтекаемых тел).

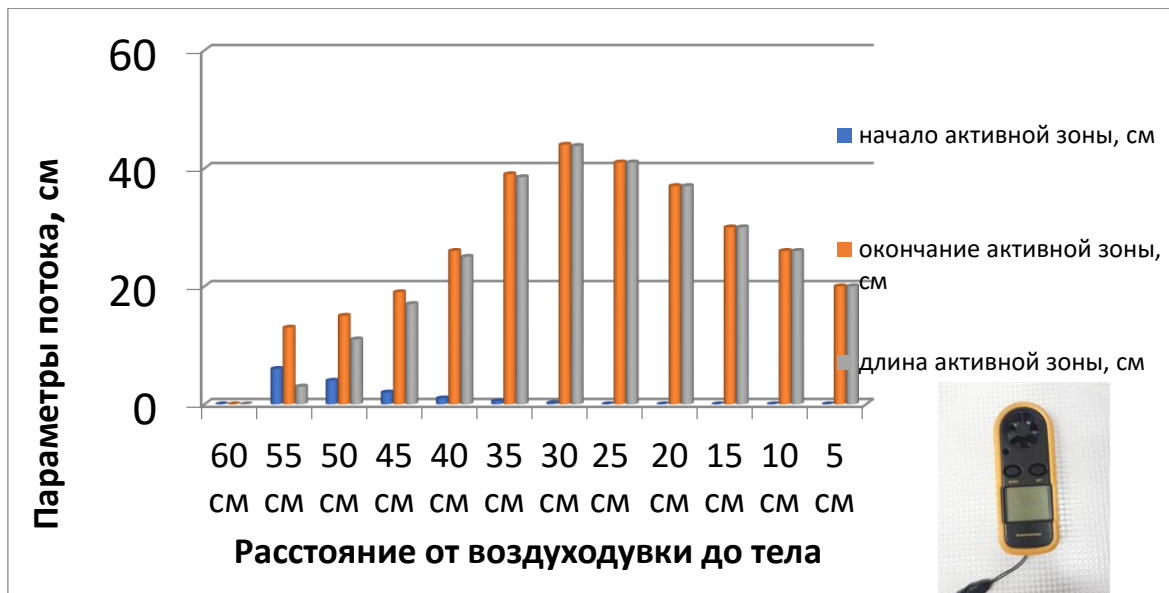


Диаграмма 1 Зависимость параметров потока от расположения тела в нём

Вывод: поток характеризуется наличием активной зоны (определяемая скорость), параметры которой зависят от расположения обтекаемого тела в потоке.

Таблица 2 Исследование влияние материала обтекаемого тела

Материал	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
Стекло	0,2	44	43,8
Пластик	0	44	44
Металл	0,5	43	42,5

Вывод: материал не является существенным фактором, главное – наличие обтекаемой твердой поверхности

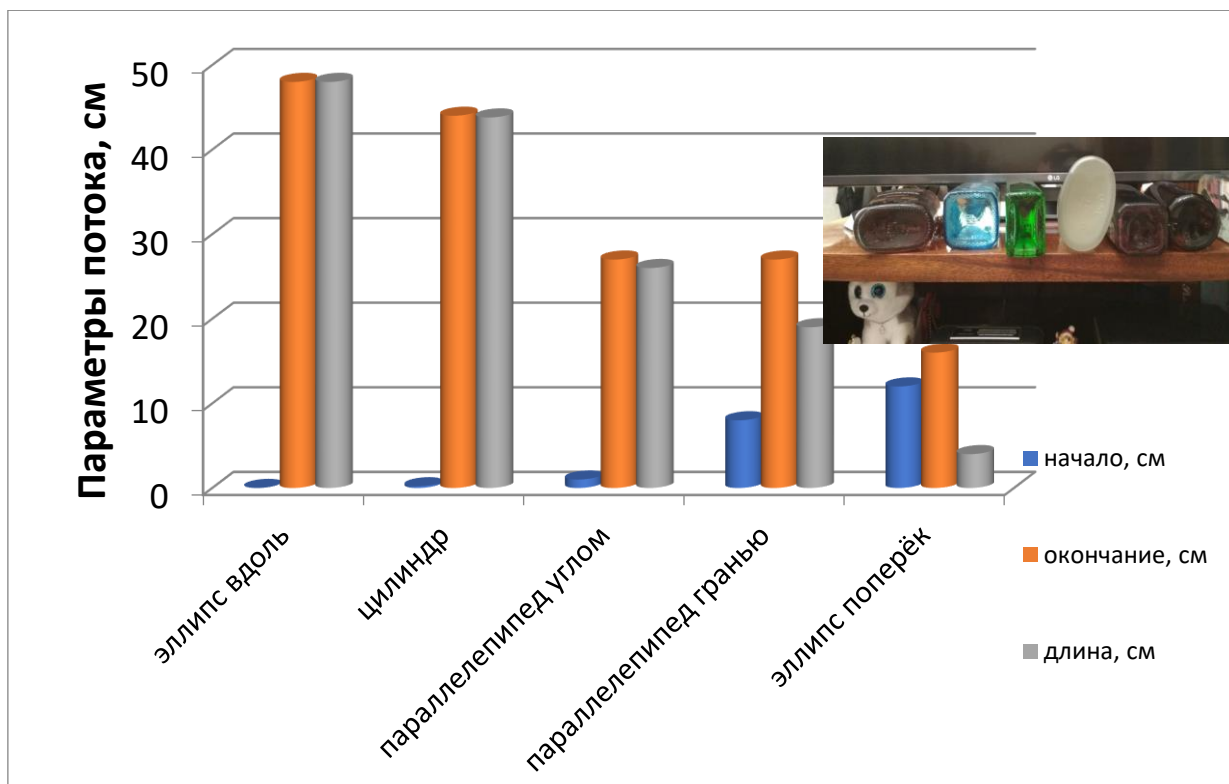


Диаграмма 2 Зависимость параметров активной зоны от формы обтекаемого тела

Вывод: лучше использовать эллипс вдоль или цилиндр. Последний предпочтительней из-за простоты изготовления.

Таблица 3 Влияние температуры потока

Температура потока на выходе из сопла, °C	Температура на расстоянии 30 см от сопла, °C	Расстояние до начала активной зоны, см (температура, °C)	Расстояние до конца активной зоны, см (температура, °C)	Длина активной зоны, см
27	26	2 (24)	37 (23)	35
46	38	2 (36)	38 (31)	36
58	48	2 (47)	39 (38)	37

Вывод: повышение температуры подаваемого воздуха хоть незначительно, но удлиняет активную зону. Объясняем это тем, что происходит снижение температуры вдоль потока (см значения температур в скобках), что способствует его сжатию, т.е. уменьшению площади поперечного сечения, и увеличению скорости (условие неразрывности потока). А это значит, что тепловой поток от источника тепла можно перенаправить на значительное расстояние.

Сформулируем **выводы** по результатам исследований:

1) Тепловой поток можно перенаправить благодаря возникновению пограничного слоя (эффекту Коанда) на препятствии.

2) Для данного явления существенными параметрами являются:

- размеры и форма тела, ориентация в потоке при наличии нескольких осей симметрии (влияют на обтекаемость, положение точек отрыва, дальнейшую скорость и тип потока, параметры активной зоны),

- место расположения тела в потоке (определяет наличие явления, положение точек отрыва, тип отрывного течения);

- температура потока влияет на параметры активной зоны.

3) Материал обтекаемого тела не является существенным параметром.

Разработка собственного устройства

Для модели устройства в качестве материала мы выбрали дерево, но, как выяснено экспериментально это может быть и другой, исходя из общих тенденций интерьера. Место расположения – подоконник (в дальнейшем это может быть его конструктивным элементом).

При этом было дополнительно выявлено, что подоконник изначально не должен перекрывать сверху радиатор (самый худший вариант для такого типа отопления помещений), максимальное перекрытие – 50%. Совсем без перекрытия – тоже не оптимальный выбор – мощный теплый поток поднимается прямо вверх, сильно согревая пространство у потолка, при этом в зоне оконного проёма создается зона с повышенной влажностью, что может даже способствовать образованию грибка.

Тогда разноуровневое расположение цилиндрических тел позволит повысить эффективность отопления за счет перераспределения потоков.

Были протестированы многочисленные варианты, для визуализации перераспределения потоков использовался ультразвуковой увлажнитель воздуха, дающий мелкодисперсный видимый поток.

В итоге выявлена самая эффективная конструкция – рисунок 2.



Рис 2 Фото обратной торцевой стороны модели (волнообразное распределение цилиндров)

Нами определено, что есть несколько вариантов ориентации конструкции, состоящей из цилиндров, расположенных по волновой поверхности (мы назвали «горизонтальная волна» – рис.3 и «вертикальная волна»– рис. 4).



Рис. 3 Фото конструкции «горизонтальная волна», вид сверху



Рис.4 Фото конструкции «вертикальная волна», вид сбоку и сверху

Из них лучший вариант – конструкция «вертикальная волна»: температура 21,8°C на полу, 22,4°C – на высоте 1,6 м, 23,7 °C – потолок. Для «горизонтальной волны»: 20,1°C – пол, 22,6°C – на высоте 1,6 м, 24,4°C – потолок. Напомним, что результаты до этого были: на уровне пола 17,6 °C, на высоте 1,6 м - 22,7 °C, у потолка – 25,1 °C.

Итак, с использованием устройства температура в помещении будет поддерживаться на комфортном уровне без дополнительных энергозатрат (для перераспределения потоков используется энергия самого потока). Более того, такой вариант отлично подойдет для комнат с высокой влажностью для предотвращения образования конденсата на окнах – для этого последний изгиб волны должен быть направлен в сторону окна. При этом, комфортные условия можно достичь, снизив температуру в системе отопления, что будет способствовать экономии топливных ресурсов (как при центральном отоплении, так и в аналогичных условиях в частных домах, или же экономится электроэнергия) (эффективность оценена ниже).

Дополнительно провели проверку времени нагрева комнаты площадью 11,2 м² в частном временно неотапливаемом доме (Витебск, ул. Виноградовой, 20) с помощью масляного радиатора с максимальной мощностью 1000 Вт. Так были проведены исследования в два аналогичных по температурному режиму дня 12 декабря 2020 г и 15 января 2021 г (день -4°C, ночь -6°C). Начальная температура в помещении была +5°C. Прогрев до комфортной +18°C в середине комнаты без устройства занял 2ч 28 минут, с устройством – 1ч 3 минуты. Затем для поддержания температуры (проверка шла в течение 5-ти часов) использовалась мощность нагревателя 700 Вт без устройства, 500 Вт – с ним. Т.е. даже за это время экономия составила 2,42 кВт·ч ($8,712 \cdot 10^6$ Дж или примерно 9 МДж).

Проанализируем последние данные, т.к. это позволяет оценить экономический эффект. В отопительный период энергия расходуется на поддержание комфортной температуры. По полученным нами результатам – это используется мощность на 200 Вт меньше, что составляет экономию 29% (от 700 Вт). Напомним, что ученые говорят о 40% перерасходе. Значит мы обнаружили основной источник перерасхода. Но даже не претендуя на максимальные значения,

считаем, что если при оптимизации будет достигнута экономия 15-20% топливных ресурсов, то это будет значительный вклад в ресурсосбережение, при этом снизится количество вредных выбросов в окружающую среду.

Проверено также в подсобном помещении, где было всего +15°C, при помощи силиконовых трубок и пары пластиковых бутылок (прорезаются пазы — так хорошо они на подоконник крепятся). Итог: температура в зоне наиболее вероятного пребывания поднялась до +19°C. Помещение узкое, видимо вот это тоже влияет на окончательный результат.

И представляем Вам макет ($\approx 1:8$), демонстрирующий расположение устройства в зависимости от степени перекрытия радиатора подоконником (рис.5). Естественно, что характеристики «волны» можно менять в зависимости от конкретных условий.



Рис.5 Фото макета с регулируемой ориентацией устройства

Обратились к специалистам по установке окон (как пластиковых, так и деревянных) по поводу реализации данной идеи. Оказывается, что были попытки модернизации пластиковых подоконников — просто прорези со вставкой плоских пластин. Даже они снижали интенсивность образования грибка, улучшали теплообмен. Однако, из-за значительного повышения стоимости

(почти в 3 раза, т.е. составляет 400% от первоначальной цены), эта конструкция была невостребованная. Изучив наше предложение, специалисты сделали своё заключение: для пластиковых подоконников однозначно рационально использовать наше устройство, макет которого представлен на рисунке 5 – просто и дёшево, а для деревянных возможна как эта, так и встроенная конструкция, так как заказывают их достаточно обеспеченные клиенты, и стоимость подоконника в этом случае будет выше на 20-30%, что является приемлемым вариантом.

К преимуществам нашей конструкции можно отнести то, что один или несколько цилиндров можно сделать в виде трубки с прорезью сверху, что позволит заливать туда воду для повышения влажности в отопительный период, а если добавить в воду ароматическое масло – для дезодорации помещения или ароматерапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие **выводы**:

- 3) гипотеза подтверждена;
- 4) изучен материал по данной теме;
- 5) выявлены характерные параметры;
- 6) проведено большое количество экспериментов, подтверждающих возможность повысить эффективность отопления;
- 7) проведена частичная реализация проекта в быту;
- 8) очевидно, что существуют ограничения для данного способа, которые обусловлены областью применения или особенностями конструкции устройства;
- 9) оценена возможность экономии до 20% топливных ресурсов;
- 10) существуют перспективные способы достижения целей устойчивого развития, в частности цели 7 «Недорогостоящая и чистая энергия».

Новизна – получено экспериментальное подтверждение того, что существует доступный способ повысить эффективность отопления и достижения комфорта.

Наши планы:

- провести презентацию проекта для родителей и учащихся;
- проверить эффективность идеи при охлаждении помещений с помощью охлаждающих диффузоров;
- продумать мобильную конструкцию;
- продумать дизайнерский вариант для общественных зданий.

Используемые источники:

1. Аленицын А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико-математический справочник. – СПб: «Специальная литература», 1997.
2. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. - М., Стройиздат, 1975.
3. Я. Перельман "Занимательная физика". Книга 2. Глава 6. Свойства жидкостей и газов.
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА И КРЫЛА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ НА АЭРОСТЕНДЕ ТМЖ-1М. Грязнова И.Ю., Мартьянов А.И. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 60 с.