



УКРАЇНА

(19) UA (11) 29186 (13) U
(51) МПК (2006)
G01M 15/00
G01M 15/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВНОГО ГАЗУ НА КОЖНОМУ ГАЗОТУРБІННОМУ ДВИГУНІ, ЩО ПРАЦЮЄ В СКЛАДІ ГРУПИ НА ГАЗОКОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ

1

2

(21) u200708119

(22) 17.07.2007

(24) 10.01.2008

(72) САПРИКІН СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA,
ФЕСЕНКО ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ, UA, ВАКУЛЕНКО
ГЕОРГІЙ ЄГОРОВИЧ, UA, МІЛАШЕНКО ПЕТРО
АНДРІЙОВИЧ, UA, ГОРОХОВСЬКИЙ СЕМЕН
ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ЖАРІКОВ ВІТАЛІЙ
МИКОЛАЙОВИЧ, UA, ПРАСКО ОЛЕКСАНДР
ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA

(73) ДОЧІРНЯ КОМПАНІЯ
"УКРГАЗВИДОБУВАННЯ" НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКЦІОНЕРНОЇ КОМПАНІЇ "НАФТОГАЗ УКРАЇНИ",
UA

(56)

(57) Спосіб визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні, що працює в складі групи на газокомпресорній станції, що передбачає використання паспортної зовнішньої характеристики показників роботи газотурбінного двигуна, який відрізняється тим, що в експлуатаційному режимі, використовуючи штатний загальностанційний витратомір, вимірюють сумарну для всіх працюючих газотурбінних двигунів витрату паливного газу, вимірюють і розраховують на кожному працюючому газотурбінному двигуні приведену частоту обертів турбіни високого тиску, вимірюють частоту обертів силової турбіни, за приведеною частотою обертів турбіни високого тиску та обертами силової турбіни з зовнішньої характеристики газотурбінного двигуна визначають вихідне значення потужності кожного газотурбінного двигуна, вимірюють температуру повітря на вході газотурбінного двигуна, температуру робочих газів на вході і на виході силової турбіни, за відомим складом паливного

газу визначають його теплотворну здатність і кількість повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу, визначають коефіцієнт надлишку повітря в газах силової турбіни і ентальпії газів на її вході і виході, визначають ефективний ККД газотурбінного двигуна, а за його значенням визначають витрату паливного газу на кожному газотурбінному двигуні за формулою:

$$G_{nzi} = \frac{G_{nz}^{kc} (N_e^{xap} / \eta_e)_i}{\sum_{i=1}^n (N_e^{xap} / \eta_e)_i},$$

де: G_{nzi} - масова витрата паливного газу в кожному (i-му) газотурбінному двигуні, кг/с;

G_{nz}^{kc} - сумарна масова витрата паливного газу газотурбінними двигунами, що працюють групою на компресорній станції, кг/с;

$(N_e^{xap} / \eta_e)_i$ - потужність витрати тепла в кожному газотурбінному двигуні для навантаження, що дорівнює потужності з його зовнішньої характеристики, і для його фактичного технічного стану, що відповідає визначеному ефективному ККД газотурбінного двигуна, кВт;

N_e^{xap} - вихідне значення потужності газотурбінного двигуна, що отримане з його зовнішньої характеристики, кВт;

η_e - ефективний ККД газотурбінного двигуна;

n - кількість газотурбінних двигунів, що працюють групою на компресорній станції.

Корисна модель належить до методів випробувань та діагностування машин і може бути використана в газотранспортній галузі для визначення витрати паливного газу в газотурбінних двигунах (ГТД), що працюють

групою на газокомпресорній станції і використовуються як приводи газоперекачувальних агрегатів.

Відомий спосіб визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні, що

UA
(19)
29186
(11)
U
(13)

працює в складі групи на газокompresорній станції, який передбачає використання витратомірного пристрою на кожному газотурбінному двигуні [Методика расчета количества газа, измеряемого диафрагменными расходомерами. - М.: Недра, 1978, - С. 4-6].

Недоліком відомого способу є складність його реалізації, оскільки встановлення і обслуговування витратомірних пристроїв на кожному ГТД є надто складною і трудомісткою операцією, яка вимагає зупинки обладнання.

Найбільш близьким до корисної моделі, що заявляється, є спосіб визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні, що працює в складі групи на газокompresорній станції, який передбачає визначення показників роботи ГТД за їх паспортними зовнішніми характеристиками. [Руководство по технической эксплуатации двигателя Д-336-2Т, ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко, 2000, с.10, Дроссельная характеристика двигателя $G_{\text{нгр}} = f(\pi_{\text{кз}})$]. Зазначена характеристика дозволяє визначати витрату паливного газу в залежності від сумарного ступеня підвищення тиску повітря у компресорах турбін.

Недоліком відомого способу є його низька точність, оскільки він не враховує фактичний технічний стан проточної частини кожного конкретного ГТД, що не дозволяє використовувати цей спосіб під час діагностичних випробувань в експлуатаційних умовах.

Задачею корисної моделі є спрощення процесу визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні, що працює в складі групи на газокompresорній станції, та підвищення точності її визначення.

Для вирішення поставленої задачі у відомому способі визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні, що працює в складі групи на газокompresорній станції, який передбачає використання паспортної зовнішньої характеристики показників роботи газотурбінного двигуна, згідно з заявленим технічним рішенням, в експлуатаційному режимі використовуючи штатний загально станційний витратомір, вимірюють сумарну для всіх працюючих газотурбінних двигунів витрату паливного газу, вимірюють і розраховують на кожному працюючому газотурбінному двигуні приведену частоту обертів турбіни високого тиску, вимірюють частоту обертів силової турбіни, за приведеною частотою обертів турбіни високого тиску та обертами силової турбіни з паспортної зовнішньої характеристики газотурбінного двигуна визначають вихідне значення потужності кожного газотурбінного двигуна, вимірюють температуру повітря на вході газотурбінного двигуна, температуру робочих газів на вході і на виході силової турбіни, за відомим складом паливного газу визначають його теплотворну здатність і кількість повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу, визначають коефіцієнт надлишку повітря в газах силової турбіни і ентальпії газів на її вході і виході, визначають ефективний ККД газотурбінного

двигуна, та за його значенням визначають витрату паливного газу на кожному газотурбінному двигуні за формулою:

$$G_{\text{нгр}i} = \frac{G_{\text{нгр}}^{\text{кз}} (N_e^{\text{хар}} / \eta_e)_i}{\sum_{i=1}^n (N_e^{\text{хар}} / \eta_e)_i}$$

де: $G_{\text{нгр}i}$ - масова витрата паливного газу в кожному (i-му) газотурбінному двигуні, кг/с;

$G_{\text{нгр}}^{\text{кз}}$ - сумарна масова витрата паливного газу газотурбінними двигунами, що працюють групою на компресорній станції, кг/с;

$(N_e^{\text{хар}} / \eta_e)_i$ - потужність витрати тепла в кожному газотурбінному двигуні для навантаження, що дорівнює потужності з його зовнішньої характеристики, і для його фактичного технічного стану, що відповідає визначеному ефективному ККД газотурбінного двигуна, кВт;

$N_e^{\text{хар}}$ - вихідне значення потужності газотурбінного двигуна, що отримане з його зовнішньої характеристики, кВт;

η_e - ефективний ККД газотурбінного двигуна;

n - кількість газотурбінних двигунів, що працюють групою на компресорній станції.

Технічним результатом заявленої корисної моделі є спрощення процесу визначення витрати паливного газу на кожному ГТД, що працює в складі групи на газокompresорній станції. Спосіб не потребує трудомістких операцій і може бути використаний під час одночасного діагностування декількох ГТД без застосування витратомірних пристроїв для паливного газу на кожному ГТД окремо, а використовуючи лише загальностанційний такий пристрій. Підвищення точності способу у порівнянні з найближчим аналогом пов'язане з застосуванням уточненого значення коефіцієнта надлишку повітря в розрахунках ККД, який використовується для врахування технічного стану кожного ГТД при проведенні розрахунків. Крім цього, спосіб дозволяє спростити і уточнити визначення інших діагностичних показників, які залежать від витрати паливного газу, наприклад, визначення фактичної і наявної потужності ГТД, витрати робочих газів у ньому, тощо.

На Фіг.1 показана принципова схема циклу і параметрів, що вимірюються в експлуатаційних умовах під час визначення витрати паливного газу в ГТД. Позиціями позначені: 1 - вхідний пристрій; 2 - компресор низького тиску; 3 - компресор високого тиску; 4 - камера згоряння; 5 - турбіна високого тиску; 6 - турбіна низького тиску; 7 - силова турбіна; 8 - вихлопна шахта; 9 - компресор природного газу, 10 - загально-станційний вимірювальний пристрій витрати паливного газу, 11 - загально-станційний колектор паливного газу. Параметри, що вимірюються: t_1 - температура повітря на вході в ГТД; t_4 - температура газів на вході в силову турбіну; t_5 - температура газів на виході силової турбіни.

На Фіг.2 наведений графік, що відображає

зовнішню характеристику двигуна ДЗ36-2Т.

Розглянемо принцип роботи ГТД (див. Фіг.1).

Повітря з вхідного пристрою 1 подають у компресори 2, 3, де воно стискається і далі подається в камеру згоряння 4, в якій воно нагрівається, змішуючись з продуктами згоряння паливного газу. Паливний газ подають в камеру згоряння 4 із загального колектора 11, на якому встановлений загально станційний вимірювальний пристрій 10, що вимірює сумарну витрату паливного газу для групи працюючих ГТД на компресорній станції. Нагріта суміш повітря з продуктами згоряння, розширюючись, приводить до обертання турбіну високого тиску 5 та турбіну низького тиску 6, які механічно сполучені з компресорами 2, 3. Корисна потужність ГТД створюється у силовій турбіні 7, яка обертає компресор 9. Вихлопні гази відходять через шахту 8. Компресор 9 в кожного ГТД виконує основну функцію компресорної станції - перекачування природного газу у магістральних газопроводах.

Запропонований спосіб полягає у тому, що в експлуатаційному режимі, використовуючи штатний загально станційний витратомір 10, вимірюють сумарну витрату для групи працюючих на компресорній станції газоперекачувальних

агрегатів масову витрату паливного газу за 1с $G_{\text{нр}}^{\text{кв}}$ (кг/с), електронним тахометром вимірюють на кожному працюючому ГТД частоту обертів $n_{\text{мвм}}$ та $n_{\text{см}}$ (об/хв) турбіни високого тиску 5 і силовій турбіні 7, розраховують приведені значення частоти $n_{\text{мвм}}$ пр турбіни високого тиску 5 і за отриманим значенням $n_{\text{мвм}}$ і $n_{\text{см}}$ з зовнішньої характеристики ГТД знаходять вихідне значення потужності $N_e^{\text{хв}} = f(n_{\text{мвм пр}}, n_{\text{см}})$, (кВт) для кожного працюючого ГТД.

Термопарами вимірюють температури: повітря t_1 (°C) - на вході газотурбінного двигуна, робочих газів t_4 (°C) - на вході силовій турбіні 7 і робочих газів t_5 (°C) - на її виході. За відомим з сертифікату складом паливного газу визначають його теплотворну здатність $H_{\text{нр}}$ (кДж/кг) і кількість повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу L_0 (кг/кг).

За виміряною температурою t_1 з теплофізичних характеристик визначають ентальпію повітря на вході ГТД $i_1=f(t_1)$ (кДж/кг), з теплофізичних характеристик визначають ентальпію повітря $i_{4(n)}=f(t_4)$ (кДж/кг) для температури, що дорівнює температурі робочих газів t_4 на вході силовій турбіні 7, за отриманими значеннями ентальпій повітря i_1 та $i_{4(n)}$, теплотворної здатності паливного газу $H_{\text{нр}}$, кількості повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу L_0 та відомим з характеристик ГТД коефіцієнтом повноти згоряння $\eta_{\text{кз}}$ паливного газу визначають розрахункове значення коефіцієнта надлишку повітря $\alpha_{\text{розр}}$ в газах силовій турбіні 7, використовуючи залежність:

$$\alpha_{\text{розр}} = \frac{H_{\text{нр}} \eta_{\text{кз}} - i_{4(n)}}{(i_{4(n)} - i_1) L_0} \quad (1)$$

де:

$H_{\text{нр}}$ - відома за складом теплотворна здатність паливного газу;

$\eta_{\text{кз}}$ - відоме з характеристик ГТД значення коефіцієнта повноти згоряння паливного газу;

$i_{4(n)}$ - ентальпія повітря для температури, що дорівнює температурі робочих газів t_4 на вході в силову турбіну;

i_1 - ентальпія повітря на вході в ГТД;

L_0 - кількість повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу.

За отриманим значенням $\alpha_{\text{розр}}$ та відомою температурою робочих газів t_4 на вході силовій турбіні 7 визначають з теплофізичних характеристик фактичну ентальпію робочих газів $i_4=f(\alpha, t_4)$ (кДж/кг) на вході силовій турбіні 7. За отриманою ентальпією i_4 уточнюють значення коефіцієнта надлишку повітря в газах α , коли замість ентальпії повітря $i_{4(n)}$, використовують i_4 , тобто:

$$\alpha = \frac{H_{\text{нр}} \eta_{\text{кз}} - i_4}{(i_4 - i_1) L_0}$$

За отриманим фактичним значенням коефіцієнта надлишку повітря α і виміряною температурою t_5 на виході силовій турбіні 7 з теплофізичних характеристик визначають ентальпію робочих газів $i_5=f(\alpha, t_5)$ (кДж/кг) на виході силовій турбіні 7.

Розраховують ефективний ККД η_e для кожного працюючого ГТД за формулою:

$$\eta_e = \frac{(i_4 - i_5) (\alpha L_0 + 1) \eta_{\text{мех}}^{\text{см}}}{H_{\text{нр}}}$$

де $\eta_{\text{мех}}^{\text{см}}$ - відоме з характеристик ГТД значення коефіцієнта механічних втрат енергії у силовій турбіні.

За виміряним значенням сумарної для всіх працюючих ГТД витрати паливного газу, отриманими з зовнішніх характеристик ГТД вихідними значеннями потужностей, та розрахованими ефективними ККД ГТД визначають витрату паливного газу за 1с на кожному працюючому ГТД за формулою:

$$G_{\text{нр}i} = \frac{G_{\text{нр}}^{\text{кв}} (N_e^{\text{хв}} / \eta_e)_i}{\sum_{i=1}^n (N_e^{\text{хв}} / \eta_e)_i}$$

де:

$G_{\text{нр}i}$ - масова витрата паливного газу в кожному (i-му) ГТД, кг/с;

$G_{\text{нр}}^{\text{кв}}$ - сумарна масова витрата паливного газу ГТД, які працюють групою на компресорній станції, кг/с;

$(N_e^{\text{хв}} / \eta_e)_i$ - потужність витрати тепла в кожному працюючому ГТД для навантаження, що дорівнює потужності з його зовнішньої характеристики, і для його фактичного технічного стану, що відповідає визначеному ефективному ККД ГТД, кВт;

$N_e^{\text{хв}}$ - вихідне значення потужності ГТД, що

отримане з його паспортної зовнішньої характеристики, кВт;

η_e - ефективний ККД ГТД;

n - кількість ГТД, що працюють групою на компресорній станції.

Приклад реалізації способу.

У прикладі наведені результати випробувань і розрахунків витрати паливного газу на газоперекачувальних агрегатах з ГТД моделі Д-336-2Т на ДКС Хрестище, які працюють групою у кількості 6 агрегатів. Зовнішні умови випробувань: атм. тиск $p_a = 740$ мм. рт. ст., температура зовнішнього повітря $t_{z.n.} = 35,2-36,3^\circ\text{C}$. У процесі випробувань агрегатів була виміряна сумарна витрата паливного газу за 1с для усіх працюючих

агрегатів $G_{\text{пр}}^{\text{кк}} = 2,2266 \text{ кг/с}$ і визначена з сертифікату за відомим його складом теплотворна здатність $H_{\text{пр}} = 48052 \text{ кДж/кг}$ та кількість повітря, необхідного для згоряння одиниці маси паливного газу $L_0 = 17,1 \text{ кг/кг}$.

Згідно з запропонованим способом в експлуатаційному режимі були виміряні температури за штатними термопарами на кожному працюючому агрегаті:

- температура повітря на вході в ГТД - $t_1^\circ\text{C}$;
- температура газів на вході силової турбіни - $t_4^\circ\text{C}$;
- температура газів на виході силової турбіни - $t_5^\circ\text{C}$.

Використовуючи електронні тахометри на кожному працюючому ГТД були виміряні частоти обертів турбіни високого тиску і силової турбіни, об./хв., і розраховані приведені значення $n_{\text{твт, пр.}}$.

$$n_{\text{твт, пр.}} = n_{\text{твт}} \sqrt{\frac{288}{t_1 + 273}}$$

З паспортної зовнішньої характеристики ГТД (див. Фіг.2), наведеній у технічній документації [Руководство по технической эксплуатации двигателя Д-336-2Т ЗМКБ "Прогресс" им. А.Г. Ивченко, 2000] були знайдені вихідні значення потужностей для кожного працюючого ГТД, як

функція $N_e^{\text{хар}} = f(n_{\text{твт}}, n_{\text{см}})$, кВт.

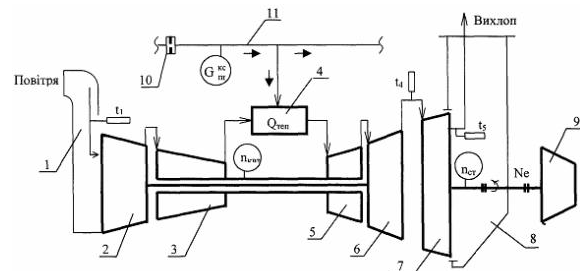
За теплофізичними характеристиками повітря була визначена його ентальпія i_1 і $i_{4(n)}$. За наведеними вище залежностями були отримані розрахункові значення коефіцієнтів надлишку повітря в газах $\alpha_{\text{розн}}$ та фактичні ентальпії i_4 для кожного працюючого ГТД. За уточненими значеннями α та виміряними значеннями температури t_5 з теплофізичних характеристик була визначена ентальпія цих газів $i_5 = f(t_5, \alpha)$ на виході силової турбіни для кожного працюючого ГТД.

Були розраховані ефективні ККД ГТД, а потім за формулою (4) була розрахована витрата паливного газу $G_{\text{пр}i}$, для кожного ГТД.

Результати випробувань та розрахунків параметрів і показників, проведених згідно з запропонованою корисною моделлю для визначення витрати паливного газу на кожному газотурбінному двигуні наведені у таблиці.

Результати випробувань і розрахунок витрати паливного газу та інших необхідних для цього параметрів

Параметри	№ агрегатів			
	1	2	3	4
$t_1, ^\circ\text{C}$	35,4	35,3	35,4	35,4
$t_4, ^\circ\text{C}$	645	681,5	667	667
$t_5, ^\circ\text{C}$	491,7	522,1	491,3	491,3
$n_{\text{твт}}, \text{об./хв.}$	13300	13288	13500	13500
$n_{\text{твт пр.}}, \text{об./хв.}$	12870	12840	13002	13002
$n_{\text{см}}, \text{об./хв.}$	6380	6600	6650	6650
$i_1, \text{кДж/кг}$	35,51	35,41	35,51	35,51
$i_{4(n)}, \text{кДж/кг}$	680,28	721,2	704,8	704,8
$\alpha_{\text{розн}}$	4,253	3,995	4,095	4,095
α	4,145	3,888	3,986	3,986
$i_4, \text{кДж/кг}$	696,84	739,83	722,92	722,92
$i_5, \text{кДж/кг}$	521,81	556,84	522,52	522,52
η_e	0,2592	0,254	0,2855	0,2855
$N_e^{\text{хар}}, \text{кВт}$	4290	4240	4720	4720
$G_{\text{пр}}^{\text{кк}}, \text{кг/с}$	2,2266			
$G_{\text{пр}i}, \text{кг/с}$	0,3806	0,3747	0,3802	0,3802



Фіг. 1

