МАУ ДО «Детский эколого-биологический центр», г. Хабаровск

Всероссийский конкурс

юных исследователей окружающей среды

Номинация: «Экология энергетики»

**Разработка модели «идеального» бюджетного**

**солнечного коллектора-водонагревателя**

Автор: Данильченко Демьян Дмитриевич, 8 класс

Научный руководитель:

Горохов Кирилл Геннадьевич, методист, ПДО

2019 год

**Оглавление**

Аннотация…………………………………………………………………………………3

Введение…………………………………………………………………………………...3

Методика проведения работ. Ход работ.

Оборудование для изготовления макетов коллекторов………………………….4

Общие условия экспериментов……………………………………………………4

Описание предварительных экспериментов. Промежуточные результаты……5

Эксперименты с коллектором, снабженным змеевиком………………………...6

Разработка и опробование «идеальной» модели солнечного коллектора-водонагревателя………………………………………………………………..7

Обобщение результатов. Разработка полномасштабного прототипа…………………8

Апробация прототипа. Перспективы работы

Обобщение результатов……………………………………………………………8

Разработка полномасштабного прототипа. Апробация прототипа……………..8

Перспективы работы……………………………………………………………...10

Заключение……………………………………………………………………………….10

Литература………………………………………………………………………………..11

**Аннотация**

Целью настоящей работы являлось создание и апробация в условиях лабораторных испытаний уменьшенной копии некой модели «идеального» солнечного коллектора-водонагревателя. Работа представляет собой описание экспериментов по анализу эффективности коллекторов-водонагревателей различного устройства на основе работы с моделями в заданных условиях эксперимента. Всего было произведено 14 экспериментов, в двух повторностях каждый. В работе проанализировано влияние на эффективности коллекторов углов освещения, светопроницаемости и окрашенности стен емкостей, эффективность применения теплоизоляторов, светоотражателей и теплообменников-змеевиков. На основе данных экспериментов предложена и опробована принципиальная схема наиболее эффективного из коллекторов, обладающих заданными условиями: бюджетностью и простотой в изготовлении. Произведено обоснование эффективности. Произведен расчет затрат на изготовление полноразмерного прототипа, применимого в условиях индивидуальных садово-огородных хозяйств.

**Введение**

Предпосылкой возникновения проекта стала проводимая нами лабораторная работа по сравнению нагревания воды в прозрачной и окрашенной черной аэрозольной краской емкостях под действием лампы накаливания в качестве источника и тепла. И если при боковом освещении мы получили предсказуемый результат (вода в «черной» емкости нагрелась сильнее, чем в прозрачной), то при освещении сверху картина была обратной, что было для меня неожиданностью. Мой руководитель предложил мне объяснить это с точки зрения физики, и разработать в условиях лаборатории некую идеальную модель солнечного коллектора-водонагревателя. За основу были взяты материалы из учебного пособия SPARE/ШПИРЭ «Школьная программа использования ресурсов и энергии», по итогу работ значительно дополненные [1]. Т.о. **целью** работы стало создание модели «идеального» солнечного коллектора-водонагревателя. Были определены **задачи**:

- создать серию макетов для апробации их эффективности в заданных условиях;

- разработать простые, легко воспроизводимые условия эксперимента с макетами;

- модернизировать макеты с целью получения наиболее эффективной модели;

- обосновать причины эффективности одних и малой эффективности других моделей;

- произвести экономический расчет для создания полноразмерного прототипа «идеального» коллектора;

- произвести апробацию прототипа и сделать выводы.

Собственно макеты являются **объектами** работы. **Предметом** работы является определение их эффективности в условиях эксперимента.

**Актуальность** работы заключается не только в создании модели некоего эффективного автономного водонагревателя. Множество дачных и огородных хозяйств в нашей местности не имеют центрального энергоснабжения, либо подключены к маломощным электросетям. Нагрев воды с помощью солнечного коллектора снижает энергопотребление садовыми товариществами и отдельными огородниками, позволяет снизить объем применения для нагрева воды печей и плит на твердом топливе, что вносит свой пусть и незначительный, но от этого не теряющий актуальности вклад в дело энергосбережения и сохранения воздуха. В отдельных случаях (отсутствие центральных коммуникаций) применение коллекторов является (сезонно) единственным возможным вариантом обеспечения участка теплой водой.

**Методика проведения работ. Ход работ.**

Оборудование для изготовления макетов коллекторов

Для изготовления макетов брались одинаковые прозрачные пластиковые контейнеры объемом 1 дм3. Часть из них была окрашена автомобильной аэрозольной краской в черный цвет. Контейнеры имели близкую к кубической форму – для лучшего восприятия освещенности в сравнении с цилиндрическими. Один контейнер был снабжен шлангом-теплообменником внутренним диаметром 5 мм, уложенными на окрашенную в черный цвет металлическую подложку (длина теплообменной части ок. 1 м). Также были изготовлены окрашенные и неокрашенные подложки под емкости из многократно сложенной фольги. Во всех экспериментах емкости и подложки были изолированы от поверхностей, на которых они стояли, теплоизоляторами из пористого теплоизоляционного рулонного фольгированного материала. Из него же было изготовлено несколько фольгированных светоотражателей (фото ниже). Также использовался выложенный изнутри пенопластовый короб внутренним размером 30х40 см и высотой 10 см.

Общие условия экспериментов

В качестве источника освещения и тепла использовалась обычная лампа накаливания мощность 95 ватт. Закрепленная в штативе, во всех экспериментах она устанавливалась на расстоянии 0.1 м от нагреваемых поверхностей.

Экспозиция во всех экспериментах составляла 3 часа. Вода в емкостях до начала эксперимента бралась комнатной температуры. Контроль за постоянством температуры в лаборатории и изменением темпрературы в емкостях осуществлялся с помощью спиртовых термометров с точностью до 0.5 оС. Замеры температуры воды производились во всех экспериментах в 5 см от поверхности воды.

Температура помещения во всех экспериментах составила 25оС. Все эксперименты производились в двух повторностях для получения подтвержденного результата.

Описание предварительных экспериментов. Промежуточные результаты.

На предварительной стадии было произведено 10 экспериментов (каждый в двух повторностях). На первой стадии работ две емкости (прозрачная и «чёрная») помещались в три варианта условий (см. Фото 1, 2):

1. Емкости устанавливались на теплоизолирующий элемент и освещались строго сбоку;

2. Емкости устанавливались на черноокрашенный фольгированный элемент, отделенный от поверхности стола теплоизоляцией, и освещались лампой строго сверху;

3. Емкости устанавливались в фольгированный короб, по высоте равный емкости, и освещались строго сверху.

Результаты всех экспериментов внесены в сводную Таблицу 1 ниже. Кратко:

1. В эксперименте 1 предсказуемо «черная» емкость нагрелась сильнее прозрачной (32 оС и 29 оС соответственно)

2. В эксперименте 2 результат был иной: 34 оС «черная» емкость и 37 оС прозрачная. Результаты лично для меня явились неожиданностью. После поиска теоретического обоснования произошедшего я установил, что «черная» емкость нагрелась слабее, т.к. нагревалась практически исключительно сверху, и прогретые верхние слои воды не перемешивались с нижними. В случае с прозрачной емкостью нагрев шел в первую очередь от расположенного под ее дном черного фольгированного элемента. Нагревающаяся от фольги вода поднималась вверх, обеспечивая перемешивание воды в емкости и ее лучший нагрев/

3. В эксперименте 3 полученные результаты составили практически одинаковые 39 (+/- 0.5) оС. Это объясняется значительным эффектом отражения света и тепла фольгированными дном и стенами коробки.

По данной части работы были сделаны следующие выводы:

- в районах, где солнце проходит высоко над горизонтом, окрашивание баков коллекторов в черный цвет может оказаться не столь эффективным, как в районах, где солнце ближе к горизонту;

- в отдельных случаях использование прозрачного бака эффективнее, чем черного;

- наличие светоотражающих элементов может значительно повысить эффективность работы коллектора.

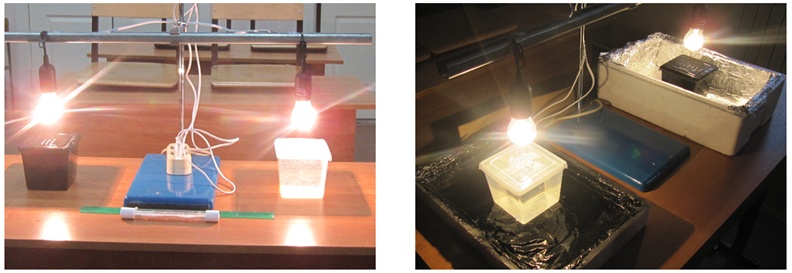


Фото 1, 2. Фотографии первого блока экспериментов

Эксперименты с коллектором, снабженным змеевиком

В пособие SPARE/ШПИРЭ наиболее эффективным в работе предложено считать коллектор, снабженный шлангом-змеевиком, уложенным на черную металлическую поверхность (См. Рис. 1). Теоретически такой коллектор видится эффективным: змеевик имеет значительную площадь теплообмена; поступившая в его нижнюю часть от дна бака вода, нагреваясь, устремляется в верхнюю часть бака, обеспечивая постоянный водообмен. По этому же принципу устроены многие автономные коллекторы заводского изготовления; правда, вместо имеющего низкий КПД змеевика там чаще имеется ряд вертикальных прозрачных труб (см. Рис. 1).

Еще до начала эксперимента было ясно, что изготовление такого устройства – более сложный процесс. В процессе проведения опытов выяснились также следующие моменты:

- из-за малого внутреннего диаметра (5 мм) трубки-теплообменника требуется ее тщательная продувка, иначе попавший внутрь воздух в отдельных случаях может остановить процесс перемешивания слоев воды;

- трубка на всем протяжении изогнутой части должна быть направлена «по восходящей». Каждый сифонообразный изгиб препятствует процессу перемешивания воды, создавая в трубке «тепловой карман»; при этом добиться необходимого расположения змеевика при применении трубки небольшой длины и малого диаметра крайне сложно;

- из-за малой длины трубки-теплообменника процесс водонагревания в условиях лабораторного эксперимента шел медленно, и за 3 часа эксперимента в полностью налаженной системе нагрев в сравнении с температурой в лаборатории происходил не более чем на 2 оС (не выше 27 оС). Т.о. в лабораторных условиях данная модель себя не оправдала. Основная причина – фактически крайне низкая площадь, подвергающаяся нагреву.



Рисунок 1. Модель солнечного коллектора-водонагревателя

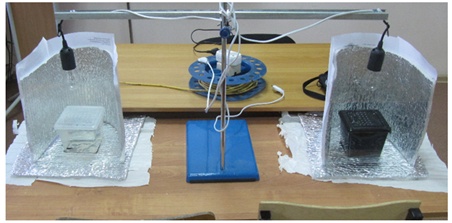
из пособия SPARE/ШПИРЭ и его аналог промышленного изготовления

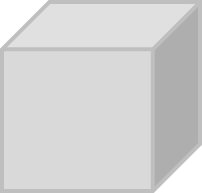
Т.о. по итогам данного эксперимента было определено, что для эффективной работы коллектора-водонагревателя такого типа зигзагообразное расположение теплообменника является малоэффективным. А изготовление коллектора «заводского типа», оборудованного рядом отдельных вертикальных труб, является трудоемким и затратным, и вряд ли окупится при наличии полноценно работающих заводских аналогов. Дальнейшие эксперименты в этом направлении были прекращены.

Разработка и опробование «идеальной» модели

солнечного коллектора-водонагревателя

В ходе предыдущих экспериментов было определено, что наличие светоотражающего экрана повышает эффективность работы модели. Был изготовлен экран из фольгированного теплоизоляционного материала, состоящий из основания и свернутой полукольцом полосы, установленный так, чтоб емкость оказалась освещенной со всех сторон. Экран по высоте в 2.5 раза превышал высоту емкости – для увеличения эффекта отражения (см. Фото 3, Рис. 2).





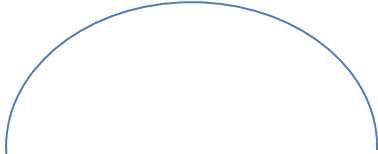


Рис. 2. Схема «идеальной» модели Фото 2. Эксперимент над

«идеальной» моделью

Эксперимент, как и прежде, производился в двух повторностях, с использованием прозрачного и «черного» контейнеров. Прозрачный контейнер устанавливался на подставку из окрашенной в черный цвет фольги. Произведено два опыта:

- источник освещения устанавливался сверху, над емкостями;

- источник освещения устанавливался под углом 45 о к поверхности относительно емкости (аналог освещения солнцем, не находящимся в зените). Полученные результаты подтвердили эффективность данной модели. Так в первом опыте вода в прозрачной емкости нагрелась до 41 оС, в «черной» - до 39оС. При освещении под углом температура воды в обоих емкостях достигала 40 оС.

**Обобщение результатов. Разработка полномасштабного прототипа.**

**Апробация прототипа. Перспективы работы.**

Обобщение результатов.

Обобщенные результаты представлены в виде сводной Таблицы 1:

Таблица 1. Результаты экспериментов. Т комн. = 25 оС.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Краткое описание эксперимента | Освещение  сбоку, отражателя нет, без змеевика | Освещение  сверху, отражателя нет, без змеевика | Освещение  сверху,  свето-отражательный короб, без змеевика | Имеется змеевик, освещение  змеевика сбоку,  емкость не освещается | «Идеальный»  макет, освещение под углом | «Идеальный»  макет, освещение сверху |
| Емкость, температуры (средние) |
| Прозрачная | 29оС | 37оС | 39оС | 27оС | 40оС | 41оС |
| Окрашенная | 32оС | 34оС | 39оС | 40оС | 39оС |

Как видим из таблицы, изготовленный по итогам всех экспериментов снабженный светоотражателем макет зарекомендовал себя как наиболее эффективный. Именно он лег в идею создания и опробования практически работающей модели.

Разработка полномасштабного прототипа. Апробация прототипа.

На основании полученных результатов летом 2019 года был собран и опробован полнообъемный макет (объем резервуара 1м3). За основу была взята стандартная пластиковая емкость, установленная на деревянный палет и пенопластовую теплоизоляционную подложку. Изначально емкость белая матовая, непрозрачная. После месяца эксплуатации (вторая половина июня-первая половина июля) емкость была окрашена черной автомобильной аэрозольной краской. В роли отражателя выступил оцинкованный профлист 1.18х2 м. Экономический расчет исходя из фактических цен в магазинах города Хабаровска на момент постройки вы видите в Таблице 2. Итого для изготовления и установки ее на крыше дачного сарая необходимо 20 000 руб. (при магазинной цене простейшего солнечного коллектора 30 000). Затраты взял на себя мой руководитель.

Таблица 2. Расчет изготовления полнообъемной модели

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Стоимость | Количество | Итого |  |
| Контейнер на поддоне полиэтиленовый, 1м3 | 16 700 руб/шт. | 1 шт. | 16 700 |  |
| Профлист оцинкованный, 1.18х2 м | 513 руб/лист | 2 листа | 1 026 |  |
| Пенопласт 50 мм, 2х1 м | 214 руб/лист | 1 лист | 214 |  |
| Доска обрезная 4000х0.15х0.35 м | 9 000 руб/м3 | 0.2 м3 | 1 800 |  |
| Метизные изделия | - | - | 260 |  |
| Итого | | | 20 000 руб |  |

В результате эксперимента не получено четких параметров, т.к. нагрев воды в емкости не в полной мере коррелировал с температурой окружающей среды и во многом находился, помимо температуры, в зависимости от уровня освещенности, а, значит, уровня облачности и времени дня. Но при этом температура воды в коллекторе в 14-00 (время выполнения замеров) регулярно превышала температуру окружающей среды на 10-15 оС. Окрашенная емкость дает эффект приблизительно на 30% выше.

Но данные цифры являются условными, т.к. применение обычных спиртовых термометров и отсутствие системных замеров в течение дня, к сожалению, не позволяет выводить точных значений. Поэтому эксперимент (в измененном виде) будет повторен в следующем году (см. ниже).

Также в ходе работ этим летом была сформулирована гипотеза, что, возможно, эффективность водонагревания можно повысить путем замены большой емкости, объем которой не находит полного применения, на емкость меньшего размера (0.2 м3). Объем определен путем анализа водопотребления семьей из 4-х человек в условиях использования коллектора на дачном хозяйстве. Ввиду меньшего размера ёмкость будет быстрее прогреваться, монтаж коллектора станет проще, стоимость материалов ниже.

Перспективы работы.

В июне 2020 года на территории нашего Экоцентра будет работать летний образовательный лагерь «Олимпиец». В ходе него планируется силами учащихся лагеря смонтировать новую установку. Замеры температуры на выходе из емкости, а также температуры окружающей среды планируется производить на протяжении 10 дней работы лагеря 3 раза в день (10-00, 14-00, 16-00) с помощью электронного термометра (есть в наличии в Экоцентре). Также планируется вести журнал метеоданных.

Экономический расчет постройки нового коллектора исходя из фактических цен в магазинах города Хабаровска по состоянию на сегодняшний момент представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Расчет изготовления планируемой модели

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Ст-ть | Кол-во | Итого | C:\Users\Кирилл\Desktop\3d1ebc38b7af029b62a54578ec1a8bb8.jpg |
| Емкость , 0,2 м3 | 2 300 руб/шт. | 1 шт. | 2 300 |  |
| Профлист оцинкованный, 1.18х2 м | 550 руб/лист | 1 лист | 550 |  |
| Пенопласт 50 мм, 2х1 м | 250 руб/лист | 1 лист | 250 |  |
| Доска обрезная 4000х0.15х0.35 м | 9 000 руб/м3 | 0.1 м3 | 900 |  |
| Элементы подводки (вентили, шланг, проч.) |  |  | 400 |  |
| Метизные изделия | - | - | 100 |  |
| Итого | | | 4 500 руб |  |

**Заключение**

Выше вы уже ознакомились с результатами нашей работы и дальнейшими планами. Добавлю, что помимо приобретения навыка проведения самостоятельных исследовательских работ и анализа результатов, я приобрел объемный багаж знаний по вопросам энергосбережения в каждодневной жизни, и намерен и дальше увеличивать его.

При этом и сама работа не стала просто набором опытов, а дала результат, применимый на практике. В наших планах – продолжение экспериментов (см. выше), популяризация полученного опыта среди имеющих собственные садово-огородные участки друзей и знакомых, среди учащихся нашего Экоцентра. Будет продолжен поиск идей энергосбережения для изучения механизмов действия и практического применения.

**Литература**

1. ШПИРЭ - Школьная программа использования ресурсов и энергии. Учебное пособие для средней школы. – СПб. 2004 г. – 80 с., илл.