

УДК 621.436

М.Р. ТКАЧ, Б.Г. ТИМОШЕВСКИЙ

Национальный университет кораблестроения им. адм. С.О. Макарова, Николаев, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТД МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

На базе созданного стенда ГТД-14-АТ исследованы теплотехнические и экологические показатели автономного турбогенератора на топливе, полученном из полимерного сырья и дизельном (Л02-40) топливе. Выявлена идентичность значений КПД, расходов воздуха и топлива, температуры на выходе. Содержание CO и в отходящих газах изменяется на 1...4%, а NOx – на 1...3 ppm.

альтернативное топливо, газотурбинный двигатель, экологические показатели, турбогенератор

1. Постановка проблемы

Исследованиям показателей газотурбинных двигателей (ГТД) на альтернативных топливах различного происхождения – спирты, синтетические топлива из угля, древесины и их смеси с традиционным топливом – посвящены исследования отечественных ученых, зарубежных лабораторий и институтов [1 – 3].

Вместе с тем, в литературе отсутствуют данные по работе газотурбинных двигателей на топливе, получаемом из отходов полимерного сырья. Альтернативные топлива, получаемые из отходов полимерного сырья (АТ) характеризуются технико-химическими свойствами, несколько отличающимися от таковых для топлив нефтяного происхождения.

Степень различия определяются сырьем и технологическим процессом получения АТ. Приведенные ниже показатели даны для АТ, полученного в лабораторных условиях [4], в сравнении с дизельным – Л02-40 по ДСТУ 3868 (табл. 1).

Цель исследования: создание экспериментального стенда с компьютеризированной системой измерений; исследование теплотехнических и экологических показателей ГТД малой мощности при работе на различных топливах.

2. Решение проблемы

2.1. Экспериментальный стенд. Исследование характеристик ГТД на жидких альтернативных углеводородных топливах выполнено на специально созданном стенде ГТД-14-АТ на базе вспомогательного ГТД АИ-8, основные показатели которого приведены в табл. 2.

Таблица 1

Основные техникохимические
показатели топлив

Показатели			Величина	
Вид топлива			Альтернативное	Дизельное
Фракционный состав, масс %	Диапазон температур выкипания, (Т-273) К	49...190	38,9	3...4
		190...353	56,1	80...83
		Свыше 353	5,0	13...17
Структурно-групповой состав, масс %	Углеводороды	Парафиновые	40,1	49...52
		Моноолефиновые	48,8	35...29
		Диеновые и ароматические	11,1	14...19
Кинематическая вязкость при Т=293 К, мм ² /с			2,88	3,2
Плотность при Т=293 К, кг/м ³			729	840
Температура выкипания 50% (Т ₅₀ – 273), К			230...240	280
Удельная низшая теплота сгорания, МДж/кг			43,1	42,0

Стенд оборудован штатной системой дистанционного управления, штатными измерительными приборами, контрольно-измерительными приборами и системой первичных датчиков для обеспечения автоматизации проведения эксперимента и обработки данных (рис. 1).

Таблица 2

Основные показатели ГТД АИ-8[5]

Мощность на клеммах генератора, кВт	
Номинальная длительная	14,0
Максимальная кратковременная	60,0
Частота вращения генератора, об/мин	6000...7000
Напряжение (при номинальной мощности), В	24,3...29,7
Количество топливных форсунок	6
Давление топлива перед форсунками не более, МПа	3,6
Давление топлива на входе в ГТД, МПа	0,08...1,3
Частота вращения турбокомпрессора, тыс. об/мин	26,0...37,0
Частота вращения свободной турбины, тыс. об/мин	24,0...28,0
Температура отходящих газов не более, К(°C)	(1053)780

Топливо из основной цистерны 1, выполненной в виде двух независимых секций для различных видов топлива, подается подкачивающим насосом шестеренного типа 2, через топливный фильтр типа ММЗ-50Л 3, турбинные преобразователи расхода ТПР5 или ТПР2-4 в топливную систему ГТД. Расходная характеристика каждого из турбинных преобразователей расхода подобрана таким образом, что верхний предел измерений датчика ТПР2 ($16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$) несколько превышает нижний предел измерений датчика ТПР5 ($12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$).

Установка датчиков давления, температуры, частоты вращения проведена с использованием штатных штуцеров и приводов для их присоединения. Значения температур воздуха в расчетных сечениях преобразуются в электрический сигнал термоэлектрическими преобразователями (градуировки ХК(L) или ХА(K) по ГОСТ 6616), а значения избыточного давления – тензoeлектрическими датчиками "Сапфир 22Д". Данные поступают в компьютеризиро-

ванную систему измерения и регистрации данных КСИРД-2-256. Оценка максимальной погрешности измерений статических параметров дает следующие значения: температура – 0,5 К; давление – 0,5% и веса (силы) – 0,25% верхнего предела измерений. Данные показатели близки к минимальным достижимым значениям при технических измерениях.

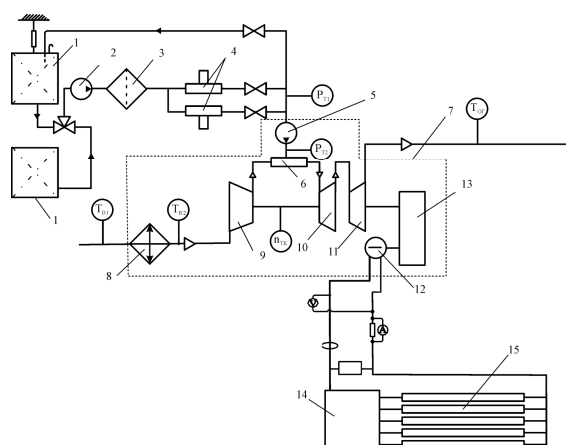


Рис. 1. Стенд ГТД –14-АТ для исследования характеристик ГТД на жидких углеводородных топливах:

1 – расходная топливная цистерна; 2 – подкачивающий электронасос; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – турбинный преобразователь расхода; 5 –топливный насос-регулятор; 6 – камера сгорания; 7 – ГТД АИ-8; 8 – охладитель масла; 9 – компрессор; 10 – турбина компрессора; 11 – турбина генератора; 12 – генератор; 13 – редуктор; 14 – система управления нагрузкой; 15 – нагрузка

2.2. Система измерений. Состав и компоненты продуктов сгорания тепловых двигателей определяются измерительной системой на базе Testo 354/454 (рис. 2). Измерение концентрации компонентов осуществляется сенсорами компонентов 7. Забор пробы на анализ осуществляется из магистрали отходящих газов 1 объемным насосом 8 посредством пробоотборного зонда 2 через блок пробоподготовки, включающий в свой состав охладители 3 и фильтр 4 (рис. 2). Сигналы сенсоров компонентов 7 поступают в блок обработки 9 и, посредством интерфейсного кабеля RS232 и платы согласования 10 передаются в ПЭВМ. Элементы системы выполнены из стали 12Х18Н9Т – не оказывающей каталитического воздействия на исследуемые компоненты про-

дуктов сгорания. Основные характеристики измерительной системы Testo 354/454 по компонентам: кислород (O_2) – 0...25 объемных % с погрешностью 0,2%; углерода оксид (CO) – 100...2000 ppm с погрешностью 5%; азота оксид (NO) 0...3000 ppm с погрешностью 5%; азота диоксид (NO_2) 0...500 ppm с погрешностью 5%; серы диоксид (SO_2) 0...5000 ppm с погрешностью 5%. Время установления параметров не превышает 40 с.

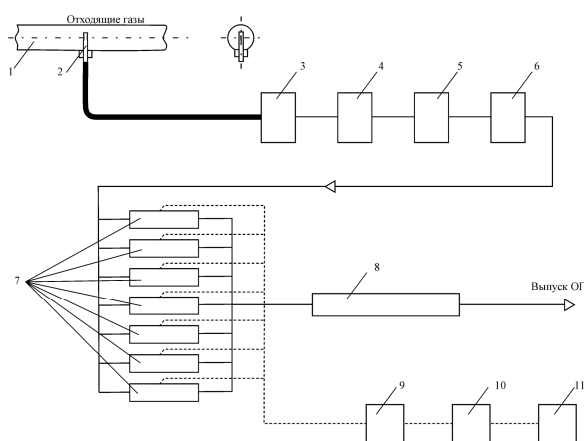


Рис. 2. Схема системы замера состава отходящих газов:

1 – магистраль отходящих газов; 2 – пробоотборный зонд; 3 – охладитель; 4 – осушитель; 5, 6 – фильтры; 7 – сенсоры компонентов; 8 – объемный насос; 9 – блок обработки; 10 – плата согласования; 11 – ПЭВМ

3. Результаты исследований

Сравнительные испытания газотурбинного двигателя АИ-8 на рассматриваемых топливах проведены на стенде ГТД-14-АТ при неизменной характеристике регулятора частоты вращения ротора турбокомпрессора ($n = const$). С целью обобщения, экспериментальные данные представлены, как правило, в относительном виде. В качестве базы для сравнения приняты экспериментальные показатели ГТД АИ-8, полученные на топливе ЛЮ2-40 при номинальной длительной мощности генератора (табл. 3).

3.1. Теплотехнические характеристики. Результаты испытаний на рассматриваемых топливах показаны на рис. 3. Как следует из приведенных

данных, влияние свойств рассматриваемых топлив на показатели ГТД в целом весьма незначительно.

Таблица 3

Базовые показатели стенда ГТД-14-АТ

Показатели, параметры	Величина
Мощность электрическая, $(N_e)_б$, кВт	14,1
Расход топлива, $(G_T)_б$ кг/с	0,024
Расход отходящих газов, $(G_T)_б$ кг/с	1,63
Температура отходящих газов $(T_4)_б$ К	890
Коэффициент восстановления полного давления на выходе	0,995

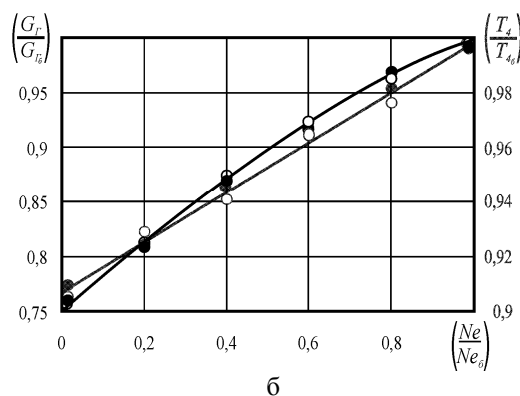
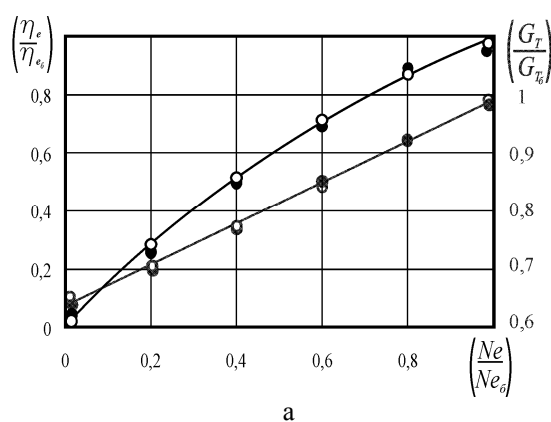


Рис. 3. Относительные теплотехнические показатели ГТД АИ-8:

а – КПД и расход топлива;
б – расход и температура отходящих газов;
топлива: ● – дизельное; ○ – альтернативное

Изменение КПД и массовых расходов газа на выходе и топлива при переходе с дизельного топлива на альтернативное не превышает 5%, а изменение температуры T_4 составляет от 5...10 К при номинальной нагрузке и увеличивается до 20...30 К при

малых нагрузках. Следует отметить, что рассматриваемый ГТД характеризуется малым диапазоном изменения значения температуры газов на выходе (менее 100 К) во всем диапазоне нагрузок.

Полученные экспериментальные характеристики адекватны результатам [6] с учетом различных величин коэффициента восстановления полного давления на выходе ГТД для сравниваемых экспериментальных стендов.

3.2. Экологические показатели. Экологические характеристики ГТД АИ-8 приведены на рис. 3. Как следует из приведенных данных, Содержание CO в отходящих газах в зависимости от режима нагружения несколько изменяется по сравнению с работой на дизельном топливе: на режиме полной длительной мощности его значение снижается на 5...10 ppm (1...2%) и повышается на 20...30 ppm (3...4%) при малой мощности. Тенденция изменения содержания NOx в отходящих газах противоположная – увеличение на 2...3 ppm на большой мощности и снижение на 1...2 ppm при малой.

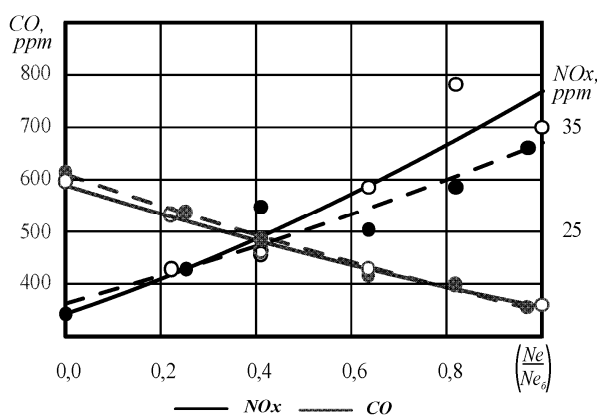


Рис. 4. Содержание CO и NOx в отходящих газах ГТД АИ-8; топлива: ● — дизельное; ○ — альтернативное

Выводы

1. Создан стенд с компьютеризированной системой измерений для исследования теплотехнических и экологических характеристик ГТД малой мощности.

2. Показано, что относительное значение теплотехнических характеристик ГТД при работе на

альтернативном топливе, составляет 0,95...1,05 таковых на дизельном.

3. Выявлено, что содержание CO в отходящих газах изменяется в зависимости от величины нагрузки на 1...4%, а NOx — на 1...3 ppm .

Литература

1. Основы расширения ресурсов топлив для судовых газотурбинных двигателей / В.П. Серегин, А.Ф. Горенков, В.Т. Бугай, В.И. Петров, И.Г. Ключко // Химия и технология топлив и масел. — 1980. — № 11. — С. 43-45.
2. Бар Д.У. Влияние состава топлив с расширенным фракционным составом на камеры сгорания авиационных газотурбинных двигателей // Аэрокосмическая техника. — 1983. — № 8. — С. 117-125.
3. Andrews R.G., Fuleki D., Zukowski S., Patnaik P.C. Results of Industrial Gas Turbine Tests Using a Biomass-Derived Fuel // Making a Business from Biomass in Energy, Environment, Chemicals, Fibers, and Materials; Overend, R.P., Chornet, E., Eds.; Elsevier Science Inc.: New York, 1997. — P. 425-435.
4. Strenziok R., Hansen U., Künster H. Combustion of Bio-oil in a Gas Turbine // Progress in Thermochemical Biomass Conversion; Bridgwater, A.V., Ed.; Blackwell Science: Oxford, 2001. — P. 1452-1458.
5. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Альтернативные топлива для тепловых двигателей // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. — Х.: ХАІ, 2001. — Вип. 26. Двигуни та енергоустановки. — С.13-18.
6. Матвеев В.Т. Результаты испытаний опытного когенерационного газотурбогенератора с турбокомпрессорным утилизатором // Вісник ДУ «Львівська політехніка». Проблеми економії енергії. — Львів: ДУ «Львівська політехніка», 2004. — Вип. 2. — С. 22-25.

Поступила в редакцию 12.06.2007

Рецензент: проф. Ю.Л. Мошенцев, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев.