

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 ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
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 теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания 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 циклов двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

В ходе работы студенты выбирают исследуемый цикл, задают значения характеристик цикла, начальные температуру и давление. Задачей исследования является изучение влияния характеристик циклов ДВС на термический КПД цикла.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Циклы ДВС являются прямыми термодинамическими циклами, в которых полезная работа совершается за счет расширения газа, а подвод теплоты осуществляется сгоранием топлива внутри двигателя. Данные двигатели широко используются в транспортных машинах.

Термодинамика изучает обратимые циклы, в которых в качестве рабочего тела принимают идеальный газ с постоянной теплоемкостью, имеющий свойства воздуха. Изобарная теплоемкость в циклах равна 1000 Дж/(кг×К), показатель адиабаты – 1,4.

Процесс подвода теплоты в циклах ДВС осуществляют в изобарном или изохорном процессе, отвод теплоты – в изохорном, а сжатие и расширение газа – в адиабатных. 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. Диаграммы циклов в  $p\nu$ - и  $Ts$ -координатах представлены на рис. 1 и 2.

Основными характеристиками циклов ДВС являются:

– степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{\nu_1}{\nu_2},$$

– степень повышения давления

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

– степень предварительного расширения или степень изобар-

ного 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), м<sup>3</sup>/кг;  $p_2, p_3$  – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

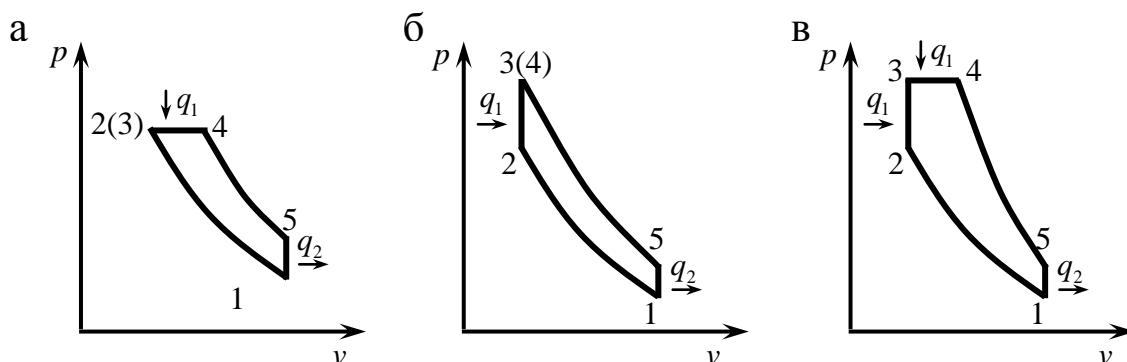


Рис. 1. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания в  $p-v$ -координатах: а – цикл Дизеля, б – цикл Отто, в – цикл Тринклера

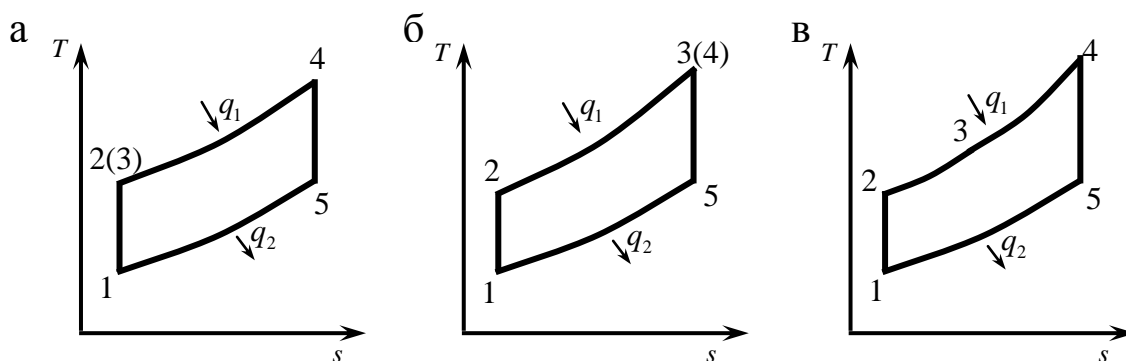


Рис. 2. Термодинамические циклы двигателей внутреннего сгорания в  $Ts$ -координатах: а – цикл Дизеля, б – цикл Отто, в – цикл Тринклера

В 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.

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 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;  $c_v, c_p$  – изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг×К);  $k$  – показатель адиабаты.

В цикле с комбинированным подводом теплоты:

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

$$q_2 = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 [(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)]$$

в цикле с подводом теплоты при постоянном давлении ( $\lambda = 1$ ):

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

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

в цикле с подводом теплоты при постоянном объеме ( $\rho = 1$ ):

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

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

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:  $pV$ -диаграмма 1,  $Ts$ -диаграмма 2, списки циклов 4, начальных температур 6, начальных давлений 7, степеней сжатия 8, степеней повышения давления 9, степеней предварительного расширения 10, кнопки расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла 13, вывода данных о цикле в таблицу Excel 11, очистки окон диаграмм и сведений о графиках 12.

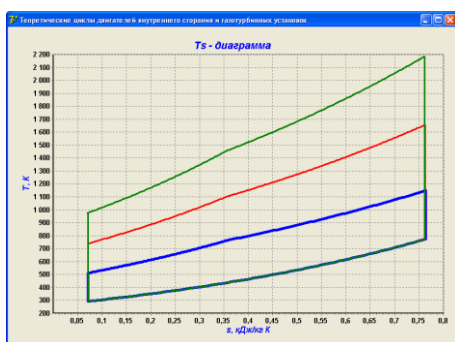


Рис. 4. Вывод диаграммы в размер окна программы

При помощи списка 4 задают исследуемый цикл, в списках 6 и 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 цикла и вывода диаграмм цикла используют кнопку 13. При помощи

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

В окнах диаграмм 1 и 2 выводится одновременно не более 5 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. 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

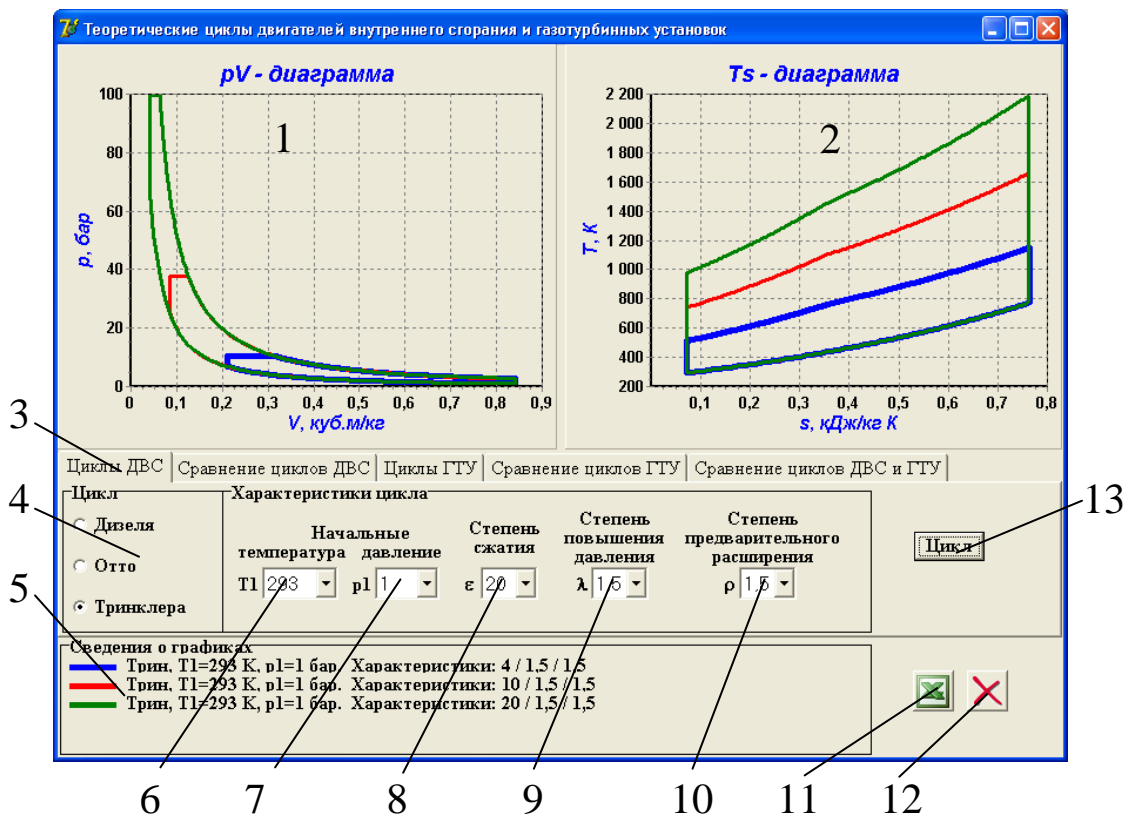


Рис. 3. Интерфейс программы:

- 1 –  $p-v$ -диаграмма цикла, 2 –  $Ts$ -диаграмма цикла,  
 3 – страница лабораторной работы, 4 – список циклов, 5 – окно вывода 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 графиках, 13 – кнопка расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла

страницу «Циклы ДВС».

3. Выбирают цикл.
4. Задают начальные параметры цикла: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик цикла, значения которых не будут в ходе работы.
6. Задают значение характеристики, влияние которой на термический КПД цикла изучается.
7. Нажимают кнопку «Цикл» (13 на рис. 3).
8. Переносят сведения о цикле в таблицу Excel кнопкой 11.
9. Пункты 6–8 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 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	Степень сжатия $\varepsilon$	Степень повышения давления $\lambda$	Степень предварительного расширения $\rho$	Параметры в характерных точках цикла															Подведенная теплота $q_1$ , кДж/кг	Отведенная теплота $q_2$ , кДж/кг	Термический КПД цикла $\eta_T$ , %
				$T_1$ , К	$p_1$ , бар	$\nu_1$ , м <sup>3</sup> /кг	$T_2$ , К	$p_2$ , бар	$\nu_2$ , м <sup>3</sup> /кг	$T_3$ , К	$p_3$ , бар	$\nu_3$ , м <sup>3</sup> /кг	$T_4$ , К	$p_4$ , бар	$\nu_4$ , м <sup>3</sup> /кг	$T_5$ , К	$p_5$ , бар	$\nu_5$ , м <sup>3</sup> /кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22