

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
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
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 газотурбинных установок 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 газотурбинных установок (ГТУ).

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

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Циклы ГТУ являются прямыми термодинамическими циклами, в которых полезная работа совершается за счет расширения продуктов сгорания в турбине. Газовые турбины широко используются в авиационных двигателях, в последнее время газовые турбины находят применение в стационарных газовых и парогазовых установках.

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

В газотурбинных установках процесс подвода теплоты осуществляют в изобарном или изохорном процессе, отвод теплоты – в изобарном, а сжатие и расширение газа – в адиабатных.

Циклы ГТУ подразделяют на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении или цикл Брайтона и при постоянном объеме. Диаграммы циклов в $p\nu$ - и Ts -координатах представлены на рис. 1 и 2.

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.

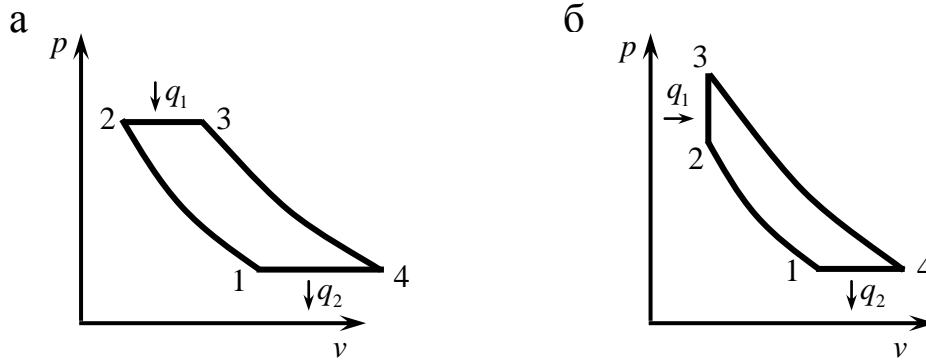


Рис. 1. Термодинамические циклы газотурбинных установок в $p\nu$ -координатах: а – цикл с подводом теплоты при $p=const$, б – цикл с подводом теплоты при $\nu=const$

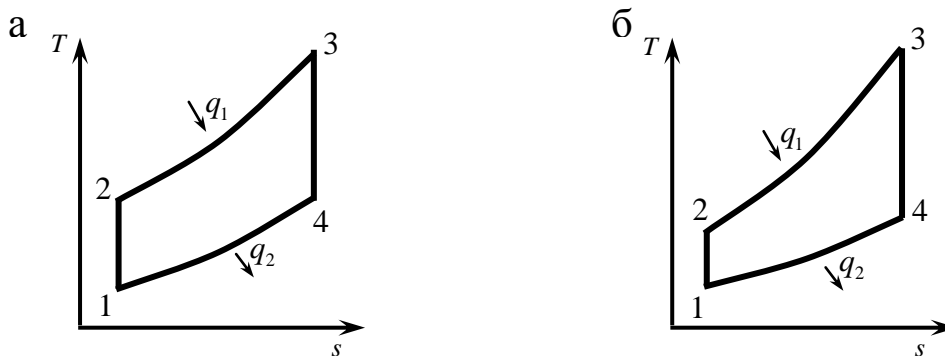


Рис. 2. Термодинамические циклы газотурбинных установок в Ts -координатах: а – цикл с подводом теплоты при $p=const$, б – цикл с подводом теплоты при $\nu=const$

2.1. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при $p=const$

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень изобарного расширения:

$$\rho = \frac{\nu_3}{\nu_2},$$

где ν_2 , ν_3 – удельный объем газа в характерных точках цикла

(рис. 1, а), м³/кг; p_1, p_2 – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

В изобарном процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = c_p \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1(\rho - 1),$$

в изобарном процессе будет отведена теплота:

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = c_p T_1(\rho - 1),$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 – температуры в характерных точках цикла (рис. 1, б), К; c_p – изобарная теплоемкость, кДж/(кг×К); k – показатель адиабаты.

Термический КПД цикла равен

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

2.2. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при $v=const$

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень добавочного повышения давления:

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

В изохорном процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

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

в изобарном процессе будет отведена теплота:

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = k c_v T_1(\lambda^{1/k} - 1),$$

где c_v – изохорная теплоемкость, кДж/(кг×К).

Термический КПД цикла равен

$$\eta_T = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{\beta^{\frac{k-1}{k}}(\lambda - 1)}.$$

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.

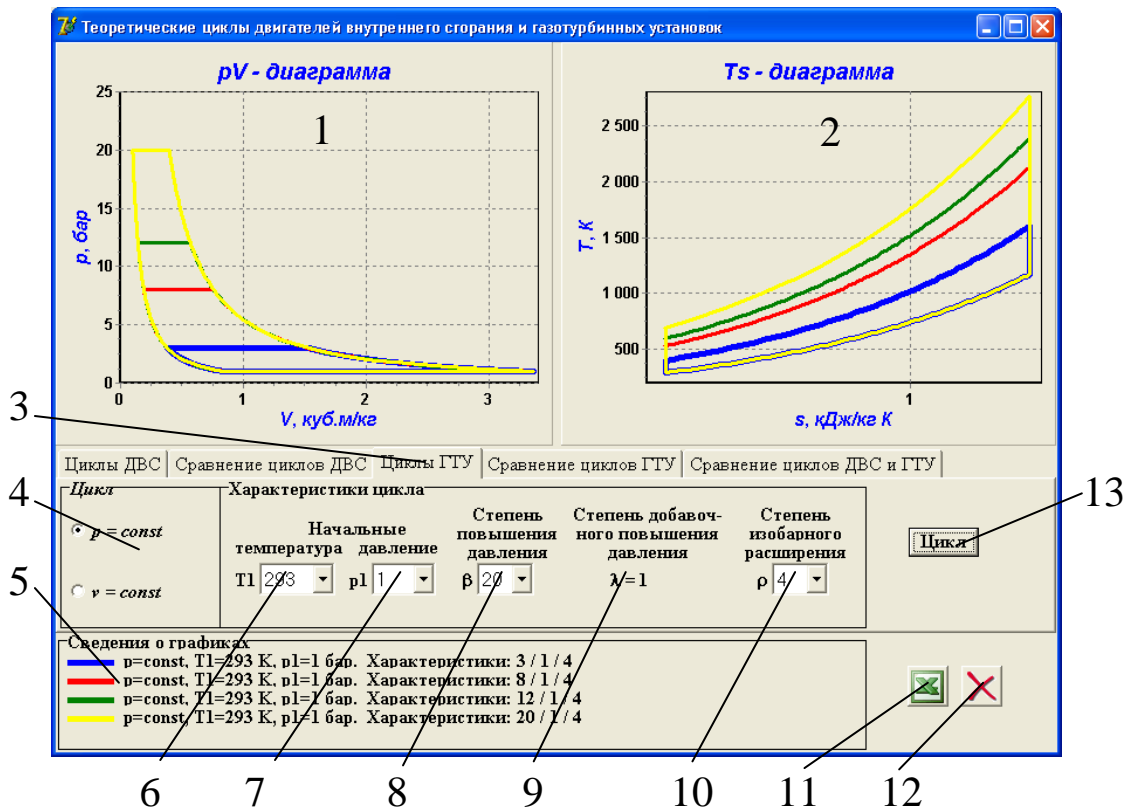


Рис. 3. Интерфейс программы:

1 – pV -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 повышения давления, 9 – список степеней добавочного повышения давления, 10 – список степеней изобарного 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

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.

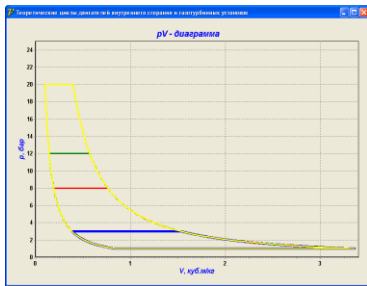


Рис. 4. Вывод диаграммы в размер окна программы

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», выбирают страницу «Циклы ГТУ».
3. Выбирают цикл.
4. Задают начальные параметры цикла: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик цикла, значения

которых не будут изменяться в ходе работы.

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

7. Нажимают кнопку «Цикл».

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 ГТУ.

3. Достоинства и недостатки ГТУ.

4. Области применения.

5. Почему в настоящее время не реализуются циклы с подводом теплоты при $v = const$.

6. Основные характеристики термодинамических циклов ГТУ.

7. Что означает степень повышения давления?

8. Как определить максимальные значения температуры и давления в цикле?
9. Выведите формулу для расчета термического КПД цикла.
10. Способы утилизации теплоты уходящих из ГТУ газов.

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 повышения давления β	Степень добавочного повышения давления λ	Степень изобарного 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			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19