

### Введение

Тепловой насос, схема которого представлена на рисунке 1, извлекает энергию из теплового резервуара с температурой  $T_1$  при испарении охлаждающей жидкости и передает энергию в резервуар с температурой  $T_2$  в процессе конденсации газа - теплоносителя. В результате разность температур  $\Delta T = T_2 - T_1$  между двумя резервуарами увеличивается. Эффективность теплового насоса определяется следующим отношением:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}, \quad (1)$$

где  $Q_2$  – количество теплоты, переданное тепловым насосом в резервуар с температурой  $T_2$  за определенный промежуток времени и  $A$  – работа, затраченная на процесс передачи за тот же промежуток времени. Коэффициент полезного действия поршневого компрессора приметно равен 80%. Мы будем приближенно считать, что производимая компрессором работа  $A$  равна потребляемой им электрической энергии  $W$ .



Рис.1 Схема теплового насоса

Эффективность теплового насоса может достигать значений больше единицы. На первый взгляд, это противоречит первому началу термодинамики. Но это не так, достаточно понять, что речь идет об использовании электрической энергии (работы) для переноса тепловой энергии (теплоты), а не использование количества теплоты для производства работы, как в тепловых машинах. Запишем закон сохранения энергии для всего процесса (предполагается, что все величины положительные):

$$Q_2 = A + Q_1 - Q_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $Q_1$  - энергия, полученная из резервуара с температурой  $T_1$  и  $Q_{\Pi}$  - потери энергии в процессе, характеризующиеся потерей теплоты в нагреваемом резервуаре, в трубопроводе теплового насоса и компрессоре. Таким образом, эффективность теплового насоса может быть больше единицы, если тепловая энергия, взятая теплоносителем из резервуара с температурой  $T_1$  больше энергии потерь  $Q_{\Pi}$ :

$$\frac{Q_2}{A} = \frac{W + Q_1 - Q_{\Pi}}{A} = 1 + \frac{Q_1 - Q_{\Pi}}{A}, \quad (3)$$

Целью данного эксперимента является определение эффективности теплового насоса как функции разности температур между теплым и холодным резервуаром:  $\Delta T = T_2 - T_1$ . В данном эксперименте используется две емкости с водой, в качестве резервуаров 1 и 2. Холодная вода имеет температуру  $T_1$ , а теплая вода - температуру  $T_2$ . Эффективность нагрева тепловым насосом можно записать как:

$$\frac{Q_2}{\Delta t} = \frac{\Delta T_2}{\Delta t} \cdot c \cdot m, \quad (4)$$

где  $\Delta T_2 = T_2 - T_0$ ,  $T_0$  - начальная температура воды в обеих емкостях,  $\Delta t$  - промежуток времени, соответствующий изменению температуры  $\Delta T_2$ ,  $m$  - масса воды и  $c$  - удельная теплоемкость воды.

С учетом выражения (4), эффективность теплового насоса определяется соотношением:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{W} = \frac{\Delta T_2 \cdot c \cdot m}{P \cdot \Delta t}. \quad (5)$$

Энергия  $Q_2$  рассчитывается по изменению температуры  $\Delta T_2$  за промежуток времени  $\Delta t$ .

Затрачиваемая компрессором мощность  $P = \frac{W}{\Delta t}$  измеряется ваттметром.

### ***Цель работы***

Определение эффективности теплового насоса в зависимости от разности температур тепловых резервуаров.

### ***Решаемые задачи***

- ✓ Понять принципы работы теплового насоса
- ✓ Определить эффективность теплового насоса

### ***Экспериментальная установка***

#### **Приборы и принадлежности**

- ✓ тепловой насос
- ✓ ваттметр
- ✓ цифровой вольтметр
- ✓ два датчика температуры (термопары)
- ✓ секундомер

## тепловой насос

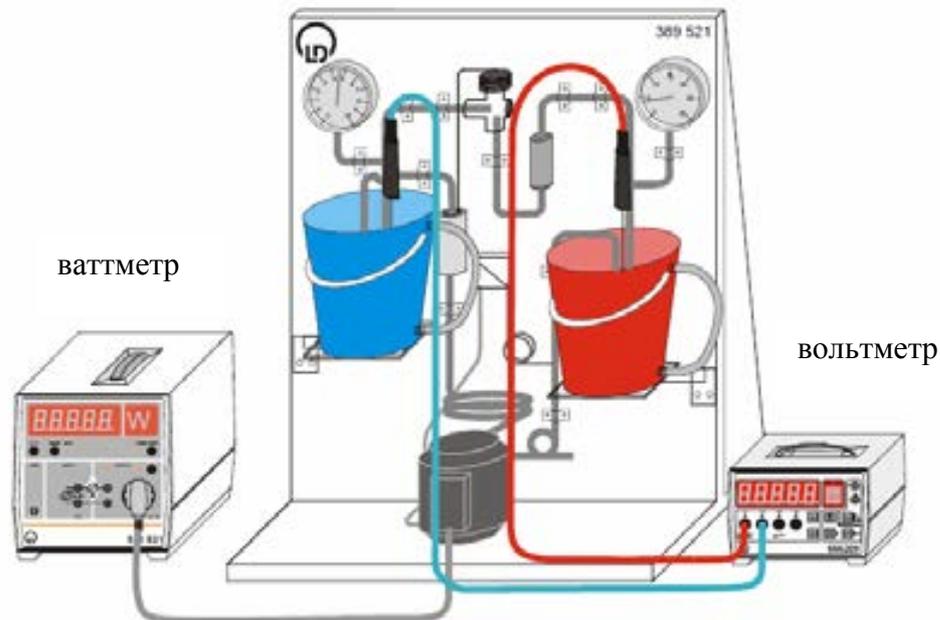


Рис.2 Схема экспериментальной установки

### Порядок выполнения работы

#### Подготовка установки к работе

1. Налить по 4 литра воды в ведра. Аккуратно установить ведра на подставки.
2. Зафиксировать термометры в держателях (поместить в соответствующие пазы), расположенных на медных трубках конденсора и испарителя.
3. Запустить на ноутбуке выполнение программы CASSY Lab 2. Загрузить настройки для работы: File-Open:D:\эксперименты\2631\_131118dir.
4. Включить ваттметр и вольтметр (тумблеры расположены на задней панели приборов).

#### Проведение измерений

5. Включить компрессор, поставив галочки в пунктах настроек (Window-Show Settings): Settings – CASSYs and other devices – Joule and Watt Meter – Active power  $P$  и Voltage  $U$  (115/220V).
6. Через 3 минуты запустить измерение температуры (клавиша F9).
7. В течение эксперимента необходимо медленно помешивать воду в резервуарах с холодной и теплой водой.

8. Пронаблюдать изменение температуры  $T_1$  и  $T_2$  от времени во вкладке **Standart**.
9. Во вкладке **Efficiency** представлена таблица и график зависимости эффективности теплового насоса  $\varepsilon$  от разности температур  $\Delta T = T_2 - T_1$  в резервуарах.
10. Через 15 минут (900 секунд) измерение температуры автоматически остановится.
11. Отключить компрессор, поставив галочку в пункте настроек (**Window-Show Settings**): **Settings – CASSYs and other devices – Joule and Watt Meter – Voltage  $U$** .
12. В случае последующей обработки данных на компьютере выделить и Сохранить результаты экспериментов нажатием F2: **D:Students\Номер группы\Фамилия**.

---

#### *Обработка и представление результатов*

13. Представить графики зависимости температуры  $T_1$  и  $T_2$  от времени и эффективности теплового насоса  $\varepsilon$  от разности температур  $\Delta T = T_2 - T_1$  в отчете к работе. В случае ручной обработки графиков ограничится тридцатью экспериментальными точками, сохранив при этом весь диапазон значений измеренных величин.
14. Проанализировать зависимость эффективности теплового насоса  $\varepsilon$  от разности температур  $\Delta T$ .

---

#### *Список дополнительной литературы*

Гелясин А.Е. Тепловой насос — холодильник наоборот // Фізика: проблеми викладання. – 2009. – № 2. – С. 44-50.  
<http://www.alsak.ru/item/335-7.html>

---

#### *Вопросы для подготовки*

1. Процессы в идеальных газах (изобарный, изохорный, изотермический, адиабатический) и уравнения, их описывающие.
2. Работа. Количество теплоты. Первое начало термодинамики
3. Циклическая тепловая машина. Обратная тепловая машина.
4. Постулаты второго начала термодинамики.
5. Цикл Карно. Первая теорема Карно.
6. Устройство и принцип работы теплового насоса. Рабочий цикл теплового насоса.

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**  
*Кафедра общей физики*

**Р.М. Еремина, В.В. Налетов, А.И. Скворцов, И.В. Яцык,  
Д.С. Блохин, К.С. Усачев**

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ  
ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ**

**Методические указания по выполнению  
лабораторных работ  
общего физического практикума  
по молекулярной физике и термодинамике**

**Казань – 2014**

**УДК 530.10**  
**ББК 22.36**  
**Э 41**

*Принято на заседании кафедры общей физики  
Протокол № 7 от 24 февраля 2014 года*

**Рецензент:**

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры промышленной электроники КГЭУ В.А. Уланов

**Еремина Р.М., Налетов В.В., Скворцов А.И., Яцык И.В.,  
Блохин Д.С., Усачев К.С.**

**Фазовые переходы. Второе начало термодинамики/**  
сост. Р.М. Ерёмина, В.В. Налетов, А.И. Скворцов и др.-Казань:  
Казан. ун-т, 2014.-57с.

Методическое пособие «Фазовые переходы. Второе начало термодинамики» предназначены для студентов естественно - научных специальностей университетов. Приводятся описания лабораторных работ физического практикума общего курса физики, раздел «Молекулярная физика и термодинамика», по теме «Основания молекулярно-кинетической теории. Законы идеального газа». В каждой работе даны подробные описания установок, ход выполнения работ и список вопросов для самостоятельной подготовки.

© Еремина Р.М. и др, 2014  
© Казанский университет, 2014