

Уфимский государственный авиационный технический университет

С использованием системы имитационного моделирования рабочих процессов ГТД и ЭУ DVIGwT выполнено расчетное исследование влияния влагосодержания атмосферного воздуха на основные параметры двигателя на примере P11Ф-300. Получены уточненные формулы приведения к стандартным атмосферным условиям с учетом изменения физических свойств рабочего тела.

В процессе проектирования ГТД расчет характеристик осуществляется при САУ ($T_0 = 288,15\text{K}$; $p_0 = 101,325\text{кПа}$; $d = 0$). Изменение влажности воздуха, входящего в двигатель, сказывается на изменении физических свойств рабочего тела (удельной теплоемкости c_p , показателя адиабаты k и газовой постоянной R) и проявляется как на термодинамическом цикле, так и на совместной работе элементов ГТД. Характеристики элементов ГТД обычно приводятся для сухого воздуха или продуктов сгорания в сухом воздухе. В случае влажного атмосферного воздуха, при расчете характеристик ГТД, для подобных режимов лопаточных машин, в которых обеспечивается геометрическое и кинематическое подобие и тем самым подобие физических процессов, изменение физических свойств рабочего тела учитывается введением поправочных коэффициентов к критериям подобия для компрессоров и турбин [1]. Например, для приведенной частоты вращения

$$n_{\text{пр вл}} = n_{\text{пр сух}} \sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k+1} R\right)_d}{\left(\frac{k}{k+1} R\right)}} = n_{\text{пр сух}} \bar{n}_d, \quad (1)$$

для приведенного расхода воздуха или пропускной способности турбины

$$G_{\text{пр вл}} = G_{\text{пр сух}} \sqrt{\frac{\left[R \left[k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]_d}{R_d \left[k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]}} = G_{\text{пр сух}} \bar{G}_d \cdot (2)$$

Влияние атмосферных условий на параметры ГТД достаточно подробно

исследовано в работах [2 – 5]. Приведение параметров ГТД, полученных при любых атмосферных условиях, к стандартным атмосферным условиям ($T_0 = 288,15\text{K}$; $p_0 = 101,325\text{кПа}$; $d = 0$) производится по формулам приведения при отсутствии конденсации влаги во входном устройстве:

тяга двигателя

$$P_{\text{пр}} = P \frac{101,325}{p_0} (1 + 0,007d), \quad (3)$$

расход топлива

$$G_{\text{т пр}} = G_{\text{т}} \frac{101,325}{p_0} \sqrt{\frac{288,15}{T_0}} (1 - 0,6d), \quad (4)$$

расход воздуха

$$G_{\text{в пр}} = G_{\text{в}} \frac{101,325}{p_0} \sqrt{\frac{288,15}{T_0}} (1 + 0,305d). \quad (5)$$

В методиках приведения параметров серийных двигателей к стандартным атмосферным условиям приведение параметров осуществляется, например, к условию при $d = 7$ г пара/кг сух. возд. (6) – (8), или вообще не учитывается влагосодержание воздуха.

$$P_{\text{пр (т и d)}} = P_{\text{пр}} (1 + 0,12 \cdot 10^{-2} (d - 7)), \quad (6)$$

$$C_{R \text{ пр (т и d)}} = C_{R \text{ пр}} (1 - 0,55 \cdot 10^{-3} (d - 7)), \quad (7)$$

$$G_{\text{в пр (т и d)}} = G_{\text{в пр}} (1 + 0,4 \cdot 10^{-3} (d - 7)). \quad (8)$$

В этом случае нет согласования результатов расчета характеристик двигателя и экспериментальных данных, обработанных по данным методикам.

С использованием системы имитационного моделирования рабочих процессов ГТД и ЭУ DVIGwT [6] выполнено расчетное исследование влияния влагосодержания атмосферного воздуха на основные параметры двигателя на примере P11Ф-300 на режиме «М» при $T_0 = 288,15\text{K}$; $p_0 = 101,325\text{кПа}$ (без учета и с учетом

влияния изменения физических свойств рабочего тела на характеристики узлов). Значения влажных параметров: тяги, расхода воздуха и удельного расхода топлива, рассчитанных по модели (рис. 1) в системе DVIGwT и по формулам (3) – (5) и (6) – (8) в зависимости от относительной влажности атмосферного воздуха φ приведены на рис. 2.

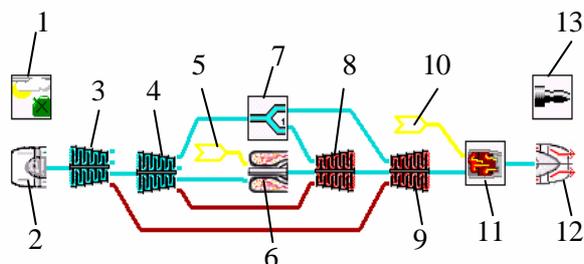


Рис. 1. Структурная схема модели двигателя P11Ф-300

- 1 – начальные условия; 2 – ВУ; 3 – КНД;
- 4 – КВД; 5 – вход топлива в КС; 6 – КС;
- 7 – отбор воздуха на охл. ТНД; 8 – ТВД;
- 9 – ТНД; 10 – вход топлива в ФК; 11 – ФК;
- 12 – РС; 13 – общие результаты.

Показано, что в случае учета влияния влагосодержания атмосферного воздуха только на изменение физических свойств рабочего тела, например, при $\varphi = 66\%$ по сравнению с параметрами для сухого воздуха возрастают: тяга двигателя на 0,76%, удельный расход топлива на 0,60% и приведенный расход воздуха на входе в двигатель на 0,01%, что не соответствует качественному влиянию влагосодержания на параметры двигателя.

В случае учета влияния изменения физических свойств рабочего тела на характеристики компрессоров и турбин для $\varphi = 66\%$ тяга двигателя снижается на 0,44%, удельный расход топлива повышается на 0,34%, приведенный расход воздуха на входе в двигатель снижается на 0,41%.

В сравнении с данными для $\varphi = 66\%$, рассчитанными по формулам приведения к стандартным атмосферным условиям, в случае учета и неучета влияния изменения физических свойств рабочего тела на характеристики компрессоров и турбин погрешность определения составляет: по тяге 0,4% и 1,61% соответственно; по

удельному расходу топлива – 0,05% и 0,21%; по приведенному расходу воздуха – 0,13% и 0,29%.

Полученные результаты показывают, что расчет параметров по обычным формулам приведения приводит к

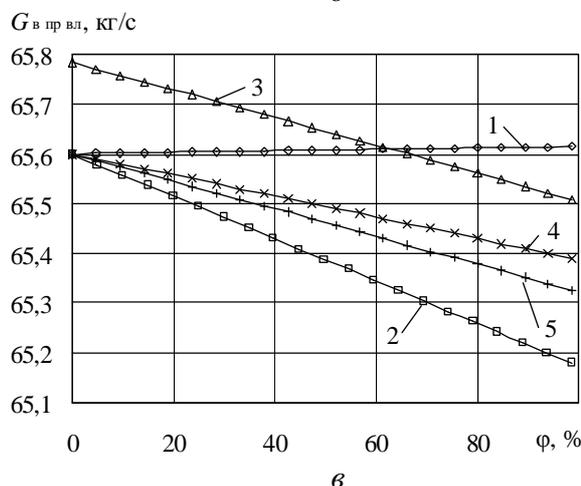
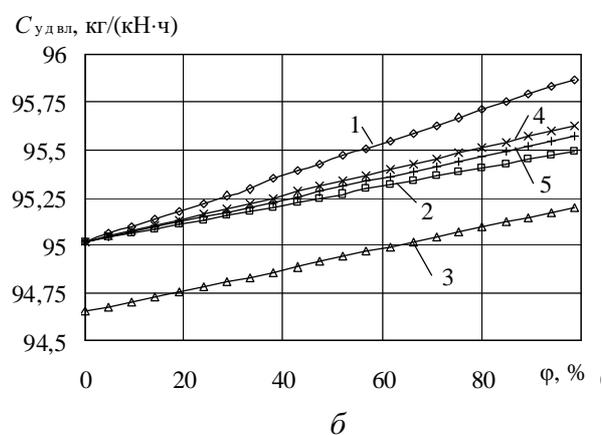
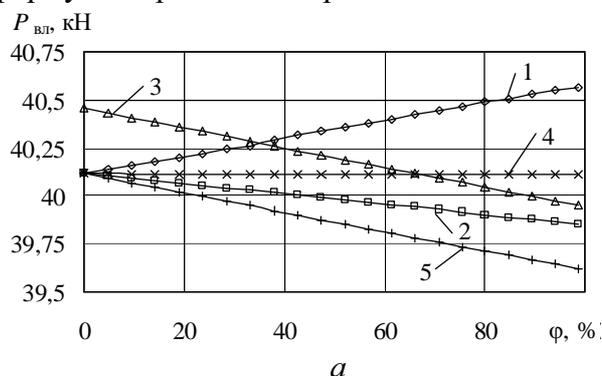


Рис. 2. Зависимости влажных параметров от φ , рассчитанных:

- 1 – по модели в системе DVIGwT без учета поправок; 2 – с учетом поправок на $n_{пр}$ и $G_{в_пр}$; 3 – по формулам (6) – (8); 4 – по формулам (3) – (5); 5 – с по формулам (6) – (8), с приведением к $\varphi = 0\%$

ощутимым погрешностям и может затруднить отладку двигателя.

Проведенные оценки показывают удовлетворительную точность расчетного определения основных параметров ГТД в системе DVIGwT с учетом влагосодержания воздуха.

На базе расчетных исследований для двигателя P11Ф-300 получены уточненные формулы приведения к стандартным атмосферным условиям с учетом изменения физических свойств рабочего тела.

Список литературы

1. Дорофеев В.М., Маслов В.Г., Первышин Н.В. и др. Термогазодинамический расчет газотурбинных силовых установок. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
2. Арьков Ю.Г. Приведение параметров ГТД к стандартным атмосферным условиям// Испытания авиационных двигателей. Межвузовский сборник. – Уфа: изд. УАИ, № 1. 1972. С. 114 – 126.
3. Боровик В.О., Ахмедзянов А.М., Арьков Ю.Г., Алаторцев В.П. Методы обработки результатов испытаний серийных ГТД. Учебное пособие. – Уфа: изд. УАИ, 1982. – 124 с.
4. Литвинов Ю.А., Боровик В.О. Характеристики и эксплуатационные свойства авиационных турбореактивных двигателей. – М.: Машиностроение, 1979. – 285 с.
5. Солохин Э.Л. Испытания авиационных ВРД. – М.: Машиностроение, 1975. – 356 с.
6. Горюнов И.М., Курунов Ю.С. Система моделирования тепловых схем энергетических установок // Докл. междун. научн.-техн. конф. посвященной памяти генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д. Кузнецова, Ч. 3. Самара: Вестник СГАУ, 2002. № 5. С. 27 – 31.

EVALUATION OF INFLUENCE MOISTURE CONTENT IN AN AIR ON GTE PARAMETERS

© 2006 I.M. Gorjunov

USATU

The outcomes of computational research of influence moisture content in an air on parameters of the engine are adduced. The obtained outcomes show necessity of the use in mathematical models GTE of influence of change of physical properties of a working skew field to the characteristics of units.