

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Средняя общеобразовательная школа №19»  
г. Мичуринска Тамбовской области

Влияние различных видов теплопередачи на эффективность  
аккумулирования солнечной энергии

Выполнила: ученица 11-а класса  
МБОУ СОШ №19 г. Мичуринска  
Тамбовской области  
Чиркина Елена Юрьевна

Руководитель: учитель физики  
МБОУ СОШ №19 г. Мичуринска  
Тамбовской области  
Чиркин Юрий Алексеевич

г. Мичуринск, 2021 год

## Содержание

1. Введение .....	3
2. Ход исследования .....	5
2.1 Теоретическая часть .....	5
2.1.1 Теоретические оценки величины солнечного излучения .....	5
2.1.2 Разработка модели исследуемого явления .....	5
2.2 Практическая часть .....	9
2.2.1 Подготовительный этап .....	9
2.2.2 Экспериментальная часть .....	10
3. Заключение .....	17
4. Источники информации .....	17

## 1. Введение

### Роль энергии в жизни человека

Современный человек не может представить свою жизнь без света, тепла и горячей воды. Мы настолько к ним привыкли, что зачастую не замечаем этих благ и воспринимаем их как должное. Однако, эти блага цивилизации человек получает за счёт энергии, которую он черпает из окружающей среды.

Как известно, мировое потребление энергии с каждым годом стремительно возрастает [1]. Рост населения в глобальном масштабе, появление новых энергоёмких производств, усложнение и укрупнение уже существующих промышленных предприятий и рост городов - это причины, напрямую влияющие на расходование невозобновляемых энергоносителей.

### Энергетические ресурсы

В настоящее время свои энергетические потребности человечество удовлетворяет в основном за счет углесодержащих видов топлива (каменного угля, нефти, газа, дров, сланцев, торфа) и урана. По некоторым оценкам, при современном уровне добычи нефти и газа их запасов хватит на 40 – 60 лет. [2]

Противостоять неизбежному кризису топливных ресурсов сможет альтернативная энергетика. В отличие от традиционных способов добычи энергии посредством безвозвратной переработки нефти, газа или угля, альтернативная энергетика основывается на использовании возобновляемых источников энергии.

### Энергия Солнца

Одним из альтернативных источников энергии является энергия Солнца.

Солнечная энергия обладает неоспоримыми преимуществами перед традиционными органическим и ядерным горючим. Это исключительно чистый вид энергии, который не загрязняет окружающую среду, а само ее использование не связано ни с какой биологической опасностью. Использование солнечной энергии в больших масштабах не нарушает сложившегося в эволюции энергетического баланса нашей планеты. Это практически неисчерпаемый источник энергии.

### Актуальность исследования

Использование солнечного тепла — наиболее простой и дешевый путь решения отдельных энергетических проблем.

Мы решили исследовать проблему простого использования солнечной энергии в быту и предложить наиболее эффективные способы для этого, что будет актуально для многих людей, так как многие имеют дачные участки или загородные дома и знание простых эффективных способов аккумулирования солнечной энергии принесёт им практическую пользу.

## Гипотеза

Проблемой использования тепловой энергии солнца в быту является сложность её аккумулирования с целью дальнейшего использования. На накапливаемую энергию влияет теплопередача.

Мы предположили, что различные виды теплопередачи имеют различное влияние на эффективность аккумулирования энергии Солнца.

## Цель работы

Таким образом, целью работы стало выяснение влияния различных видов теплопередачи на эффективность аккумулирования солнечной энергии.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Оценить величину энергии поступающей от Солнца
2. Выявить способы теплопередачи, способствующие аккумулированию и потерям энергии
3. Разработать модель исследуемого явления
4. Выбрать методы исследования
5. Осуществить отбор измерительных приборов
6. Подготовить необходимые материалы и инструменты
7. Разработать и собрать установки для проведения исследований
8. Проанализировать полученные результаты
9. Предложить способы наиболее эффективного накапливания энергии

Объектом исследования в работе является энергия Солнца.

Предмет исследования – виды теплопередачи солнечной энергии

## Методы исследования

Достижение цели работы обусловило использование следующих методов исследования:

1. Изучение источников информации по видам теплопередачи
2. Наблюдение за явлениями теплопередачи
3. Моделирование исследуемых явлений
4. Проведение экспериментов
5. Измерение температуры в теплоприёмниках
6. Графический анализ полученных результатов
7. Синтез результатов с формулированием выводов

## 2. Ход исследования

### 2.1 Теоретическая часть

#### 2.1.1 Теоретические оценки величины солнечного излучения

Солнце – первопричина всей жизни на Земле и наш важнейший поставщик энергии. Оно – невероятный ступок энергии. Энергия, излучаемая с поверхности Солнца и попадающая на земной шар, примерно в 10.000 раз превышает сегодняшнюю мировую потребность в энергии [3]

Характеристикой солнечной энергии поступающей на Землю является Солнечная постоянная — суммарная мощность солнечного излучения, проходящего через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку, на верхней границе атмосферы при среднем расстоянии от Земли до Солнца. По данным внеатмосферных измерений Солнечная постоянная составляет  $1367 \text{ Вт/м}^2$  [4]

До поверхности Земли доходит около 70% солнечного излучения, что составляет около  $1000 \text{ Вт/м}^2$  [5]. Причины потерь солнечного излучения на пути к Земле указаны на рис 1.

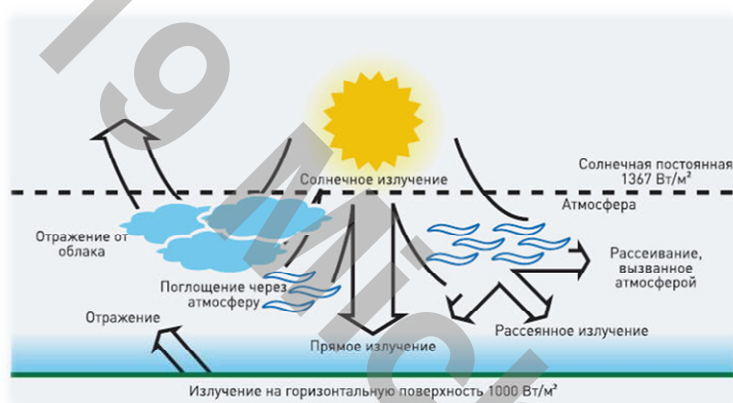


Рис. 1 Потери солнечного излучения

При современной стоимости электроэнергии (2,90 руб/кВт·ч для сельской местности в Тамбовской области в первом полугодии) на каждый квадратный метр «падает» около 3 рублей в час.

#### 2.1.2 Разработка модели исследуемого явления

Для того чтобы выяснить насколько перспективно использование энергии Солнца для удовлетворения бытовых нужд человека в горячей воде мы решили найти суммарную энергию, которую будет получать теплоприёмник в течение дня.

Для оценки суммарной энергии, получаемой от Солнца в течение суток нужно разработать модель данного явления.

Мощность солнечного излучения зависит от широты местности, времени года и суток. Кроме того, мощность солнечного излучения, практически достигающего поверхности Земли (т.е. за вычетом потерь в атмосфере), зависит также и от состояния атмосферы (наличия облаков, тумана, пыли и т. п.). Так как состояние атмосферы зависит от многих случайных

факторов, то суточные и годовые графики поступления солнечной энергии имеют сложный характер.

Примерами, отражающими сложную зависимость мощности солнечного излучения от времени суток могут служить данные метеостанции в п. Аян Хабаровского края ( $\varphi = 56^{\circ}$ ) [6] на рис. 2 и данные лаборатории климатологии атмосферного состава г. Томска ( $\varphi=56,5^{\circ}$ ) [7] на рис. 3.



Рис. 2 График зависимости солнечной радиации от времени суток по данным метеостанции в п. Аян Хабаровского края

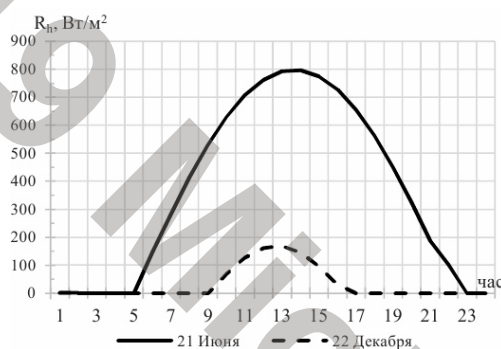


Рис. 3 График зависимости солнечной радиации от времени суток по данным лаборатории климатологии атмосферного состава г. Томска

Указанные населённые пункты имеют географическую широту близкую к географической широте Мичуринска ( $\varphi = 52,5^{\circ}$ ) и поэтому их можно принять за основу модели для расчёта получаемой энергии. Расчёт энергии оценивался для интервала от 9.00 до 16.00ч., что было обусловлено расположением установки для исследования (в этот интервал времени теплоприёмник освещался Солнцем).

В имеющихся графиках начальная мощность на 9 ч составляет соответственно около 80 Вт/м<sup>2</sup> и 550 Вт/м<sup>2</sup>, достигает максимального значения равного примерно 800 Вт/м<sup>2</sup> около 14 часов и уменьшается до 600 Вт/м<sup>2</sup> и 700 Вт/м<sup>2</sup> к 16 часам.

Для упрощения модели мы решили считать зависимость мощности излучения от времени линейной, взяв минимальную начальную мощность излучения 300 Вт/м<sup>2</sup> и считая, что мощность излучения увеличивается до 14.00 достигая значения 800 Вт/м<sup>2</sup>, а затем также линейно уменьшается до 600 Вт/м<sup>2</sup> к 16 часам, что будет примерно соответствовать средней энергии излучения для данных графиков (рис. 4, рис. 5)



Рис. 4 Сравнение выбранной модели с графиками изменения мощности излучения Солнца

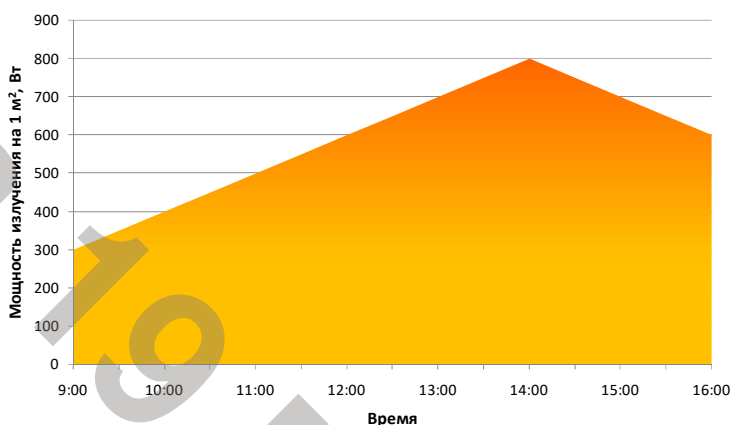


Рис. 5 График модели мощности излучения Солнца в интервале от 9.00 до 16.00ч

С помощью табличного процессора было рассчитана температура, до которой теоретически должна была нагреться вода в теплоприёмнике, и построен график этой зависимости.

Расчёт температуры нагрева теплоприёмника производился следующим образом:

Так как плотность потока солнечного излучения представляет собой энергию,

падающую на единицу площади в единицу времени  $\sigma = \frac{Q}{S \cdot t}$ , а поступающее количество

теплоты идёт на нагрев воды  $Q = cm\Delta t$ , то величина изменения температуры будет выражаться формулой

$$\Delta t = \frac{S\sigma t}{cm}$$

где  $\Delta t$  – изменение температуры теплоприёмника (воды)

$\sigma$  – среднее значение мощности солнечного излучения за интервал времени  $t$

$c$  – удельная теплоёмкость воды

$m$  – масса воды

S – площадь поверхности теплоприёмника

Теплоприёмником выступала пластиковая бутылка с водой массой 1 кг. Площадь поверхности теплоприёмника была принята равной 0,02 м<sup>2</sup>

Начальную температуру воды приняли равной 20 °С.

Например, для интервала времени от 9.30 до 10.00 изменение температуры, рассчитанное по данной модели, составит

$$\Delta t = \frac{0,02 \cdot \text{м}^2 \cdot 375 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot 1800 \text{с}}{4200 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})} \cdot 1 \text{кг}} \approx 3,2^\circ\text{C}$$

График зависимости температуры, до которой должна была нагреться вода в данных условиях, показывает, что к 16 часом температура должна составить 90 °С (рис. 6)

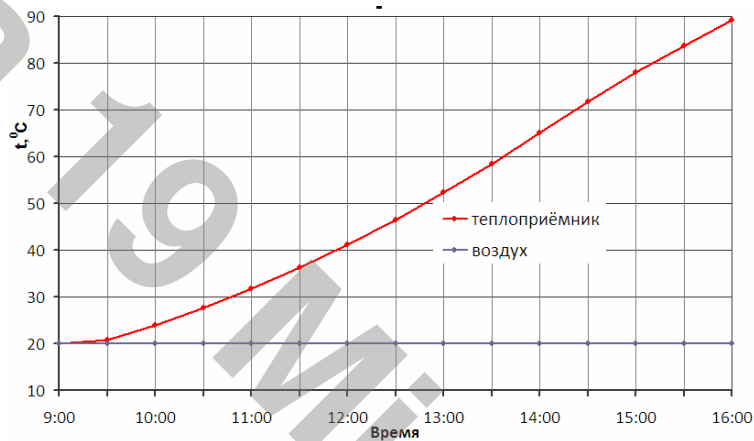


Рис. 6 График нагрева воды в теплоприёмнике без учёта тепловпотерь

Из повседневного опыта нам известно, что в действительности такой температуры вода, нагреваемая солнцем, никогда не достигает, что объясняется теплообменом нагреваемой воды с окружающей средой.

При аккумуляции энергии теплоприёмником имеют место излучение (радиация), конвекция и адвекция (перенос энергии воздушными массами в горизонтальном направлении (ветер)) и теплопроводность (рис. 7)

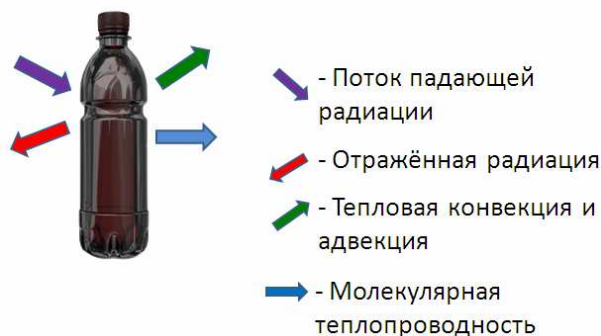


Рис. 7 Баланс энергий на поверхности теплоприёмника.



## 2.2 Практическая часть

### 2.2.1 Подготовительный этап

На подготовительном этапе была разработана схема установки для исследования, выбрано место её расположения, а также подготовлены необходимые материалы и оборудование.

Для исследования влияния различных видов теплопередачи на эффективность аккумулирования солнечной энергии проводились экспериментальные исследования.

#### Оборудование для исследования

При выполнении экспериментального исследования использовалось следующее оборудование: термометры, резиновый шланг, пластиковые бутылки объёмом 1,5л и 5л, чёрная краска и сантехническое оборудование (краны, хомуты, обрезки ПВХ-труб) (рис. 8)



Рис. 8 Оборудование для проведения экспериментов

Для проведения измерений температуры использовались термометры из школьного кабинета физики. Так как у термометров имеется инструментальная погрешность, то перед проведением экспериментов были отобраны термометры, дающие одинаковые показания в исследуемом диапазоне температур (проводились сравнения показаний термометров для диапазона от 20 до 50 °С, как наиболее вероятного диапазона, в котором предполагались измерения)

#### Установка для исследования

Базовая установка для проведения экспериментов представляла собой теплоприёмник, в качестве которого выступала пластиковая бутылка объёмом 1,5л с отрезанной нижней частью. В отрезанном доньшке высверливалось отверстие диаметром соответствующим толщине термометра. Термометр удерживался на крышке с помощью одетого на него кольца от резиновой трубки (рис. 9)

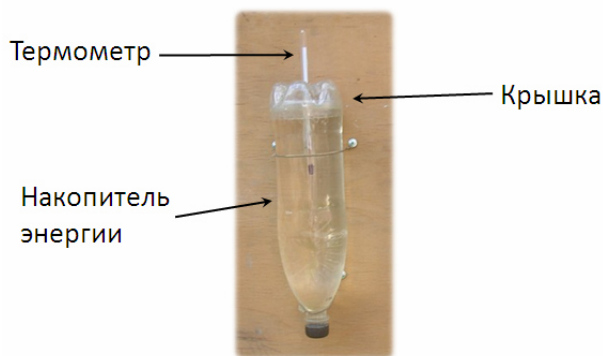


Рис. 9 Установка для исследования

### 2.2.2 Экспериментальная часть

Выяснение влияния отражённой радиации на аккумуляцию солнечной энергии

Перед проведением данного исследования была выдвинута гипотеза о том, что цвет поверхности должен существенно влиять на аккумуляцию теплоприёмником солнечной энергии. Основанием для данной гипотезы служили многочисленные опытные факты по нагреванию тел разного цвета солнечным излучением (в тёмной одежде более жарко летом, под веточками, угольками и другими тёмными предметами под весенним солнцем образуются проталины и т.д.). Такой же результат предсказывала и теория, согласно которой альbedo - отношение количества солнечной радиации, отраженной данной поверхностью, к приходящей суммарной радиации для поверхностей различных тел может очень существенно отличаться [8] (рис. 10)

Поверхность	Альbedo
Свежий сухой снег	0,8 – 0,95
Чистый влажный снег	0,6 – 0,7
Загрязненный снег	0,4 – 0,5
Морской лед	0,3 – 0,4
Светлые песчаные почвы	0,25 – 0,45
Глинистые или серые почвы	0,2 – 0,25
Влажные серые почвы	0,1 – 0,2
Темные почвы	0,05 – 0,15

Рис. 10 Альbedo различных поверхностей

Для проведения эксперимента была собрана установка из двух теплоприёмников, один из которых был покрашен чёрной краской (рис. 11)



Рис. 11 Установка для исследования влияния отражённой радиации на аккумуляцию солнечной энергии

Результаты проведённого исследования отражены на графике (рис.12)

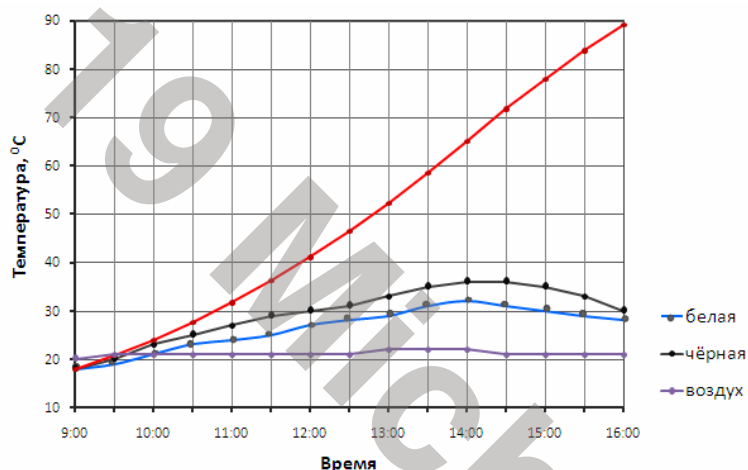


Рис. 12 График зависимости температуры белого и чёрного теплоприёмников от времени

По результатам проведённого эксперимента можно сделать вывод о влиянии отражённой радиации на аккумуляцию солнечной энергии, однако влияние это не очень сильное – наибольшая разница между теплоприёмниками составляла  $5^{\circ}\text{C}$ .

Выяснение влияния адвекции и конвекции аккумуляцию солнечной энергии

Для выяснения влияния конвекционных и адвекционных потоков на аккумуляцию солнечной энергии была собрана установка из двух теплоприёмников, один из которых был размещён внутри прозрачного кожуха, предотвращающего адвекционные потоки и снижающего конвекционные (рис. 13)

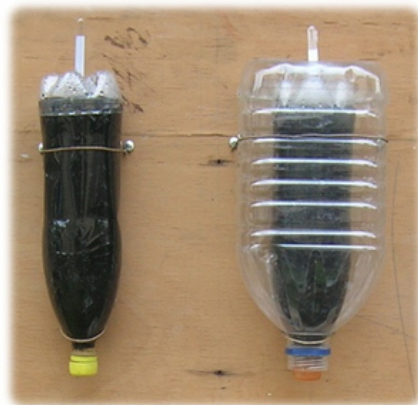


Рис. 13 Установка для исследования влияния адвекции и конвекции на аккумуляцию солнечной энергии

Результаты проведенного исследования приведены на графике (рис. 14). Из полученных результатов можно сделать вывод о существенном влиянии адвекционных потоков на теплотери аккумулируемой энергии. Разность температур между открытым теплоприёмником и теплоприёмником, помещённым в кожух, составляла в последние два часа эксперимента 12-13 °С.

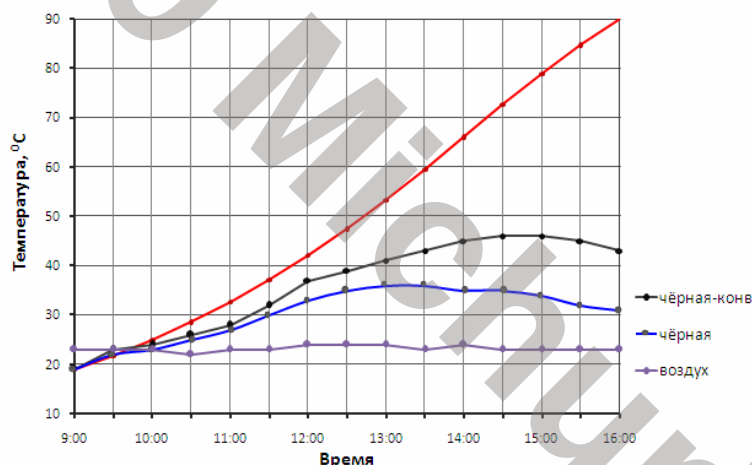


Рис. 14 Графики нагревания открытого и закрытого кожухом теплоприёмников

Следовательно, адвекционные потоки имеют очень сильное влияние на теплотери аккумулируемой энергии.

В проведенном эксперименте конвекционные потоки полностью исключить не удалось, так как нагреваемый от теплоприёмника воздух осуществлял конвекционное движение в пространстве между теплоприёмником и кожухом (рис.15)

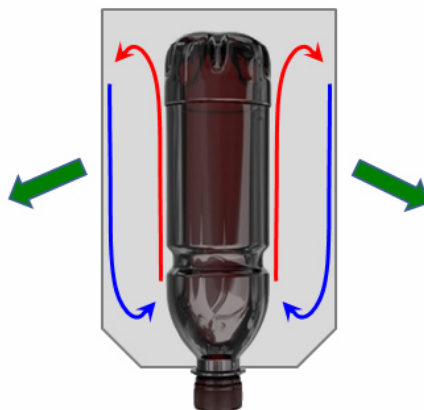


Рис. 15 Теплотери за счёт конвекционных потоков между кожухом и теплоприёмником

Для полного исключения конвекционных потоков пространство между теплоприёмником и кожухом было заполнено веществом с малой теплопроводностью (опилками). Установка для исследования включала пять накопителей энергии: прозрачный теплоприёмник, чёрный теплоприёмник, прозрачный теплоприёмник с кожухом, чёрный теплоприёмник с кожухом и теплоприёмник с кожухом, заполненный веществом с малой теплопроводностью (рис.16)



Рис. 16 Установка для исследования влияния конвекционных потоков на теплотери теплоприёмника

Исследование по выяснению влияния конвекционных теплотерь проводилось после того как теплоприёмники переставали получать солнечную энергию (после 17ч). Все теплоприёмники наполнялись водой одинаковой температуры ( $54^{\circ}\text{C}$ ) и проводились наблюдения за теплотерями теплоприёмников. Результаты эксперимента отражены на графиках (рис. 17). По результатам видно, что наибольшие потери энергии произошли в открытых теплоприёмниках (снижение температуры на  $30^{\circ}\text{C}$  и  $29^{\circ}\text{C}$  в чёрном и прозрачном теплоприёмнике соответственно). Практически одинаковые потери энергии у обоих теплоприёмников в кожухах (снижение температуры на  $19^{\circ}\text{C}$ ). И лучший результат показал

теплоприёмник заполненный веществом с малой теплопроводностью (температура в нём понизилась на 15 °С за 6 часов наблюдения).

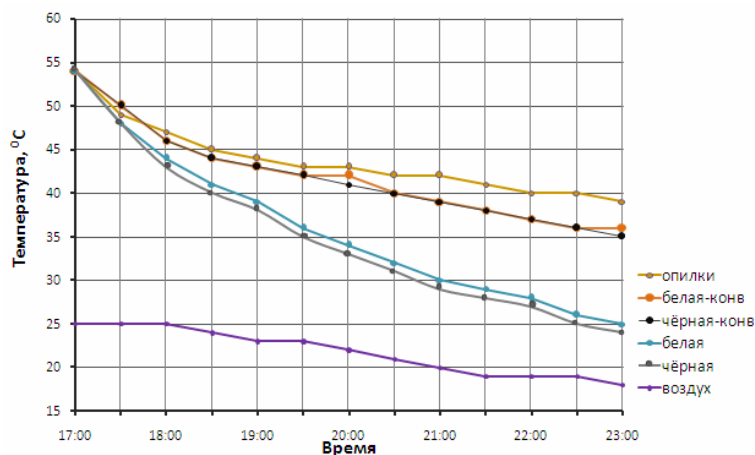


Рис. 17 Графики зависимости теплотерь от наличия конвекционных и адвекционных потоков

Анализируя результаты можно сделать вывод, что основные теплотери происходят за счёт конвекции и адвекции. Цвет теплоприёмника слабо влияет на его теплотери.

Установка для накопления энергии с отдельным теплоприёмником и накопителем энергии

Поскольку наилучший результат по сохранению энергии был получен на установке с теплоприёмником заполненным веществом с малой теплопроводностью, то было решено собрать комбинированную установку, где в качестве теплоприёмника использовалась чёрная бутылка в кожухе, а накопитель энергии был изготовлен из бутылки окружённой опилками (рис. 18).



Рис. 18 Установка для накапливания энергии с отдельным теплоприёмником и накопителем

Сравнение эффективности работы данной установки проводилось с чёрным теплоприёмником в кожухе как наиболее эффективным из всех, с которыми проводились эксперименты.

## Сравнение эффективности установок с прямым нагревом и с отдельным накопителем энергии.

Эксперимент проводился с 9.00 до 22.00ч. В ходе эксперимента была установлена немного более низкая степень нагрева воды в установке с отдельным теплоприёмником (различия составляли 1-2 °С для временного интервала от 9 до 16 часов, когда теплоприёмники получали энергию излучения). После прекращения действия солнечного излучения происходило понижение температуры воды в теплоприёмниках. Причём в установке с отдельным накопителем энергии температура опускалась быстрее. К окончанию эксперимента разница в температурах составляла 8 °С! (рис. 19)

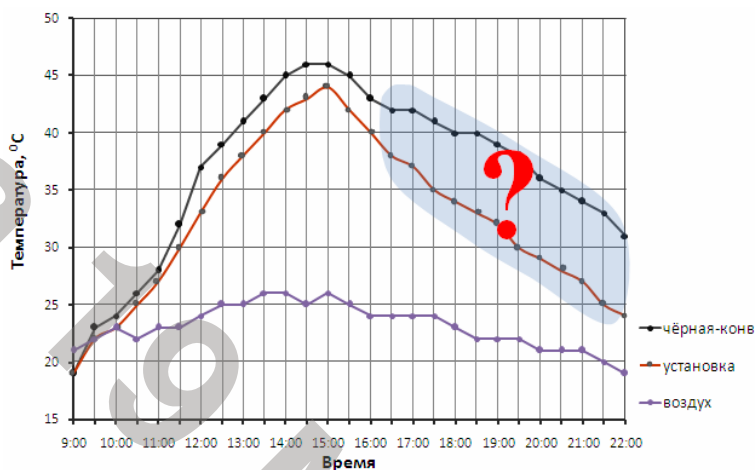


Рис.19 Сравнительные результаты аккумуляции энергии установками с прямым нагревом и с отдельным накопителем энергии

Для объяснения неожиданного результата была выдвинута гипотеза о появлении конвекционных потоков в контуре установки с накопителем энергии, в связи с остыванием воды в шланге (рис. 20).

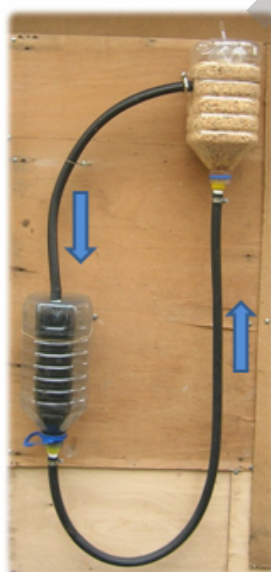


Рис. 20 Предполагаемое конвективное движение воды, способствующее быстрой потере энергии

Проверка данной гипотезы потребовала внесения усовершенствования в установку с отдельным накопителем. В контур был включён кран для предотвращения конвекционного движения воды после прекращения действия солнечного излучения (рис 21).

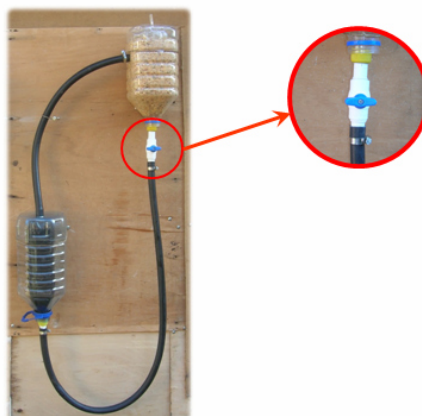


Рис. 21 Усовершенствованная установка с отдельным накопителем энергии

Результаты проведения эксперимента с модернизированной установкой показаны на следующих графиках (рис. 22)

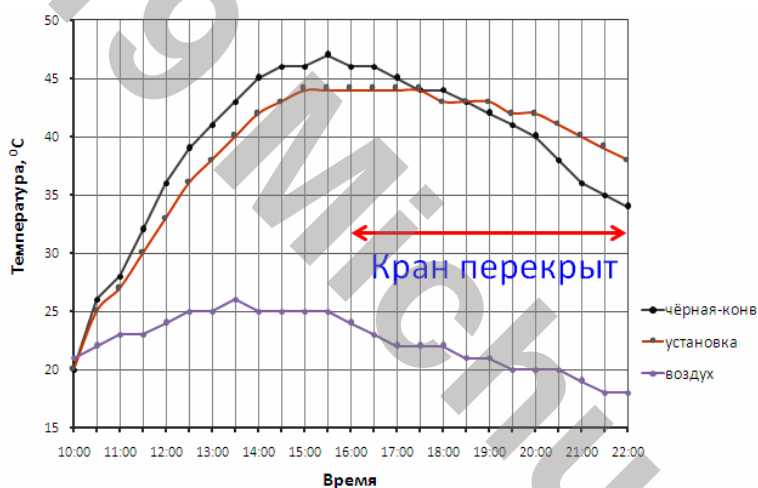


Рис. 22 Графики нагревания закрытого теплоприёмника и модернизированного теплоприёмника с краном

По результатам проведённого эксперимента можно сделать вывод о справедливости гипотезы о причинах быстрых тепловпотерь из-за конвекционного движения воды. Перекрытие крана после прекращения действия солнечного излучения исключило конвекционные потоки и температура воды в накопителе энергии оказалась на  $4^{\circ}\text{C}$  выше температуры воды в теплоприёмнике с конвекционными потерями ко времени окончания эксперимента (22ч).



### 3. Заключение

#### Выводы по исследованию

Проведённые исследования и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Наибольший эффект для поглощения солнечной энергии имеет цвет поверхности
- 2) Наибольшие теплопотери определяются конвекционными и адвекционными

воздушными потоками

- 3) Цвет поверхности имеет незначительное влияние на теплопотери
- 4) Наиболее эффективна комбинированная установка с теплоприёмником и

возможностью управления конвекционными потоками

Таким образом, цель работы достигнута. Выдвинутая гипотеза получила подтверждение – различные виды теплопередачи по-разному влияют на эффективность накапливания солнечной энергии.

#### Перспективы исследования

В проведённом исследовании есть ещё один важный результат – изготовлена действующая модель установки для накапливания солнечной энергии. С учётом того, что материальные затраты на создание установки составляют всего несколько десятков рублей, есть идея продолжить исследования в направлении создания простой недорогой конструкции действующей установки для аккумуляирования солнечной энергии, которую можно будет реализовать на дачном участке или в загородном доме.

### 4. Источники информации

1. Байков Н., Безмельницова Г., Гринкевич Р. Перспективы развития мировой энергетики до 2030 г. // Мировая экономика и международные отношения. – 2007. – № 5. – С. 19-25.
2. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Топливо: Справочное издание: В 3-х книгах. Книга 1 / Под ред. В. Г. Лисиенко. — М: Теплотехник, 2003
3. Медведева Е.А., Никитин В.М. Энергопотребление и уровень жизни. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991
4. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная, М., 1972
5. Городов Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: уч. пос / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – 1-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 294 с.
6. Методика учета влияния облачности на поток солнечной радиации по данным архивов метеостанций
7. <http://автоматикаидом.рф/wp-content/uploads/2018/10/img17.jpg>
8. О.В. Вшивкова Физика Земли и атмосферы. Влияние атмосферы на результаты геодезических измерений: Учебное пособие. — М.: МИИГАиК, 2017.— 88