

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

И.В. Дворовенко

И.И. Дворовенко

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЦИКЛА СТИРЛИНГА НА ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД ЦИКЛА

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Теплотехника»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики;
Богомолов А.Р. – д.т.н., председатель учебно-методической комиссии направления подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Дворовенко Игорь Викторович

Дворовенко Инна Ивановна

Влияние характеристик теоретического цикла Стирлинга на термический КПД цикла [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения / И.В. Дворовенко, И.И. Дворовенко; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания к выполнению лабораторной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника» и предназначены для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

© КузГТУ, 2016

©Дворовенко И.В.,

Дворовенко И.И., 2016

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является изучение цикла теплового двигателя с внешним подводом теплоты – цикла Стирлинга.

В ходе работы студенты задают значения характеристик цикла, начальные температуру и давление. Задачей исследования является изучение влияния характеристик цикла Стирлинга на термический КПД цикла.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цикл Стирлинга является прямым термодинамическим циклом, в котором полезная работа совершается за счет расширения газа, а подвод теплоты осуществляется через стенку от внешнего источника. Двигатели Стирлинга относятся к двигателям с внешним сгоранием топлива. В качестве источника теплоты может использоваться теплота дымовых газов, солнечная или ядерная энергия.

Термодинамика изучает обратимые циклы, в которых в качестве рабочего тела принимают идеальный газ с постоянной теплоемкостью. В качестве рабочего тела в цикле Стирлинга может использоваться любой газ.

Процессы подвода и отвода теплоты (расширение и сжатие газа) осуществляют в изотермическом процессе, в изохорных процессах осуществляется передача тепла в регенераторе. Таким образом, цикл Стирлинга (рис.1) состоит из двух изотермических и двух изохорных процессов и, по сути, является обобщенным регенеративным циклом Карно. Теплота, отводимая от рабочего тела в процессе 4-1 передается через регенератор к рабочему телу цикла в процессе 2-3.

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1},$$

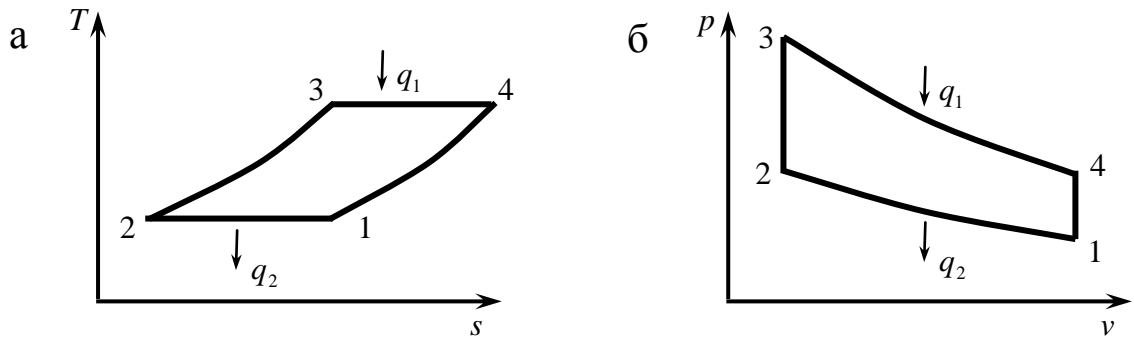


Рис. 1. Термодинамический цикл Стирлинга:
а – в Ts -координатах, б – в $p\nu$ -координатах

– степень повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_3}{T_1},$$

где ν_1, ν_2 – удельный объем газа в начале и конце процесса изотермического сжатия (рис. 1, б), м³/кг; p_1, p_2 – абсолютное давление газа в начале и конце процесса изотермического сжатия, бар; p_3 – абсолютное давление газа в конце изохорного процесса регенеративного подвода тепла, бар; T_1, T_2, T_3 – абсолютная температура газа в начале и конце изотермического сжатия, конце изохорного процесса регенеративного подвода тепла, К.

Термический КПД любого цикла определяют по уравнению:

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

где q_1 – количество теплоты, подведенной в цикле к рабочему телу, кДж/кг; q_2 – количество отведенной от рабочего тела теплоты, кДж/кг.

В изотермическом процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

$$q_1 = RT_3 \ln \frac{\nu_4}{\nu_3} = R\lambda T_1 \ln \frac{\nu_1}{\nu_2} = R\lambda T_1 \ln \varepsilon,$$

в изотермическом процессе от рабочего тела будет отведена теплота:

$$q_2 = RT_1 \ln \frac{\nu_1}{\nu_2} = RT_1 \ln \varepsilon,$$

где R – удельная газовая постоянная рабочего тела цикла,

Дж/(кг×К); v_3, v_4 – удельный объем газа в начале и конце процесса изотермического подвода теплоты, м³/кг.

Термический КПД цикла равен

$$\eta_T = 1 - \frac{R\lambda T_1 \ln \varepsilon}{RT_1 \ln \varepsilon} = 1 - \lambda = 1 - \frac{T_3}{T_1},$$

таким образом, термический КПД теоретического цикла Стирлинга равен КПД цикла Карно в том же интервале температур.

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

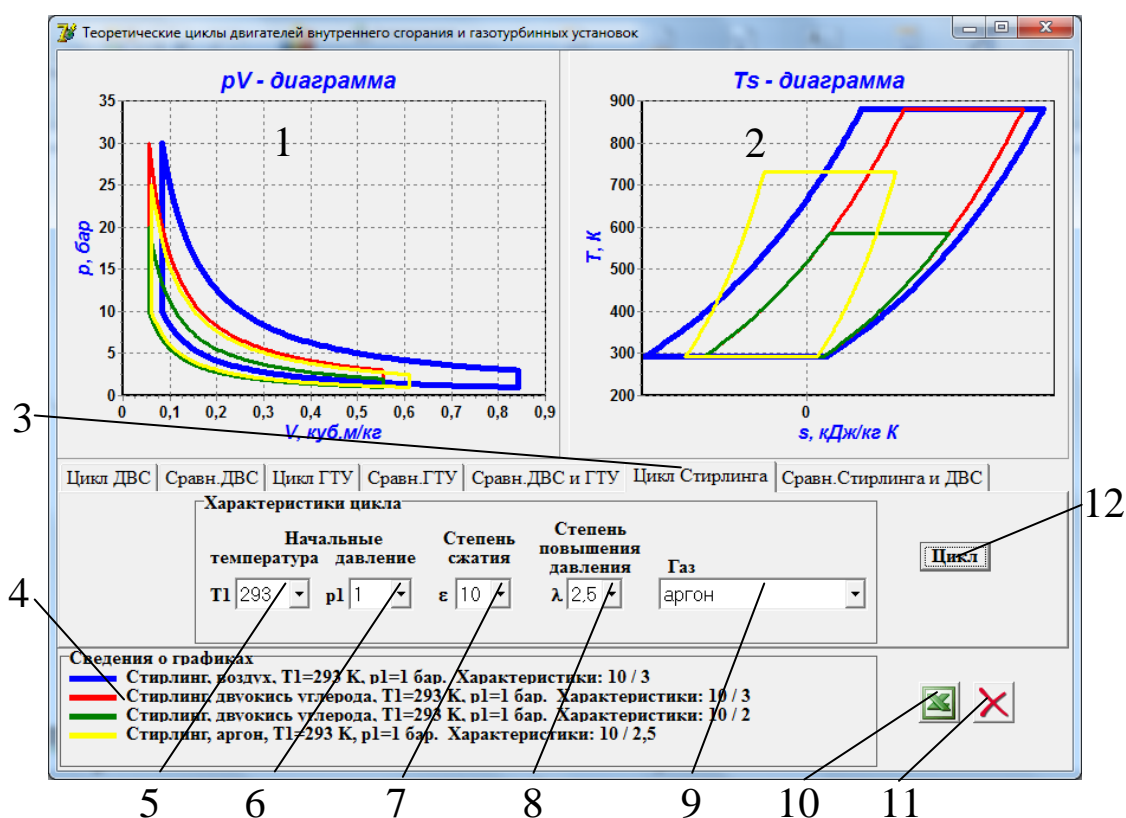


Рис. 2. Интерфейс программы:

1 – pV-диаграмма цикла, 2 – Ts-диаграмма цикла,
 3 – страница лабораторной работы, 4 – окно вывода сведений о циклах, 5 – список начальных температур, 6 – список начальных давлений, 7 – список степеней сжатия, 8 – список степеней повышения давления, 9 – список рабочих веществ, 10 – кнопка вывода данных о цикле в таблицу Excel, 11 – кнопка очистки окон диаграмм и сведений о графиках, 12 – кнопка расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Основными элементами установки (рис. 2) являются: pV -диаграмма 1, Ts -диаграмма 2, начальных температур 5, начальных давлений 6, степеней сжатия 7, степеней повышения давления 8, степеней предварительного расширения 9, кнопки расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла 12, вывода данных о цикле в таблицу Excel 10, очистки окон диаграмм и сведений о графиках 11.

При помощи списков 5 и 6 устанавливаются начальные температура и давление. В зависимости от задачи исследования устанавливаются значения степеней сжатия и повышения давления при помощи списков 7 и 8. В списке 9 выбирают рабочее вещество цикла. Для расчета цикла и вывода диаграмм цикла используют кнопку 12. При помощи кнопки 10 можно вывести сведения о последнем рассчитанном цикле в таблицу Excel. Для удаления графиков циклов нужно нажать кнопку 11.

В окнах диаграмм 1 и 2 выводится одновременно не более 5

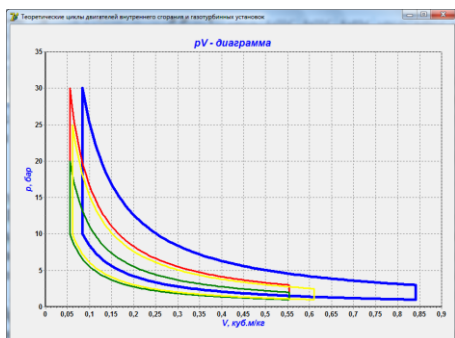


Рис. 3. Вывод диаграммы в размер окна программы

графиков, если выводится еще один график, то последний из выведенных будет заменен.

Для более подробного ознакомления с диаграммами циклов их размер можно увеличить до размера окна программы (рис. 3), щелкнув мышкой в окне диаграммы. Для восстановления размеров окна диаграммы нужно еще раз щелкнуть по диаграмме.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы студент должен знать теоретические положения исследуемого цикла, изучить устройство лабораторной установки, уметь задавать значения различных параметров и характеристик цикла.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Преподаватель ставит задачу исследования: указывает цикл и характеристики цикла, влияние которых нужно изучить.
2. Запускают приложение «Теоретические циклы двигателей

внутреннего сгорания и газотурбинных установок» и выбирают страницу «Цикл Стирлинга».

3. Задают начальные параметры цикла: температуру и давление.

4. Устанавливают величину характеристики цикла, значения которой не будут меняться в ходе работы.

5. Задают значение характеристики, влияние которой на термический КПД цикла изучается.

6. Нажимают кнопку «Цикл» (12 на рис. 2).

7. Переносят сведения о цикле в таблицу Excel кнопкой 10.

8. Пункты 5–7 повторяют до выполнения задачи исследования.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Рассчитывают подводимую и отводимую теплоту.

2. Определяют термический КПД цикла.

3. Строят график зависимости термического КПД цикла от характеристики цикла.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляют на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

а) титульный лист установленной формы;

б) краткое изложение теоретических положений;

в) принципиальную схему установки;

г) таблицы «Журнал наблюдений и результаты расчетов»;

д) графики зависимостей;

е) анализ результатов работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель работы.
2. Принципы работы двигателя Стирлинга.
3. Достоинства и недостатки двигателей Стирлинга.
4. Области применения.
5. Основные характеристики термодинамического цикла Стирлинга.
6. Как определить максимальные значения температуры и давления в цикле?
7. Как влияют характеристики цикла на максимальную температуру в цикле?
8. Рассчитайте приближенно количество подведенной теплоты по диаграмме цикла, количество отведенной теплоты, полезную работу.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1979. – 512 с.
2. Техническая термодинамика: учеб. для студентов вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; под ред. В.И. Крутова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
3. Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Энергообеспечение предприятий". – М.: Абрис, 2012. – 318 с. Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117652/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

№ п/п	Степень сжатия ε	Параметры в характерных точках цикла							Подведенная теплота q_1 , кДж/кг	Отведенная теплота q_2 , кДж/кг	Термический КПД цикла η_T , %			
	Степень повышения давления λ	T_1 , К	p_1 , бар	v_1 , м ³ /кг	T_2 , К	p_2 , бар	v_2 , м ³ /кг	:	T_4 , К	p_4 , бар	v_4 , м ³ /кг			