УДК 621.436.13:621.57

А. Н. РАДЧЕНКО, А. В. КОНОВАЛОВ

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

МЕТОДОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С СИСТЕМОЙ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Приведены основные положения методологии обработки данных мониторинга топливной эффективности газовых двигателей (ГД) с системой оборотного охлаждения наддувочной газовоздушной смеси (ГВС). Данные мониторинга топливной эффективности ГД обрабатывались в виде массивов данных по зависимости удельного объемного расхода топлива (природного газа) от температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС при разных температурах воздуха на входе турбокомпрессора ГД. В результате получены значения величины изменения удельного объемного расхода топлива, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на 1 °С, которые дают возможность оценивать эффективность применения разных способов охлаждения наддувочной ГВС ГД.

Ключевые слова: *газовый двигатель, топливная эффективность, удельный расход топлива, мониторинг, наружный воздух, система оборотного охлаждения, наддувочная газовоздушная смесь.*

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

Установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения, или интегрированные энергетические системы (Integrated Energy Systems – IES), прочно заняли свою нишу в децентрализованных системах энергоснабжения [1–4]. В качестве базовых двигателей таких энергоустановок весьма перспективно применение газовых двигателей (ГД). При этом теплота выпускных газов ГД, наддувочной газовоздушной смеси (ГВС), отводимая в первой высокотемпературной ступени охладителя наддувочной смеси $ОНВ_{ВТ}$, а также смазочного масла и охлаждающей рубашку двигателя воды используется для нагрева воды, которая в свою очередь является теплоносителем для теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ), чаще всего абсорбционных бромистолитиевых (АБХМ).

Охлаждение наддувочной ГВС во второй низкотемпературной ступени охладителя наддувочной смеси $ОНВ_{НТ}$ перед ее подачей в цилиндры ГД осуществляется, как правило, системой оборотного охлаждения с отводом теплоты от промежуточного водяного контура охлаждения в атмосферу градирнями сухого типа. С повышением температуры наружного воздуха на входе в градирни эффективность охлаждения в них воды на входе $ОНВ_{НТ}$ снижается.

С повышением температуры воздуха $t_{вх}$ на входе турбокомпрессора (ТК) и наружного воздуха $t_н$ на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС топливная эффективность ГД снижается – возрастает удельный расход топлива b_e. Поэтому охлаждение как воздуха на входе ТК, так и наружного воздуха на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС позволяло бы поддерживать высокую топливную экономичность ГД при повышенных температурах воздуха. Для этого целесообразно использовать холод, полученный в ТХМ [4–6].

Для оценки эффекта от охлаждения воздуха на входе ТК и наддувочной ГВС необходимо располагать данными по раздельному влиянию их температуры на удельный расход топлива b_e. Однако обработка данных мониторинга действующих установок автономного энергообеспечения на базе ГД представляет определенные трудности из-за совместного влияния на b_e температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС и воздуха на входе ТК $t_{вх}$.

Цель исследования – разработка методологии обработки данных мониторинга по топливной эффективности ГД в зависимости от температуры наружного воздуха на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС.

2. Результаты исследования

Методология обработки данных по топливной эффективности ГД разработана с использованием данных мониторинга первой на Украине тригенерационной установки автономного электро-, тепло- и

© А. Н. Радченко, А. В. Коновалов

холодообеспечения, введенной в эксплуатацию на заводе ООО "Сандора"–"Pepsico Ukraine" (Николаевская обл.) в 2011 г. Проектирование и монтаж установки выполнены ЧНПП "СИНАПС"–"GE Energy" (г. Киев) и ООО "Хладотехника" (г. Николаев). Тригенерационная установка включает 2 когенерационных газопоршневых двигателя (ГПД) JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГПД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт).

Данные мониторинга топливной эффективности ГПД представлялись в виде массивов данных $f = b_{ev}(t_н)$ по зависимости удельного объемного расхода топлива (природного газа) b_{ev} от температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС (при соответствующем пересчете и от температуры воды системы оборотного охлаждения на входе в $ОНВ_{НТ}$). Целью обработки массивов данных $f = b_{ev}(t_н)$ является нахождение значения величины изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev}, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на 1 °С: $db_{ev}/dt_н$.

При этом отдельные массивы данных мониторинга $f = b_{ev}(t_н)$ формировались при разных, но практически неизменных температурах воздуха $t_{вх}$ (диапазон отклонения температуры $t_{вх}$ менее 1 °С) на входе турбокомпрессора (ТК), что позволяло исследовать влияние температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС независимо от температуры воздуха $t_н$ на входе ТК.

Массивы данных $f = b_{ev}(t_н)$ представлены в виде точечных диаграмм.

Алгоритм поэтапной реализации методологии и основные ее положения приведены ниже.

Принимают $x = t_н$, °С; $y = b_{ev}$, 10^{-3} м^3/(кВт·С), т.е. рассматривают зависимость $f = y(x)$.

1. Граничные условия для всего множества М точек $f = y(x)$: $y_lim_min \le y \le y_lim_max$, где $y_lim_min = 240$, $y_lim_max = 270$ (рис. 1).

2. Находят из множества М множества:

$$M1(20 \le t_{вх} \le 21),\ M2(21 \le t_{вх} \le 22),$$
$$Mn(28 \le t_{вх} \le 29).$$

3. Находят для каждого Mn наименьшее и наибольшее значения x (т.е. $x_min \le x$ и $x_max \ge x$) и y (т.е. $y_min \le y$ и $y_max \ge y$).

4. Находят для каждого множества Mn величину $k_n = dy/dx$:

a) разбивают Mn на подмножества Mn1, Mn2,...Mnm, где $m = Z + 1$, Z – наибольшее целое от $(y_max - y_min)/h$, $1 \le h \le (270 - 240)$;

b) задают $0{,}3 \le k \le 1{,}0$ с шагом 0,1 для каждого множества;

c) находят для каждого подмножества Mnm отношение n/N , где n – количество точек в подмножестве; N – количество точек в множестве, удовлетворяющих условию: $y \le k \cdot x + b$, где x – заданное x от заданного y, $b = y_min - k \cdot x_min + h$ (рис. 2).

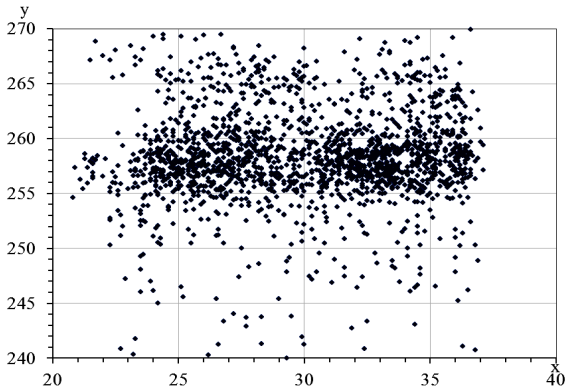

Рис. 1. Множество М точек $f = y(x)$ при $240 \le y \le 270$

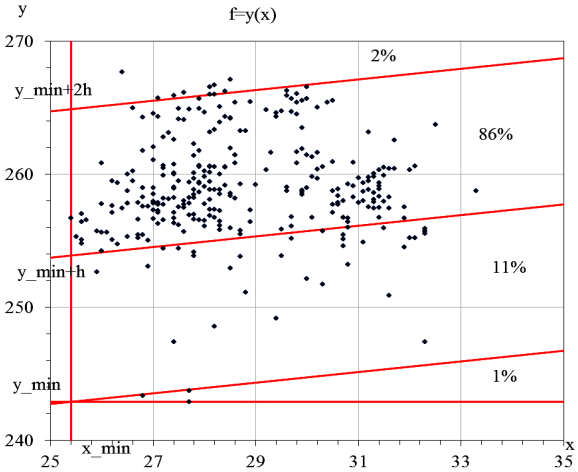

Рис. 2. К разбиению множества Mn на подмножества Mnm

5. Находят значение k для наибольшей величины отношения n/N из всех Mn, т.е. при максимальной выборке.

c) находят для каждого подмножества Mnm отношение n/N , где n – количество точек в подмножестве; N – количество точек в множестве, удовлетворяющих условию: $y \le k \cdot x + b$, где x – заданное x от заданного y, $b = y_min - k \cdot x_min + h$ (рис. 2).

На рис. 3 представлены результаты обработки данных для массивов $f = b_{ev}(t_н)$ в виде точечных диаграмм. При этом зависимость удельного объемного расхода топлива b_{ev} ГД от температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС $f = b_{ev}(t_н)$ определялась пошагово для каждого интервала значений температуры воздуха $t_{вх}$ на входе ТК, равного 1 °С, что являлось основанием для допущения о постоянстве температуры воздуха $t_н$ на входе ТК для каждого множества Mn.

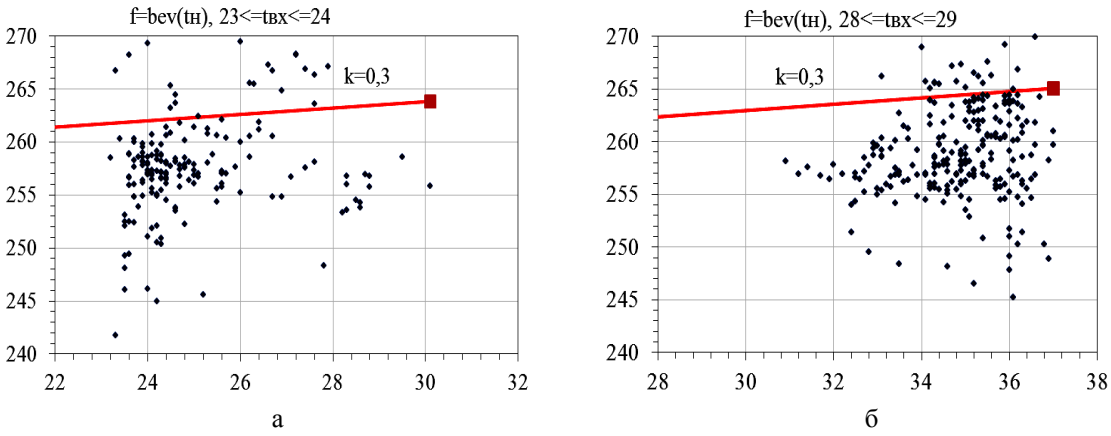

Рис. 3. Результаты обработки данных для массивов $f = b_{ev}(t_н)$ при постоянной температуре воздуха $t_{вх}$ на входе ТК, т.е. для каждого интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С

В табл. 1 приведены результаты обработки данных для массивов $f = b_{ev}(t_н)$ при постоянной температуре воздуха $t_{вх}$ на входе ТК (для каждого интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С) в виде значения изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev} при изменении температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на 1 °С: $db_{ev}/dt_н$, а также максимальное относительное количество точек, т.е. максимальная выборка (n/N)max, для каждого из интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С.

Таблица 1

Значения изменения удельного объемного расхода топлива db_{ev} при изменении температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС ГД на 1 °С, $db_{ev}/dt_н$, а также максимальное относительное количество точек, т.е. максимальная выборка (n/N)max для каждого интервала значений $t_{вх}$ в 1 °С (при $t_{вх}$ = const)

$t_{вх}$, °С	$db_{ev}/dt_н$, 10^{-3}м^3/(кВт·ч·С)	(n/N)max, %
20-21	1	52,94
21-22	1	66,67
22-23	1	72,94
23-24	0,3	79,55
24-25	0,3	90,17
25-26	0,4	85
26-27	0,3	87,33
27-28	0,3	86,85
28-29	0,3	77,96

Как видно из приведенных в табл. 1 результатов мониторинга по влиянию температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на удельный объемный расход топлива (природного газа) b_{ev}, значения величины изменения удельного объемного расхода топлива, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха $t_н$ на 1 °С, при $t_{вх} \geq$ 23 °С, находятся в диапазоне значений $db_{ev}/dt_н$ = 0,3…0,4 10^{-3}м^3/(кВт·ч·С) при температурах воздуха $t_{вх}$ на входе ТК, исходя из чего можно оценивать эффективность применения разных способов охлаждения наддувочной ГВС, в частности, переходом системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС на градирни мокрого типа, использованием холода, получаемого в теплоиспользующей холодильной машине, утилизирующей сбросную теплоту ГД.

Выводы

1. Разработан метод мониторинга топливной эффективности газовых двигателей (ГД), приведены алгоритм поэтапной его реализации и аналитическое описание этапов.

2. Получены значения величины изменения удельного объемного расхода топлива, приходящейся на изменение температуры наружного воздуха $t_н$ на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной газовоздушной смеси (ГВС) на 1 °С, которые дают возможность оценивать эффективность применения разных способов охлаждения наддувочной ГВС.

Литература

1. Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations [Text]. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.

2. Elsenbruch, T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications [Text] / T. Elsenbruch. – Bucureşti, October 28, 2010. – 73 p.

3. GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype [Text] / G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

4. Рыжков, С. С. Направления повышения эффективности тригенерационных установок автономного энергообеспечения технологических процессов [Текст] / С. С. Рыжков, А. Н. Радченко, С. Г. Фордуй // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 9 (106). – С. 80–85.

5. Радченко, А. Н. Согласование работы когенерационного модуля газового двигателя и абсорбционного термотрансформатора [Текст] / А. Н. Радченко, А. В. Коновалов, Л. А. Остапенко // Газотурбинные технологии: Рыбинск, Россия. – 2013. – № 4 (115). – С. 30–33.

6. Radchenko, N. Trigeneration plant for combined energy supply [Text] / N. Radchenko, S. Ryzkov, S. Forduy // Proceedings of the 14 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE–2012. – Szczecin, Poland. – 2012. – P. 503–508.

Поступила в редакцию 12.03.2014, рассмотрена на редколлегии 20.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В. А. Голиков, Одесская национальная морская академия, Одесса

МЕТОДОЛОГІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ПАЛИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОВОГО ДВИГУНА З СИСТЕМОЮ ОБОРОТНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ

А. М. Радченко, А. В. Коновалов

Наведено основні положення методології обробки даних моніторингу паливної ефективності газових двигунів (ГД) з системою оборотного охолодження наддувної газоповітряної суміші (ГПС). Дані мониторингу паливної ефективності ГД оброблялись у вигляді масивів даних із залежності питомої об’ємної витрати палива (природного газу) від температури зовнішнього повітря на вході градирні системи оборотного охолодження наддувної ГПС при різних температурах повітря на вході турбокомпресора ГД. В результаті отримано значення величини зміни питомої об’ємної витрати палива, яка припадає на зміну температури зовнішнього повітря на вході градирні системи оборотного охолодження наддувної ГПС на 1 °С, що дають змогу оцінювати ефективність застосування різних способів охолодження наддувної ГПС ГД.

Ключевые слова: газовый двигатель, топливная эффективность, удельный расход топлива, моніторинг, зовнішнє повітря, система оборотного охолодження, наддувна газоповітряна суміш.

METHODOLOGY OF THE TREATMENT OF MONITORING DATA FOR THE FUEL EFFICIENCY OF GAS ENGINE WITH A GAS-AIR MIXTURE COOLING TOWER SYSTEM

A. N. Radchenko, A. V. Konovalov

The main principles of methodology of the treatment of monitoring data for the fuel efficiency of gas engine (GE) with a gas-air mixture (GAM) cooling tower system are presented. The data of monitoring for the fuel efficiency of GE have been treated in the form of data-banks of specific volume fuel consumption (natural gas) dependence from the ambient temperature at the inlet of the cooling tower of the scavenge gas-air mixture cooling system at the varies temperatures of the air at the intake of GE turbocompressor. The values of specific volume fuel consumption change due to the ambient temperature at the inlet of the cooling tower of the gas-air mixture cooling system change by 1 °C, that provide to estimate the efficiency of application of varies methods of GE scavenge gas-air mixture cooling, are received.

Key words: gas engine, fuel efficiency, specific fuel consumption, monitoring, ambient air, scavenge gas-air mixture cooling tower system scavenge gas-air mixture.

Радченко Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доц., Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

Коновалов Андрей Викторович – мл. научн. сотрудник, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: dimitriy_ko@mail.ru