

УДК 629.124:

А.А. ТАРАСЕНКО

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

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИН С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Предлагается алгоритм построения обобщенной характеристики турбины на основе использования газодинамических функций и общих соотношений. В качестве исходных данных используются следующие параметры: степень понижения давления на номинальном режиме; адиабатический КПД турбины на номинальном режиме; приведенная скорость вращения турбины на номинальном режиме. Характеристика получена в системе координат, степень понижения давления – относительная приведенная скорость вращения турбины и представлена в виде линий постоянной относительной плотности тока на входе.

Ключевые слова: газодинамические функции, характеристика, расход, коэффициент полезного действия, степень понижения давления, турбина.

Введение

При расчетах параметров газотурбинных двигателей на частичных режимах важно иметь характеристику турбины во всем диапазоне рабочих режимов. Самый лучший вариант – это экспериментально полученная характеристика. Однако такие эксперименты трудоемки и получить экспериментальные данные во всем диапазоне затруднительно.

Можно использовать обобщенные характеристики, приведенные в [1]. Применение таких характеристик при расчетах с помощью ЭВМ затруднительно и не ясно как использовать экспериментальные данные, имеющиеся для части диапазона, например, для режимов близких к номинальному.

Часто используют так называемые однолинейные характеристики турбины [2]. Их использование возможно, если турбина работает на компрессор или гребной винт. В общем случае, а также при расчетах динамики использование однолинейных характеристик требует обоснования.

1. Формулирование проблемы

Требуется разработать алгоритм, использующий минимальное количество исходных данных, который позволит получить характеристику турбины. Важно минимальное количество исходных данных, при этом трудоемкость расчетов во внимание не принимается, т.к. их выполняет ЭВМ.

Разрабатываемый алгоритм не заменяет подробного «честного» расчета характеристики турбины, а предлагает более гибкую и приспособленную для использования ЭВМ обобщенную характеристику.

В работе [1] приведена методика, позволяющая получить обобщенную характеристику турбины. Эта методика опирается на экспериментально полученные общие зависимости и с ее помощью трудно учесть свойства конкретной турбины, особенно вне диапазона эксперимента.

Цель работы – получить характеристику турбины по следующим исходным данным:

- степень понижения давления на номинальном режиме;
- адиабатический КПД турбины на номинальном режиме.

1.1 Общие соотношения

В работе [1] подчеркнуто, что параметр расхода через турбину $g_{in} = \frac{G_{in} \sqrt{T_{in}^*}}{P_{in}^*}$ определяется от-

ношением $x = \frac{\pi - 1}{\pi_{кр} - 1}$, где $\pi_{кр}$ – критическая степень понижения давления для данной турбины.

Если рассмотреть турбину как элемент типа гидравлическое сопротивление, то по аналогии с [3], предположив, что $\Delta p = \xi \frac{\rho V^2}{2}$, можно получить

$$1 - \frac{1}{\pi} = \xi k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \frac{q^2}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где $\pi = \frac{P_{in}^*}{P_{ou}^*}$ – степень понижения давления в тур-

бине по полным параметрам – отношение полного

давления на входе к полному давлению на выходе;

$$\Delta p = P_{in}^* - P_{ou}^* \text{ – перепад давления на турбине;}$$

ξ – коэффициент пропорциональности;

k – показатель адиабаты;

q – газодинамическая функция относительной плотности тока;

$$\bar{\varepsilon} = \left(\frac{\varepsilon(\lambda)}{\varepsilon(1)} \right) \text{ – отношение относительной плотности к относительной плотности при } \lambda = 1 .$$

Для случая критического истечения выражение (1) можно переписать в следующем виде

$$1 - \frac{1}{\pi_{кр}} = \xi k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} . \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), запишем

$$1 - \frac{1}{\pi} = \left(1 - \frac{1}{\pi_{кр}} \right) \frac{q^2}{\bar{\varepsilon}} . \quad (3)$$

Сравнительные расчеты по формуле (3) с экспериментальными данными [1] показаны на рис. 1.

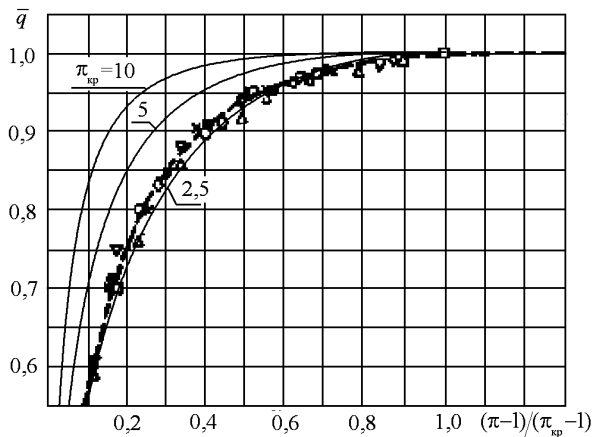


Рис. 1. Сравнение экспериментальных данных [1] с расчетом для $\pi_{кр} = 2,5; 5; 10$

Из рис. 1 видно хорошее совпадение результатов расчета с экспериментом для $\pi_{кр} = 2,5$. Для больших $\pi_{кр}$ совпадение не столь удовлетворительное.

Следует отметить, что согласно [1] для двухступенчатой турбины $\pi_{кр} = 2,5$.

Можно сказать, что результат, представленный на рис. 1 справедлив для двухступенчатых турбин или предложить другую логическую схему турбины.

При получении формулы (3) считалось, что элемент типа сопротивление находится на входе турбины. Будем далее полагать, что сопротивление находится на выходе из турбины и входные параметры для него

$$g_y = g_{in} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{\pi \frac{k-1}{k}} \right) \eta} , \quad (4)$$

где η – адиабатический КПД турбины.

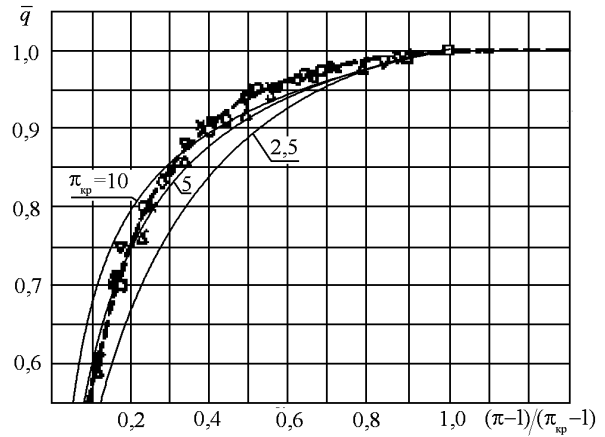


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных [1] с расчетом для $\pi_{кр} = 2,5; 5; 10$ и $\eta = 0,9$

На рис. 2. приведены сравнительные расчеты по формуле (4) с экспериментальными данными [1].

Графики рис. 2. получены по следующему алгоритму:

1. Задаемся \bar{g}_y .
2. Используя формулу (3) определяем степень расширения π .
3. Задавшись η с помощью формулы (4) определяем g_{in} , а затем и $\bar{q} = \bar{g}_{in}$.

Из графиков рис. 2 видно удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными для широкого диапазона $\pi_{кр}$. Следует подчеркнуть, что все графики на рис. 2 построены при постоянном к.п.д. $\eta = 0,9$. Очевидно при приближении к критическому режиму к.п.д. будет падать и для больших π совпадение с экспериментом будет несколько лучше.

Для построения характеристики турбины требуется определиться с ее адиабатическим к.п.д. Большинство авторов единодушны с тем, что определяющее влияние на к.п.д. турбины оказывает отношение u/c , точнее \bar{u}/\bar{c} . Удобно заменить этот параметр отношением $z = \bar{\lambda}_u / \bar{\lambda}_c$. В этих отношениях u – окружная скорость, а $c = c_{ад}$ – скорость на выходе из турбины при адиабатическом расширении [1].

Для вычисления параметра z достаточно вычислить $\bar{\lambda}_u$ и $\bar{\lambda}_c$. Очевидно [1] $\bar{\lambda}_u = \bar{n}_{пр} = \frac{\bar{n}}{T}$.

Можно показать, что $\lambda_c = \sqrt{1 - \frac{1}{\pi \frac{k-1}{k}}}$. Для вычисления к.п.д. необходимо знать параметры точки, в которой к.п.д. максимален, а затем вычислить $\bar{\lambda}_c$ и параметр z , зная который вычисляем к.п.д. согласно рекомендациям [1].

Следует отметить, что для турбин с высоким π зона оптимальных режимов сужена и для аппроксимации зависимости к.п.д. от z желательно использовать экспериментальные данные.

2. Построение характеристики турбины

В качестве исходных данных для построения характеристики турбины используются: параметры в точке максимального к.п.д. – π_{ef} , $n_{ef\text{ пр}}$, η_{\max} , а также $\pi_{кр}$ – критическое понижение давления в турбине.

Задача построения характеристики – это вычисление газодинамической функции q на входе в турбину при заданных приведенных оборотах и степени понижения давления.

Может быть предложен следующий алгоритм вычисления:

1. Задаемся π и $n_{\text{пр}}$.

2. Вычисляем параметр $z = \frac{n_{\text{пр}}}{n_{ef\text{ пр}}} \sqrt{\frac{1 - \pi_{ef}^{-\frac{k-1}{k}}}{1 - \pi^{-\frac{k-1}{k}}}}$.

3. Вычисляем к.п.д. – $\eta = \eta(z)$, например, согласно [1].

4. Определяем $\lambda_y = \lambda(\pi, \pi_{кр})$.

5. Вычисляем $q_y = q(\lambda_y)$.

6. $q_{in} = \frac{q_y}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{\pi \frac{k-1}{k}}\right) \eta}}$.

Полученную газодинамическую функцию плотности тока на входе можно отнести к аналогичной функции в точке максимального к.п.д.

Для построения характеристики задаются рядом значений π и строят изолинии $q_{in} = \text{const}$.

На рис. 3 дан пример расчетной обобщенной характеристики турбины.

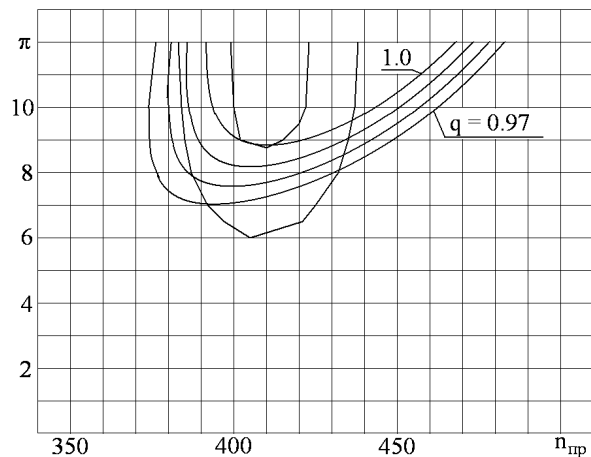


Рис. 3. Пример обобщенной характеристики – сравнение расчетной характеристики для $q = 1,0; 0,99; 0,98$ и $0,97$ с экспериментальной

На этой характеристике на поле $\pi - n_{\text{пр}}$ проведены изолинии

$$q = 1,0; 0,99; 0,98 \text{ и } 0,97.$$

На этом же рисунке показаны экспериментальные кривые. Существенное расхождение объяснено тем, что методика расчета к.п.д., изложенная в [1], дает существенную погрешность для турбин с большой степенью понижения давления.

Следует отметить, что при расчетах на ЭВМ характеристика рис. 3 не совсем удобна. Гораздо удобнее пользоваться изложенной методикой. Анализ характеристики рис. 3 позволяет откорректировать зависимость для вычисления к.п.д. с использованием экспериментальных данных для конкретной турбины.

При вычислении характеристики рис. 3 использовалась следующая зависимость для получения к.п.д.

$$\eta = 0,5 \eta_{\max} \left[1 + \cos \frac{\pi(z-1)}{\Delta} \right]$$

где $\Delta = 0,3 \div 1,0$ – коэффициент, который необходимо подобрать. Этот коэффициент может быть разным для $z > 1$ и $z < 1$. Хороший вариант – использовать экспериментальную зависимость $\eta = \eta(z)$.

Подбирая коэффициент Δ , надо учитывать, что экспериментальные характеристики такого типа получаются со значительной погрешностью. Имеются в виду погрешности косвенных методов получения этих характеристик, а также не строгая реализация условий экспериментов. Для получения удовлетворительных результатов характеристику надо дополнить изолиниями к.п.д. и подобрать коэффициенты Δ , ориентируясь и на изолинии к.п.д.

Заключение

Разработана методика, позволяющая построить обобщенную характеристику турбины для широкого диапазона параметров.

Предложенная методика позволяет получить все результаты, ожидаемые от характеристики турбины.

Экспериментальные данные можно учесть, корректируя зависимость для к.п.д.

Предложена мнемоническая модель турбины которая подтверждена экспериментальными данными. Эта модель позволяет проводить расчеты для широкого диапазона степеней понижения давления.

Литература

1. Нечаев Ю.Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Ч. I / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров. – М.: Машиностроение, 1977. – 312 с.

2. Сорока Я.Х. Теория и проектирование газотурбинных двигателей: учебн. пос. / Я.Х. Сорока. – Л.: Судостроение, 1982. – 112 с.

3. Тарасенко А.А. Частичные режимы устройства типа газодинамическое сопротивление в судовых ГТД / А.А. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – Вып. 8 (55) – 312 с.

Поступила в редакцию 3.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Р. Ткач, Национальный университет кораблестроения, Николаев, Украина.

ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПРЕСОРИВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕОМ

О.О. Тарасенко

Пропонується алгоритм побудови узагальненої характеристики турбіни на базі використання газодинамічних функцій і загальних співвідношень. В якості базових даних використовуються наступні параметри: ступінь пониження тиску на номінальному режимі; адиабатичний ккд турбіни на номінальному режимі. Бажано також знати критичну ступінь пониження тиску. Характеристика одержана в системі координат, ступінь пониження тиску – відносна зведена швидкість обертання турбіни і представлена у вигляді ізольній відносної щільності току на вході.

Ключові слова: газодинамічні функції, характеристика, витрата, ккд, турбіна, ступінь пониження тиску.

USING OF INTEGRATED DEPENDENCES FOR CONSTRUCTION OF TURBINE CHARACTERISTIC BY THE COMPUTER

A.A. Tarasenko

Algorithm of construction integrated characteristic of the turbine based on the using of gas-dynamic functions and general correlation is offered. Adiabatic efficiency of the turbine on the nominal mode, level of the lapse pressure on the nominal mode are the initial information. Description is taken in the coordinate system, level of the lapse of the pressure - transformed speed of rotation as isolines comparative current.

Key words: Gas-dynamic functions, characteristic, expenditure, efficiency, level of the lapse, isolines, turbine.

Тарасенко Александр Александрович – аспирант кафедры турбин Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tai777@ukrpost.net.