

ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДВИГУНІВ

В.І. Рубльов, Г.В. Білвол

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.И. Рублев, А.В. Беловол

EXERGY ANALYSIS OF THE ENGINE

V.I. Rublev, H.V. Bilovol

Зроблений аналіз термодинамічних і сучасних ексергетических методів різних процесів і систем. Проведений ексергетичний аналіз двох типів газотурбінних установок, які працюють по простому циклу і регенеративному циклі. Проведений розрахунок ексергії на вході і виході в окремих елементах газотурбінної установки, а також втрати ексергії в цих елементах.

Ключові слова: Термодинамічний аналіз, ексергія, газотурбіна установка.

Сделан анализ термодинамических и современных эксергетических методов различных процессов и систем. Произведен эксергетический анализ двух типов газотурбинных установок, которые работают по простому циклу и регенеративному циклу. Произведен расчет эксергии на входе и выходе в отдельных элементах газотурбинной установки, а также потери эксергии в этих элементах.

Ключевые слова: Термодинамический анализ, эксергия, газотурбинная установка.

Thermodynamic analysis plays an important role for the analysis of any process, along with the technical and economic analysis. Almost all indicators take into account the thermodynamic efficiency of the energy conversion process according to the first law of thermodynamics, and does not take into account the features of the second law. According to the second law of thermodynamics, the energy can not be completely converted into useful work. But there is a figure with which it is possible to take into account this feature - Exergy. This indicator allows to consider features of the second law of thermodynamics and highlight the part of the energy that can not be used as a result of gas-dynamic phenomena, and makes it possible to quantify the influence of nonequilibrium thermodynamic processes in the energy conversion efficiency. The analysis of thermodynamic and modern exergetically methods of various processes and systems. Produced exergy analysis of two types of gas turbines, which operate on a simple cycle and regenerative cycle. The calculation of exergy input and output in separate elements of the gas turbine, as well as the loss of exergy in these elements.

Keywords: Thermodynamic analysis, exergy, gas turbine plant.

Вступ. Термодинамічний аналіз відіграє важливу роль для аналізу будь якого процесу, поряд з технічним і економічним аналізом. Практично всі показники термодинамічної ефективності процесу враховують перетворення енергії згідно

першого закону термодинаміки, і не враховують особливості другого закону. Згідно другого закону термодинаміки енергія не може бути повністю перетворена в корисну роботу. Но існує показник, за допомогою якого є можливість врахувати цю

особливість – ексергія. Даний показник дозволяє врахувати особливості другого закону термодинаміки та виділити ту частину енергії, яка не може бути використана внаслідок газодинамічних явищ, та дає можливість кількісно визначити вплив нерівноважності термодинамічних процесів на ефективність перетворення енергії. Це дозволяє аналізувати ступінь термодинамічної досконалості того чи іншого окремого елемента будь якої установки і не вимагає попередньої оцінки працездатності всієї установки в цілому [1-4].

Мета. Метою даної роботи являється розробка підходу та порядок розрахунку ексергії газового потоку, палива і втрати ексергії у різних вузлах газотурбінних установок та зробити порівняльний аналіз цих установок, що працюють за різними схемами.

Основна частина. Робота, яка здійснюється системою, має максимальне значення при умові повної обертальності усіх процесів. При цьому максимальна зміна ентропії усіх тіл, які задіяні у процесі, повинні дорівнювати нулю. У цьому випадку максимальна робота дорівнює:

$$l_0^{\max} = (i - i_0) - T_0(s - s_0) + \left(q - T_0 \int \frac{dq}{T} \right) \quad (1)$$

де $(i - i_0)$ - зміна ентальпії, дійсна та при температурі навколишнього середовища T_0 ;

$(s - s_0)$ - зміна ентропії, дійсна та при температурі навколишнього середовища T_0 ;

T_0 - температура, відповідає рівновазі з навколишнім середовищем;

q - кількість теплоти яку отримує робоче тіло.

При відсутності джерела первинної теплоти робота може бути здійснена за рахунок власної енергії робочого тіла, яке проходить скрізь систему. У цьому випадку формула (1) бути мати вигляд [5]:

$$E = (i - i_0) - T_0(s - s_0) \quad (2)$$

Ця функція працездатності робочого тіла у проточній системі і получила назву ексергії.

Якщо існує кінцева різниця температур то передача теплоти є незворотним процесом, яка зв'язана з

підвищенням ентропії та втратою роботи. Таким чином, ексергетичний ККД буде основним показником ексергетичного методу, який дорівнює відношенню ексергії, корисно відведеної з установки, до ексергії підведеної до неї [1]:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{ex} - E_{вих}}{E_{ex}} 100\% . \quad (3)$$

де E_{ex} – ексергія на вході у систему;

$E_{вих}$ – ексергія на виході з системи.

Розглянемо два цикли ГТУ з точки зору розподілу втрат енергії і ексергії в різних

агрегатах і процесах перетворення теплоти в роботу, складових цей цикл. Один цикл ГТУ працює за простою схемою, а другий цикл ГТУ – з рекуператором (рис. 1-2)

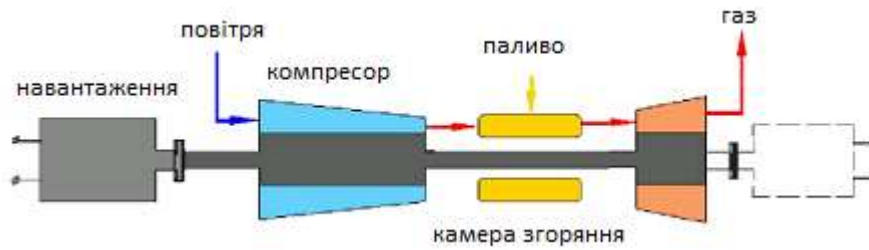


Рис. 1 - Конструктивна компоновка однофазної ГТУ

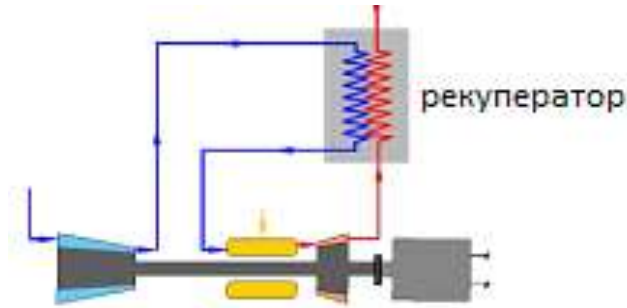


Рис. 2 - Конструктивна компоновка однофазної ГТУ з рекуператором

Основні характеристики ГТУ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні характеристики ГТУ

тиск повітря на вході в компресор	$p_1=0,1$ МПа
тиск повітря на виході з компресора	$p_2=1,95$ МПа
внутрішній відносний ККД турбіни	$\eta_{0i}^m = 0,86$
внутрішній відносний ККД компресора	$\eta_{0i}^k = 0,85$
ККД камери згоряння	$\eta_{KЗ} = 0,98$
механічний ККД	$\eta_m = 0,98$
ККД електричного генератора	$\eta_e = 0,97$
температура повітря на вході в компресор	$T_1=15^\circ\text{C}$
температура на вході в турбіну	$T_3=1200^\circ\text{C}$
теплота згоряння палива	$Q_p^H = 35350$ кДж/кг
температура навколишнього середовища	$T_0=15^\circ\text{C}$
тиск навколишнього середовища	$p_0=0,1$ МПа

Результати розрахунку ексергетичних втрат в окремих вузлах ГТУ представлені у таблицях 2-3.

Таблиця 2 - Розподіл ексергії по основних вузлах ГТУ, який працює за простим циклом

№ п/п	Найменування вузла	Ексергія, кДж/кг			Ексергетичний ККД вузла
		На вході	На виході	Втрата	
1	Камера згоряння	424,2	1048,72	255,2	0,7097
2	Турбіна	1048,72	233,55	48,49	0,9405
3	Компресор	0	424,2	452,91	0,9366
4	Вихідний пристрій			233,55	

Теплові двигуни

Таблиця 3 - Розподіл ексергії по основних вузлах ГТУ, який працює з рекуператором

№ п/п	Найменування вузла	Ексергія, кДж/кг			Ексергетичний ККД вузла
		На вході	На виході	Втрата	
1	Камера згоряння	498,6	1126	243,52	0,7121
2	Турбіна	1126	229,2	28,8	0,9638
3	Рекуператор	425,3	498,6	73,28	0,456
4	Компресор	0	425,3	28,8	0,9366
5	Вихідний пристрій			36,4	

Ексергетичний ККД ГТУ знаходився за формулою:

$$\eta_{ex}^{ГТУ} = 1 - \frac{\sum \Delta E}{E_{нал}}, \quad (4)$$

де $\sum \Delta E$ - сума втрат в усіх елементах установки;

$E_{нал}$ - ексергія палива.

Висновок:

- в результаті розрахунків визначені ексергетичні втрати в елементах установок, при цьому максимальні втрати ексергії спостерігаються у камері згоряння;

- на підставі проведеного аналізу визначена ексергетична ефективність розглянутих установок, яка складає $\eta_{ex}^{ГТУ} = 0,32$ - для ГТУ, який працює за простим циклом, та $\eta_{ex}^{ГТУ} = 0,49$ - для ГТУ, який працює з рекуператором.

Список використаних джерел

- Бродянский В.М. Эксергетические расчеты технических систем: Справочное пособие [Текст] / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев. – К.: Наукова думка, 1991. – 361 с.
- Ковтун В.В. Применение эксергетического метода для оценки эффективности работы теплоэнергетических установок, утилизационного оборудования и схем утилизации вторичных энергоресурсов [Текст] / В.В. Ковтун – К.: УМК ВО, 1989. – 76 с.
- Самсонов А.И. Эксергетический анализ работы тепловых машин. Противоречия и неточности в учебниках по технической термодинамике. [текст] / А.И.Самсонов // Кораблестроение, океанотехника, вопросы экономики. Выпуск 25. – Владивосток. - 2002. - С. 21-22.
- Эксергетический метод и его приложения [Текст] / под ред. В.М. Бродянского. - М.: Мир, 1967. - 248 с.
- Крутов В.И. Техническая термодинамика [Текст] / В.И. Крутов – М.: Высшая школа, 1981. – 439 с.

Рецензент д-р техн. наук. профессор Фалендиш А.П.

Рубльов Володимир Іванович, к.т.н., доцент кафедри теплотехніки і теплових двигунів Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків, Україна, Тел. (057)-730-10-78. E-mail: rublik69@ukr.net.

Біловола Ганна Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри теплотехніки і теплових двигунів Української державної академії залізничного транспорту, м. Харків, Україна, Тел. (057)-730-10-78. E-mail: annabel731@gmail.com

Rublev Vladimir Ivanovich, c-te science, department of operation and maintenance of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (057)-730-10-78. E-mail: rublik69@ukr.net.

Bilovol Hanna Volodymyrivna, c-te science, department of operation and maintenance of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport, Tel. (057)-730-10-78. E-mail: annabel731@gmail.com

Статья поступила 15.03.2015