

## ОБЗОР СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ТВАД

Новикова Ю.Д., Прошлецов А.Д., Аргумбаев А.С.  
Самарский университет, г. Самара, novikova@ssau.ru

*Ключевые слова: испытания ГТД, загрузочное устройство, датчик крутящего момента, мощность двигателя.*

Турбовальные двигатели (ТВаД) – тепловые машины, преобразующие полезную тепловую энергию на свободной турбине в механическую работу, занимают особое место среди всех типов газотурбинных двигателей. ТВаД применяются в различных областях из-за широкого диапазона вырабатываемой мощности, а также отличаются высокой надежностью и экономичностью.

При создании ТВаД встает потребность в измерении и утилизации мощности на выходном валу [1]. Целью данной работы являлось изучение существующих способов определения эффективной мощности ТВаД.

В процессе испытаний ТВаД мощность можно определить двумя способами. Оба этих способа относятся к косвенным методам измерения.

1. Определение мощности двигателя с помощью измерения крутящего момента и частоты вращения:

$$N = M_{кр} \cdot n,$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент;

$n$  – частота вращения вала свободной турбины.

Измерение крутящего момента осуществляется или с помощью балансирных моментоизмерительных систем, или с помощью датчиков прямого измерения крутящего момента.

В первом случае измеряется сила, приложенная на известном плече для уравнивания измеряемого крутящего момента, который действует на один из элементов системы (корпус турбины, мультипликатор, редуктор, гидротормоз, электродвигатель, пневмотормоз). Указанный элемент при этом должен быть установлен таким образом (подвешен на подшипниках), чтобы обеспечивалась возможность его свободного поворота на некоторый угол в плоскости крутящего момента (балансирный подвес). Данные системы позволяют как замерить мощность с достаточно высокой точностью, так и утилизировать её. Однако при измерении крутящего момента с помощью балансирных моментоизмерительных систем с ростом мощности испытуемого двигателя растут и габариты измерительной системы.

Во втором случае крутящий момент непосредственно измеряется датчиком на выходном валу. Достоинством данного варианта является в некоторых случаях меньшая погрешность измерения мощности, однако необходимо дополнительно проектировать систему утилизации мощности. Также представленные в настоящий момент линейки датчиков измерения крутящего момента валового типа имеют ограниченную сетку применения. Например, линейка датчиков серии М25 и М26 производства Республики Беларусь (ТИЛКОМ) позволяет измерять крутящий момент в диапазоне от 30 до 2000 Н·м. При этом максимальная частота вращения при крутящем моменте 30 Н·м составляет 20000 мин<sup>-1</sup>, а при крутящем моменте 2000 Н·м – 12000 мин<sup>-1</sup> [2]. Аналогичные датчики производства Великобритании (Datum Electronics Limited) и Швеции (Magtrol) позволяют измерять крутящий момент в диапазонах от 10 до 30000 Н·м и от 5 до 10000 Н·м соответственно [3,4]. При этом максимальная частота вращения датчика английского производства при крутящем моменте 10 Н·м составляет 10000 мин<sup>-1</sup>, а при крутящем моменте 30000 Н·м – 2000 мин<sup>-1</sup>. Для датчика же шведского производства при крутящем моменте 5 Н·м максимальная частота вращения равна 50000 мин<sup>-1</sup>, а при 10000 Н·м – 12000 мин<sup>-1</sup>.

Из анализа приведённых примеров очевидно, что для датчиков такого типа с увеличением величины крутящего момента сокращается максимальная величина частоты вращения ротора. Следовательно, для случаев с высоким крутящим моментом (равным и более 10000 Н·м) или высокой частотой вращения (равной и более 50000 мин<sup>-1</sup>) выбор измерительных приборов существенно сокращается. Также стоит отметить, что в большинстве случаев высокоточные датчики измерения крутящего момента производятся не на территории Российской Федерации, что затрудняет процесс их технического обслуживания. Стоимость таких датчиков и стоимость их обслуживания привязаны к курсу обмена валюты, что повышает возможные риски задержки испытаний.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при проектировании стендового оборудования для испытаний ТВаД при величине крутящего момента двигателя менее 10000 Н·м возможно измерять крутящий момент с помощью датчиков прямого измерения крутящего момента. Это позволяет сократить величину погрешности измерения мощности двигателя, однако, увеличивает затраты на создание и эксплуатацию стенда, так как разделяются системы измерения и утилизации мощности на стенде. При величине крутящего момента двигателя более 10000 Н·м целесообразно измерять крутящий момент косвенным способом: либо с помощью балансирующей системы с моментомером, либо через работу тормозящего компрессора.

2. Определение мощности двигателя через работу, совершаемую компрессором пневмотормоза:

$$N = L_k \cdot G,$$

где  $L_k = i_k^* - i_v^* = C_p \cdot (T_k^* - T_v^*)$  – удельная работа, совершаемая компрессором пневмотормоза;

$$G = f\left(\frac{\Delta p}{p_H}\right) \text{ – расход воздуха, проходящий через компрессор.}$$

Определение работы, совершаемой компрессором пневмотормоза, и расхода воздуха, проходящего через него, выполняется косвенным методом измерения, что приводит к увеличению погрешности измерения. Однако данный способ является более универсальным.

В зависимости от выбранного способа определения эффективной мощности изменяется перечень приборов, используемых при оборудовании стенда. Особое внимание уделяется точности определения значимых параметров.

Для случая, когда эффективная мощность определяется через крутящий момент, стенд должен быть оборудован высокоточными датчиками съема либо крутящего момента, либо силы и плеча. А также измерения частоты вращения ротора. Для случая, когда эффективная мощность определяется через удельную работу, совершаемую компрессором пневмотормоза, испытательный стенд должен быть оборудован высокоточными датчиками съема полного давления и полной температуры.

В результате анализа исследуемой информации был сделан следующий вывод: выбор способа измерения мощности в процессе создания испытательного стенда ТВаД зависит от множества факторов. К основным факторам относятся: стоимость создания и эксплуатации, сроки создания, габариты, мобильность, долговечность испытательного стенда и прилегающих систем. Выбор способа измерения мощности в каждом конкретном случае необходимо осуществлять индивидуально.

*Работа выполнена по проекту FSSS-2022-0019, реализуемого в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», результат «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».*

### Список литературы

1. Горбунов Г.М. Испытания авиационных воздушно-реактивных двигателей [Текст] / Г.М. Горбунов, Э.Л. Солохин. М.: Машиностроение, 1989. 257 с.
2. ООО «ТЕЛЕКОМ» ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА [Электронный ресурс]. URL: <https://tilkom.com/datchiki-krutyashhego-momenta/> (дата обращения: 20.05.2023).

3. ООО «Промтекс» ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ. ДАТЧИКИ. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prom-tex.org/catalog/datchiki/kru-tyashchiy-moment/> (дата обращения: 20.05.2023).

4. ЗАО "СЕНСОР СИСТЕМС" [Электронный ресурс]. URL: [https://www.datum-electronics.ru/m425\\_ru.pdf](https://www.datum-electronics.ru/m425_ru.pdf) (дата обращения: 20.05.2023).

#### **Сведения об авторах**

Новикова Юлия Дмитриевна, младший научный сотрудник. Область научных интересов: проектирование, расчет и численное моделирование лопаточных машин.

Прошлецов Алексей Дмитриевич, студент. Область научных интересов: рабочие процессы ГТД.

Аргумбаев Артур Серикович, студент. Область научных интересов: рабочие процессы ГТД.

### **OVERVIEW OF POWER MEASUREMENT METHODS FOR THE TURBOSHAFT ENGINE TEST BENCH**

Novikova Yu.D., Proshleczov A.D., Argumbaev A.S.  
Samara University, Samara, Russia, novikova@ssau.ru

*Keywords: GTE testing, air brake, torque sensor, engine power.*

There is a need to measure and utilize the power on the output shaft when creating a turboshaft engine. The purpose of this work was to study the existing methods for determining the effective power of a turboshaft engine. Two measurement options were considered: by the measurement of torque and rotational speed, as well as by determining the work performed by the air brake compressor. As a result of the analysis of the studied information, the following conclusion was made: the choice of a method for measuring power in the process of creating a test bench for a turboshaft engine depends on many factors. The main factors include: the cost of creation and operation, the timing of creation, dimensions, mobility, durability of the test bench and adjacent systems. The choice of power measurement method in each specific case must be carried out individually.