

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 РАБОТЫ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

**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 работы различных теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок [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 и газотурбинных установок.

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

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теплосиловые газовые циклы подразделяют на циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинных установок (ГТУ). По способу подвода циклы ДВС, в свою очередь, подразделяют на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля), при постоянном объеме (цикл Отто), с комбинированным подводом теплоты (цикл Тринклера); циклы ГТУ – на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона) и при постоянном объеме (цикл Хамфри). Отвод теплоты в ДВС осуществляется по изохоре, в ГТУ – по изобаре, сжатие и расширение газа в ДВС и ГТУ – по адиабате.

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 Дж/(кг×К), показатель адиабаты – 1,4.

Эффективность работы любого теплосилового цикла определяется значением термического КПД, который рассчитывают 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.

2.1. Цикл ДВС с комбинированным подводом теплоты

Основными характеристиками цикла 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, а), м³/кг; p_2, p_3 – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

Количество подведенной теплоты:

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

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

количество отведенной теплоты:

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

где T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 – температуры в характерных точках цикла (рис. 1, б), К; c_v, c_p – изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг×К); k – показатель адиабаты.

Термический КПД цикла Тринклера равен

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

Максимальное давление в цикле равно давлению в точках 3 или 4 (рис. 1, а):

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

Максимальная температура определяется температурой в точке 4 (рис. 1, б):

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

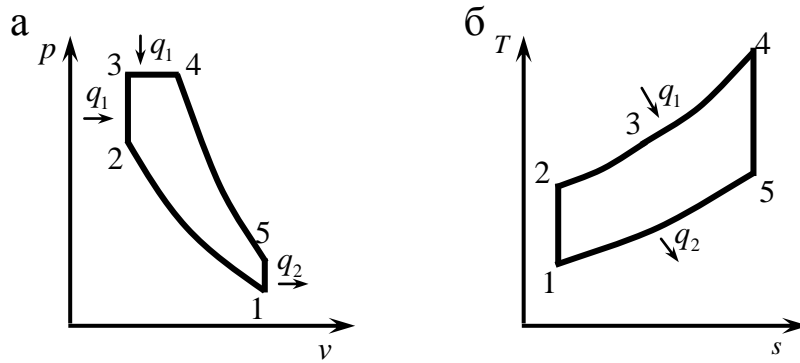


Рис. 1. Диаграммы цикла ДВС с комбинированным подводом теплоты: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

2.2. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

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

– степень предварительного расширения или степень изобарного расширения

$$\rho = \frac{\nu_4}{\nu_3},$$

В цикле степень повышения давления $\lambda = 1$, поэтому на диаграммах (рис. 2) точки 2 и 3 совпадают.

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_p \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1).$$

Количество отведенной теплоты:

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

Термический КПД цикла:

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

Максимальное давление в цикле равно давлению в точках 2 или 4 (рис. 2, а):

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

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 4 (рис. 2, б):

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

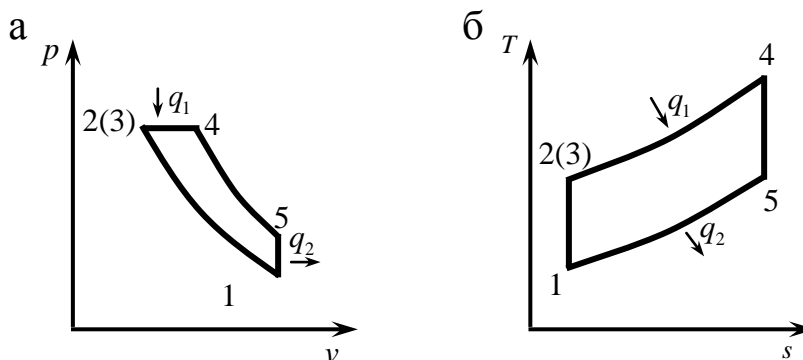


Рис. 2. Диаграммы цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

2.3. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

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

– степень повышения давления

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

В цикле степень предварительного расширения $\rho = 1$, поэтому на диаграммах (рис. 3) точки 3 и 4 совпадают.

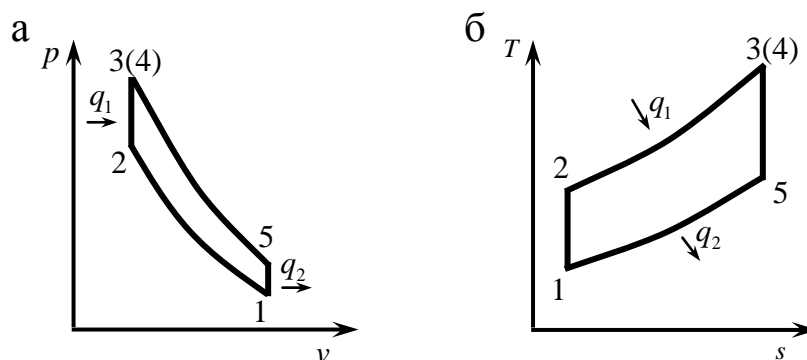


Рис. 3. Диаграммы цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

Количество подведенной теплоты:

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

Количество отведенной теплоты:

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

Термический КПД цикла:

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

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 3, а):

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

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 3, б):

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

2.4. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

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

– степень изобарного расширения:

$$\rho = \frac{v_3}{v_2}.$$

Количество подведенной теплоты:

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

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_p T_1 (\rho - 1).$$

Термический КПД цикла:

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

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 4, а):

$$p_{\max} = \beta p_1.$$

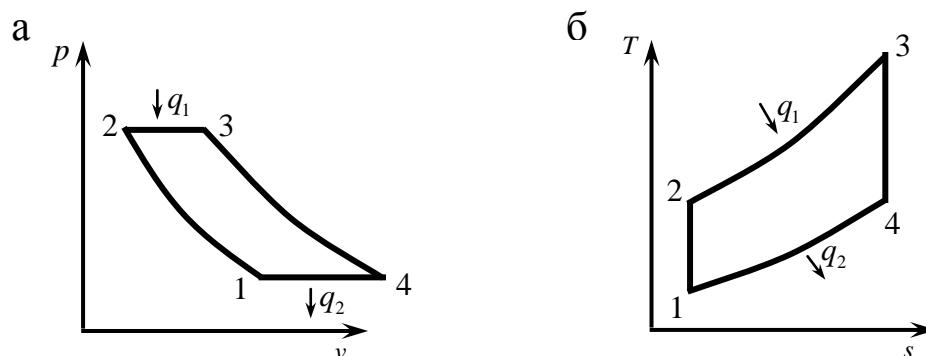


Рис. 4. Диаграммы цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении: а – p - v -координатах, б – в T - s -координатах

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 4, б):

$$T_{\max} = \rho \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1.$$

2.5. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

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

– степень добавочного повышения давления:

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

Количество подведенной теплоты:

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

Количество отведенной теплоты:

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

Термический КПД цикла:

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

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 5, а):

$$p_{\max} = \lambda \beta p_1.$$

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 5, б):

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

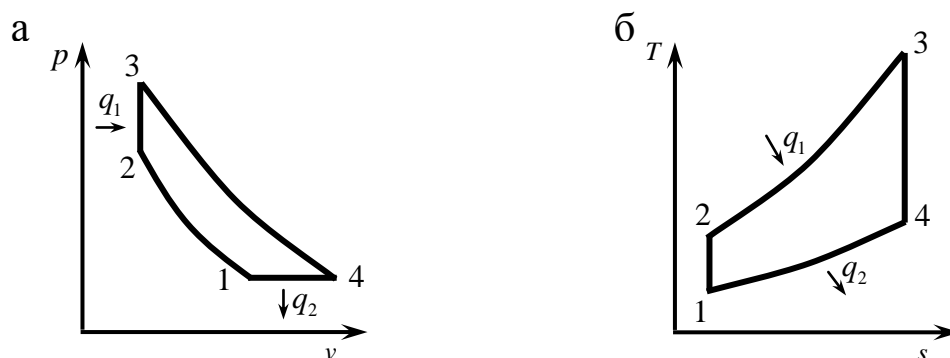


Рис. 5. Диаграммы цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме: а – p v -координатах, б – в T s -координатах

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Основными элементами установки (рис. 6) являются: p v - и T s -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 ДВС, указанного слева в списке циклов 4, характеристики цикла ГТУ вычисляются программой.

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 циклов и вывода диаграмм циклов, сравниваемых различными методами, используют кнопки 13-16. При помощи кнопки 11 можно вывести сведения о последнем рассчитанном цикле в таблицу Excel. Для удаления графиков циклов нужно нажать кнопку 12.

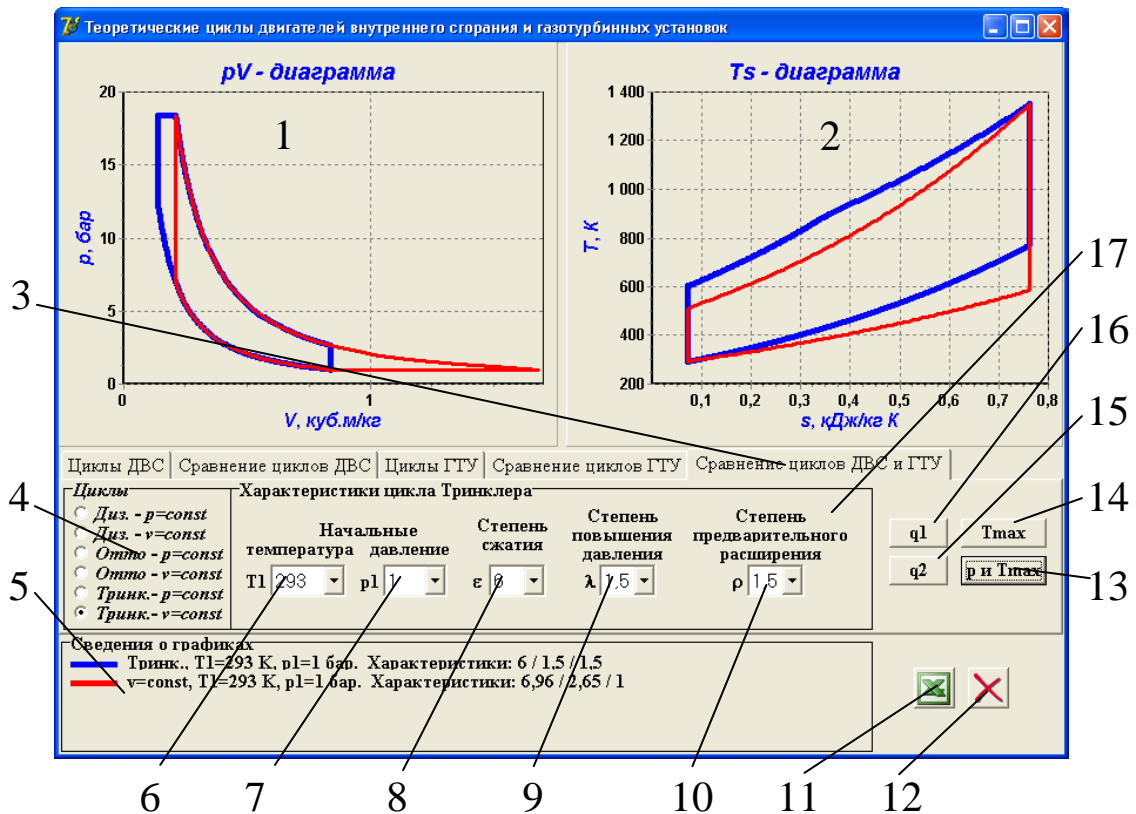


Рис. 6. Интерфейс программы:

- 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 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 сравнения циклов при одинаковых максимальных температуре и давлении, 14 – кнопка максимальной температуре, 15 – кнопка сравнения циклов при одинаковой подводимой теплоте, 16 – кнопка сравнения циклов при одинаковой отводимой теплоте, 17 – окно начальных параметров и характеристик цикла

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

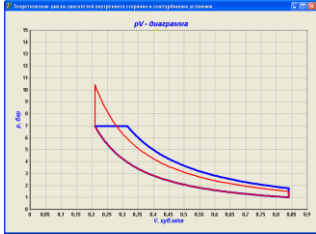


Рис. 7. Вывод диаграммы в размер окна программы

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. 7), 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.
2. Запускают приложение «Теоретические циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок» и выбирают страницу «Сравнение циклов ДВС и ГТУ».
3. Выбирают сравниваемые циклы в списке 4 (рис. 3).
4. Задают начальные параметры циклов: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик цикла ДВС, значения которых не будут изменяться в ходе работы.
6. Задают значение характеристики, влияние которой при сравнении эффективности циклов изучается.
7. Нажимают кнопку сравнения циклов (13, 14, 15 или 16) в зависимости от задачи исследования.
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 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 и ГТУ.
3. Достоинства и недостатки ДВС и ГТУ.
4. Области применения.
5. Основные характеристики циклов.
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 приблизительно 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/>

