

## МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. Н. Радченко, канд. техн. наук, доц.;

А. В. Коновалов, мл. науч. сотр.

*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Приведены алгоритм поэтапной реализации метода обработки данных мониторинга топливной эффективности газовых двигателей и аналитическое описание этапов. Данные мониторинга топливной эффективности газовых двигателей обрабатывались в виде массивов данных по зависимости удельного объемного расхода топлива (природного газа) от температуры воздуха на входе газовых двигателей. В результате получены значения величины изменения удельного объемного расхода топлива, приходящейся на изменение температуры воздуха на входе газовых двигателей на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые дают возможность оценивать эффективность применения разных способов охлаждения воздуха на входе газовых двигателей.

**Ключевые слова:** газовый двигатель, топливная эффективность, удельный расход топлива, температура воздуха на входе, мониторинг.

**Анотація.** Наведено алгоритм поетапної реалізації методу обробки даних моніторингу паливної ефективності газових двигунів та аналітичний опис етапів. Дані моніторингу паливної ефективності газових двигунів оброблялись у вигляді масивів даних по залежності питомої об'ємної витрати палива (природного газу) від температури повітря на вході газових двигунів. У результаті отримані значення величини зміни питомої об'ємної витрати палива, яка припадає на зміну температури повітря на вході газових двигунів на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , які дають змогу оцінювати ефективність застосування різних способів охолодження повітря на вході газових двигунів.

**Ключові слова:** газовий двигун, паливна ефективність, питома витрата палива, температура повітря на вході, моніторинг.

**Abstract.** The algorithm of the step-by-step realization of the data processing method of the fuel efficiency monitoring for gas engines (GE) and analytical description of the stages are presented. The monitoring data of the GE fuel efficiency have been processed in the form of data-banks according to the per-unit-volume fuel consumption (natural gas) in dependence with the air inlet temperature of GE. As a result the change values of the per-unit-volume fuel consumption due to the air inlet temperature change by  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , that allow to estimate the application efficiency of the variable methods of GE inlet air cooling, are received.

**Keywords:** gas engine, fuel efficiency, per-unit-volume fuel consumption, inlet air temperature, monitoring.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В русле общемировой тенденции децентрализации энергоснабжения все большее распространение находят установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения (тригенерационные), или интегрированные энергетические системы (Integrated Energy Systems – IES) [4]. В таких энергоустановках для привода электрогенераторов особенно перспективно применение газовых двигателей (ГД), выпускаемых в когенерационном исполнении – в виде когенерационных модулей, включающих штатные теплообменники, в которых теплота, отводимая от выпускных газов, наддувочной газозвушной смеси (ГВС), смазочного масла и корпуса двигателя (охлаждающей рубашки двигателя воды) используется для нагрева воды (теплоносителя). Для преобразования таких модулей в тригенерационные установки достаточно к системе теплоносителя подключить теплоиспользующие холодильные машины (ТХМ), чаще всего это абсорбционные бромистолитиевые (АБХМ).

Для охлаждения наддувочной ГВС (во второй низкотемпературной ступени охладителя наддувочной смеси ОНВ<sub>нт</sub>) перед ее подачей в цилиндры ГД применяются, как правило, системы 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<sub>нт</sub> снижается.

Поскольку с повышением температуры воздуха  $t_{\text{вх}}$  на входе ТК топливная эффективность ГД снижается (возрастает удельный расход топлива  $b_e$ ), то его охлаждение позволяло бы поддерживать высокую топливную экономичность ГД и при таких неблагоприятных климатических условиях эксплуатации. Для этого целесообразно использовать холод, полученный в ТХМ [3, 5].

Эффект от охлаждения воздуха на входе ТК и, следовательно, эффективность разных способов охлаждения можно оценивать по сокращению удельного расхода топлива  $b_e$  как основному показателю

топливной эффективности ГД. К сожалению, фирмы-изготовители ГД, как правило, не дают в открытых информационных источниках данных об изменении  $b_e$  в зависимости от климатических условий эксплуатации. Очевидно, что ликвидировать этот пробел можно было бы использованием соответствующих данных по  $b_e$ , получаемых в процессе мониторинга действующих установок автономного энергообеспечения на основе ГД [1, 2]. Однако обработка таких данных представляет определенные трудности из-за наложения других факторов влияния на  $b_e$ , и прежде всего температуры наружного воздуха  $t_n$  на входе в градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС, а также из-за отсутствия метода дифференцированного анализа данных по влиянию на  $b_e$  температуры воздуха  $t_{вх}$  на входе ТК ГД при разных значениях  $t_n$ .

**ЦЕЛЮЮ ИССЛЕДОВАНИЯ** является разработка метода обработки данных мониторинга топливной эффективности газового двигателя.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Разработка метода обработки данных по топливной эффективности ГД производилась с использованием данных мониторинга первой на Украине тригенерационной установки автономного электро-, тепло- и 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 в себя 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 ГД представлялись в виде массивов данных  $f = b_{ev}(t_{вх})$  по зависимости удельного объемного расхода топлива (природного газа)  $b_{ev}$  от температуры воздуха  $t_{вх}$  на входе турбокомпрессора (ТК) ГД. Целью обработки массивов данных  $f = b_{ev}(t_{вх})$  является нахождение значения величины изменения удельного объемного расхода топлива  $db_{ev}$ , приходящейся на изменение температуры воздуха  $t_{вх}$  на входе ТК ГД на 1 °С:  $db_{ev}/dt_{вх}$ .

При этом отдельные массивы данных мониторинга  $f = b_{ev}(t_{вх})$  формировались при разных, но практически неизменных температурах наружного воздуха  $t_n$  (диапазон отклонения температуры  $t_n$  менее 1 °С) на входе в градирню системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС и, соответственно, при неизменных температурах воды системы оборотного охлаждения на входе в ОНВ<sub>ит</sub>, что позволяло исследовать влияние температуры воздуха  $t_{вх}$  на входе ТК независимо от температуры охлаждающей воды наддувочной ГВС.

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

Алгоритм поэтапной реализации метода и аналитическое описание этапов приведены ниже.

Принимаем  $t_{вх} = x$  (°С);  $b_{ev} = y$  ( $10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(кВт·ч)), т. е. рассматриваем зависимость  $f = y(x)$ .

1. Граничные условия для всего множества М точек  $f = y(x)$ :

- а)  $t_{вх} < t_n$ , где  $t_n$  – температура наружного воздуха;
- б)  $y_{lim\_min} \leq y \leq y_{lim\_max}$ , где  $y_{lim\_min} = 240$ ,  $y_{lim\_max} = 270$ .

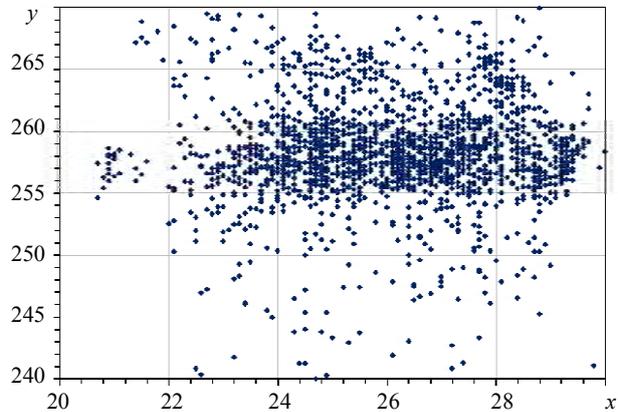


Рис. 1. Множество М точек  $f = y(x)$  при условии  $t_{вх} < t_n$  и  $240 \leq y \leq 270$

2. Находим из множества М (рис. 1):

$M1(20 \leq t_n \leq 21)$ ,  $M2(21 \leq t_n \leq 22)$ ,  $Mn(28 \leq t_n \leq 29)$ .

3. Находим для каждого  $Mn$  наименьшее и наибольшее значения  $x$  (т. е.  $x_{min} \leq x$  и  $x_{max} \geq x$ ) и  $y$  (т. е.  $y_{min} \leq y$  и  $y_{max} \geq y$ ).

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

а) разбиваем  $Mn$  на подмножества  $Mn1, Mn2, \dots, Mn m$ , где  $m = Z + 1$ ,  $Z$  – наибольшее целое от  $(y_{max} - y_{min})/h$ ,  $1 \leq h \leq (270 - 240)$ ;

б) задаем  $0,3 \leq k \leq 1,0$  с шагом 0,1 для каждого множества;

в) находим для каждого подмножества  $Mnm$  отношение  $n/N$ , где  $n$  – количество точек в подмножестве;  $N$  – количество точек в множестве, удовлетворяющих условию  $y \leq kx + b$ , где  $x$  – заданное  $x$  от заданного  $y$ ,  $b = y_{min} - kx_{min} + h$  (рис. 2).

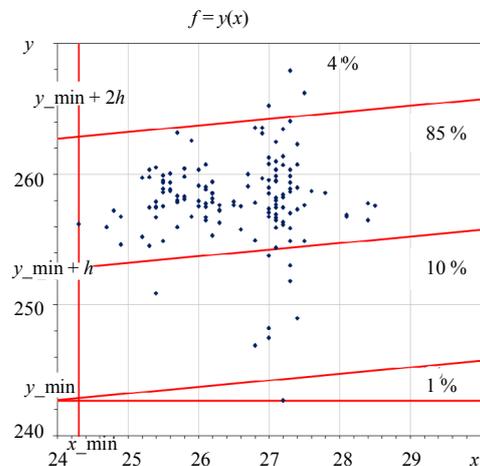
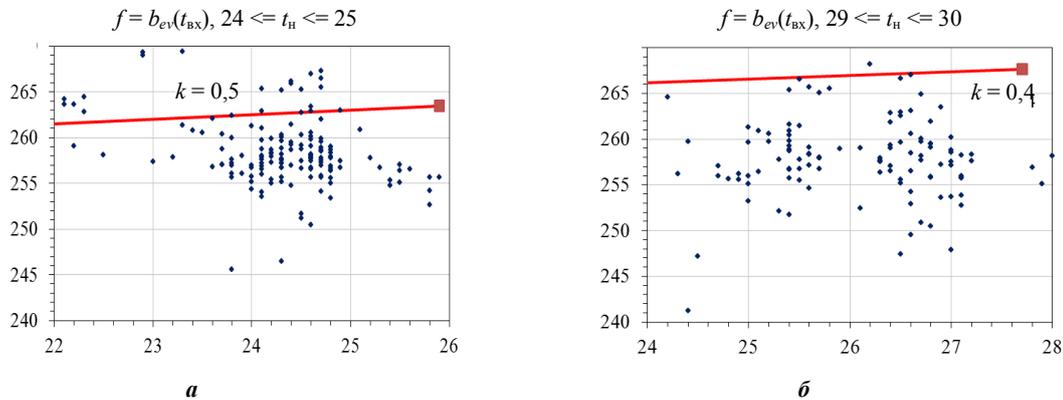


Рис. 2. К разбиению множества  $Mn$  на подмножества  $Mnm$

5. Находим значение  $k$  для наибольшей величины отношения  $n/N$  из всех  $M_n$ , т. е. при максимальной выборке.

На рис. 3 представлены результаты обработки данных для массивов  $f = b_{ev}(t_{вх})$  в виде точечных диаграмм. При этом зависимость удельного объемного

расхода топлива  $b_{ev}$  ГД от температуры воздуха  $t_{вх}$  на входе ТК  $f = b_{ev}(t_{вх})$  определялась пошагово для каждого интервала значений  $t_{н}$ , равного 1 °С, что являлось основанием для допущения о постоянстве температуры наружного воздуха  $t_{н}$  для каждого множества  $M_n$ .



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

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

Как видно из приведенных в табл. 1 результатов обработки данных мониторинга по влиянию температуры воздуха на входе ГД  $t_{вх}$  на удельный объемный расход топлива (природного газа)  $b_{ev}$ , значения величины изменения удельного объемного расхода топлива, приходящейся на изменение температуры воздуха на входе ГД на 1 °С, находятся в диапазоне значений  $db_{ev}/dt_{вх} = 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$  при всех возможных температурах наружного воздуха  $t_{н}$  на входе градирни системы оборотного охлаждения наддувочной ГВС, исходя из чего можно оценивать эффективность применения разных способов охлаждения воздуха на входе ГД.

### ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод обработки данных мониторинга ГД позволяет учитывать влияние температуры воздуха на входе ГД на удельный расход топлива при разных температурах наружного воздуха.

**Таблица 1**

$t_{н}, \text{°С}$	$\frac{db_{ev}}{dt_{вх}} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{°С})$	$(n/N)_{max}, \%$
23...24	0,6	79,86
24...25	0,5	77,27
25...26	0,3	88,61
26...27	0,7	83,56
27...28	0,3	86,76
28...29	0,4	85,12
29...30	0,4	85,12
30...31	0,5	91,43
31...32	0,5	91,58
32...33	0,3	79,89
33...34	0,5	79,89
34...35	0,3	77,24
35...36	0,4	87,93

2. Приведен алгоритм поэтапной реализации метода.

3. Полученные значения изменения удельного расхода топлива, приходящегося на изменение температуры на 1 °С для ГД JMS 420, дают возможность оценивать эффективность применения разных способов охлаждения воздуха на входе ГД.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **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.
- [2] **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.
- [3] Тригенераційні технології для стаціонарної та суднової енергетики [Текст] / А. М. Радченко, Р. С. Рижков, Р. М. Радченко, Д. В. Коновалов // *Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації: Матеріали II міжнар. наук.-техн. конф.* – Миколаїв : НУК, 2013. – Ч. 1. – С. 264–270.
- [4] 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.
- [5] **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.

---

© А. М. Радченко, А. В. Коновалов

Надійшла до редколегії 03.09.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. С. І. Сербин