

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

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ
ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

**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

Сравнение эффективности различных теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания [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 сравнительное исследование эффективности циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с различными способами подвода теплоты.

В ходе работы студенты выбирают исследуемые циклы, задают значения характеристик одного из них, начальные температуру и давление. Задачей исследования является сравнение эффективности различных циклов ДВС при одинаковой максимальной температуре или при одинаковых максимальной температуре и давлении, или при одинаковой подводимой теплоте, или при одинаковой отводимой теплоте.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Циклы ДВС подразделяют на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении или цикл Дизеля, при постоянном объеме или цикл Отто, с комбинированным подводом теплоты (вначале при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении) или цикл Тринклера. Отвод теплоты в ДВС осуществляется по изохоре, сжатие и расширение газа – по адиабате. Диаграммы циклов в $p\nu$ - и Ts -координатах представлены на рис. 1 и 2.

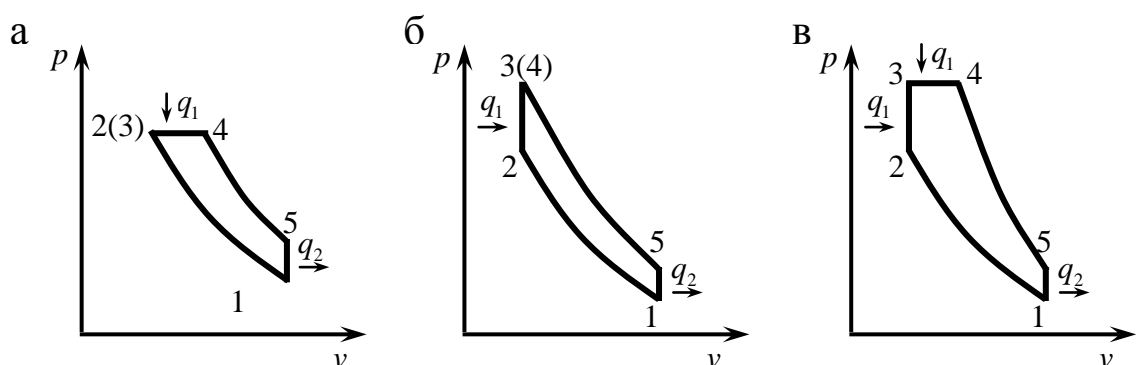


Рис. 1. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания в $p\nu$ -координатах: а – цикл Дизеля, б – цикл Отто, в – цикл Тринклера

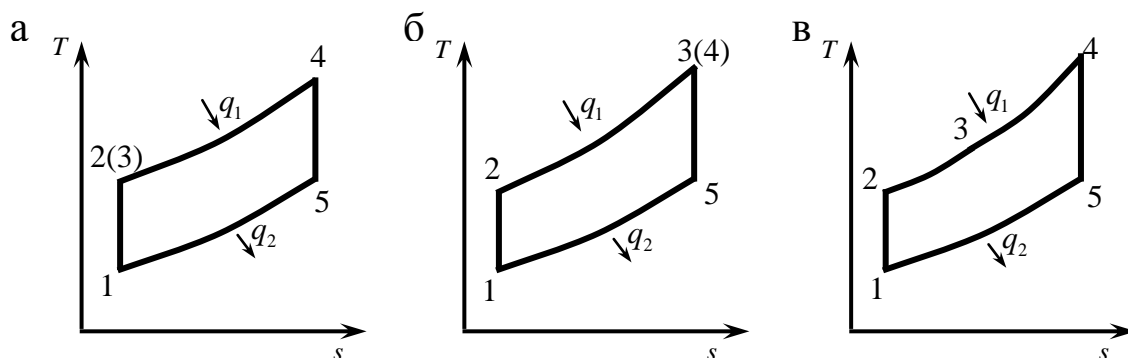


Рис. 2. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания в Ts -координатах: а – цикл Дизеля, б – цикл Отто, в – цикл Тринклера

В работе рассматриваются обратимые циклы, в которых в качестве рабочего тела используется идеальный газ с постоянной теплоемкостью, имеющий свойства воздуха. Изобарная теплоемкость в циклах равна $1000 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, показатель адиабаты – $1,4$.

Основными характеристиками циклов ДВС являются:

– степень сжатия

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

– степень повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2},$$

– степень предварительного расширения или степень изобарного расширения

$$\rho = \frac{v_4}{v_3},$$

где v_1, v_2, v_3, v_4 – удельный объем газа в характерных точках цикла (рис. 1, в), $\text{м}^3/\text{кг}$; p_2, p_3 – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

В цикле с подводом теплоты при постоянном давлении степень повышения давления $\lambda = 1$, в цикле с подводом теплоты при постоянном объеме степень предварительного расширения $\rho = 1$, поэтому на диаграммах точки 2 и 3 в цикле Дизеля и 3 и 4 в цикле Отто совпадают.

Эффективность циклов ДВС определяется значением термиче-

ских КПД. Более эффективным считается цикл, термический КПД которого больше при заданных условиях.

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.

Максимальная температура в цикле Тринклера определяется по уравнению

$$T_{\max} = \rho \lambda \varepsilon^{k-1} T_1,$$

в цикле Дизеля:

$$T_{\max} = \rho \varepsilon^{k-1} T_1,$$

в цикле Отто:

$$T_{\max} = \lambda \varepsilon^{k-1} T_1.$$

Максимальное давление в цикле Тринклера определяется по уравнению

$$p_{\max} = \lambda \varepsilon^k p_1,$$

в цикле Дизеля:

$$p_{\max} = \varepsilon^k p_1,$$

в цикле Отто:

$$p_{\max} = \lambda \varepsilon^k p_1.$$

В изохорном процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\lambda - 1),$$

в изобарном процессе:

$$q_1 = c_p (T_4 - T_3) = k c_v \lambda \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1),$$

в изохорном процессе будет отведена теплота:

$$q_2 = c_v (T_5 - T_1) = c_v T_1 (\rho^k \lambda - 1),$$

где T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 – температуры в характерных точках цикла (рис. 2, в), К; p_1 – начальное абсолютное давление, бар; c_v, c_p – изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг×К); k – показатель адиабаты.

В цикле с комбинированным подводом теплоты:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3) = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\lambda - 1) + k c_v \lambda \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1),$$

$$q_1 = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 [(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)],$$

$$q_2 = c_v T_1 (\rho^k \lambda - 1);$$

в цикле Дизеля:

$$q_1 = k c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1),$$

$$q_2 = c_v T_1 (\rho^k - 1);$$

в цикле Отто:

$$q_1 = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\lambda - 1),$$

$$q_2 = c_v T_1 (\lambda - 1).$$

Термический КПД цикла Тринклера равен

$$\eta_T = 1 - \frac{\rho^k \lambda - 1}{\varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)]},$$

термический КПД цикла Дизеля:

$$\eta_T = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k (\rho - 1)},$$

термический КПД цикла Отто:

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Основными элементами установки (рис. 3) являются: $p\nu$ - 1 и Ts -диаграммы 2, списки циклов 4, начальных температур 6, начальных давлений 7, степеней сжатия 8, степеней повышения давления 9, степеней предварительного расширения 10, отношений степеней сжатия в цикле Дизеля и цикле Отто 13, кнопки расчета циклов для различных методов сравнения: при одинаковой максимальной температуре 15, при одинаковых максимальных температуре и давлении 14, при одинаковой подведенной теплоте 17, при одинаковой отведенной теплоте 16, вывода данных о цикле в таблицу Excel 11, очистки окон диаграмм и сведений о графиках 12.

В окне 18 задаются значения характеристик цикла, указанного слева в списке циклов 4, характеристики второго цикла вычисляются программой.

При помощи списка 4 задают исследуемый цикл, в списках 6 и

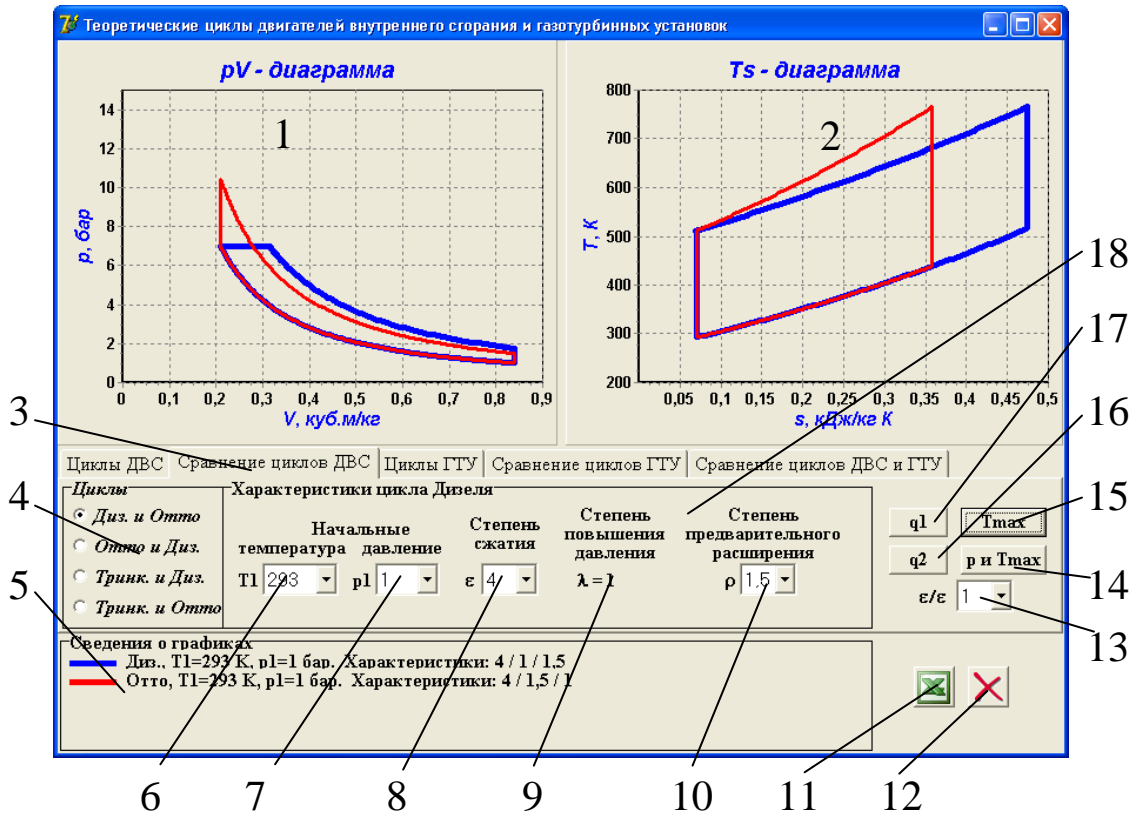


Рис. 3. Интерфейс программы:

1 – pV -диаграмма цикла, 2 – Ts -диаграмма цикла,
 3 – страница лабораторной работы, 4 – список циклов, 5 – окно вы-
 вода сведений о циклах, 6 – список начальных температур,
 7 – список начальных давлений, 8 – список степеней сжатия,
 9 – список степеней повышения давления, 10 – список степеней
 предварительного расширения, 11 – кнопка вывода данных о цикле в
 таблицу Excel, 12 – кнопка очистки окон диаграмм и сведений о гра-
 фиках, 13 – список отношений степеней сжатия в цикле Дизеля и
 цикле Отто, 14 – кнопка сравнения циклов при одинаковых макси-
 мальной температуре и давлении, 15 – кнопка максимальной темпе-
 ратуре, 16 – кнопка сравнения циклов при одинаковой подводимой
 теплоте, 17 – кнопка сравнения циклов при одинаковой отводимой
 теплоте, 18 – окно начальных параметров и характеристик цикла

7 устанавливают начальные температуру и давление. В зависимости от задачи исследования устанавливают значения степеней сжатия, повышения давления и предварительного расширения при помощи списков 8-10. Для расчета циклов и вывода диаграмм циклов, сравниваемых различными методами, используют кнопки 14-17. При

помощи кнопки 11 можно вывести сведения о последнем рассчитанном цикле в таблицу Excel. Для удаления графиков циклов нужно нажать кнопку 12.

В реальных дизельных двигателях степень сжатия больше, чем в карбюраторных, поэтому в работе предусмотрена возможность при сравнении циклов Дизеля и Отто при одинаковой максимальной температуре, подведенной или отведенной теплоте можно увеличить степень сжатия в цикле Дизеля при помощи списка отношений степеней сжатия 13.

При сравнении циклов при одинаковых максимальных температуре и давлении степень сжатия второго цикла вычисляется программой. В остальных случаях принимается, что степень сжатия в обоих исследуемых циклах одинакова.

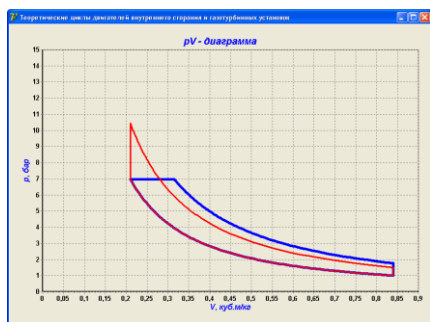


Рис. 4. Вывод диаграммы в размер окна программы

В окнах диаграмм 1 и 2 выводится одновременно два графика рассматриваемых циклов. Для более подробного ознакомления с диаграммами циклов их размер можно увеличить до размера окна программы (рис. 4), щелкнув мышкой в окне диаграммы. Для восстановления 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 «Сравнение циклов ДВС».
3. Выбирают сравниваемые циклы в списке 4 (рис. 3).

4. Задают начальные параметры циклов: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик левого цикла, значения которых не будут изменяться в ходе работы.
6. Задают значение характеристики, влияние которой при сравнении эффективности циклов изучается.
7. При необходимости задают отношение степени сжатия цикла Дизеля к степени сжатия цикла Отто.
8. Нажимают кнопку сравнения циклов (14, 15, 16 или 17) в зависимости от задачи исследования.
9. Переносят сведения о цикле в таблицу Excel кнопкой 11.
10. Пункты 6 – 9 повторяют до выполнения задачи исследования.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Рассчитывают подводимую и отводимую теплоту в каждом цикле.
2. Определяют термический КПД цикла.
3. Строят графики зависимости термических КПД циклов 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 ДВС.
3. Достоинства и недостатки ДВС.
4. Области применения.
5. Основные характеристики термодинамических циклов ДВС.
6. Как определить максимальные значения температуры и давления в цикле?
7. Выведите формулу для расчета термического КПД цикла.
8. Как влияют характеристики цикла на максимальную температуру в цикле?
9. Что такое индикаторная диаграмма?
10. 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 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

№ п/п	Цикл	Степень сжатия ε	Степень повышения давления λ	Степень предварительного расширения ρ	Параметры в характерных точках цикла															Подведенная теплота q_1 , кДж/кг	Отведенная теплота q_2 , кДж/кг	Термический КПД цикла η_T , %
					T_1 , К	p_1 , бар	v_1 , м ³ /кг	T_2 , К	p_2 , бар	v_2 , м ³ /кг	T_3 , К	p_3 , бар	v_3 , м ³ /кг	T_4 , К	p_4 , бар	v_4 , м ³ /кг	T_5 , К	p_5 , бар	v_5 , м ³ /кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23