

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОСТ И ТЕРМИНОЛОГИЯ В ГТД

КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПРАКТИКУЮЩЕГО ИНЖЕНЕРА

Василий Валентинович Чобиток, инженер-механик

В ряде дискуссий автору пришлось столкнуться с катастрофическим непониманием отдельными выпускниками ВТУЗов не только особенностей общего устройства газотурбинных двигателей (ГТД), но и элементарных вопросов классификации, когда такая, казалось бы, простая вещь как объяснение отличий двух- и трёхвалных ГТД наталкивается на стену глухого непонимания и отрицания. Самое неприятное здесь то, что привлечение определений из ГОСТ в некоторых случаях не только не помогает, но ещё больше запутывает оппонентов. Такое положение вещей подтолкнуло критически разобрать некоторые термины и определения из имеющих отношение к теме ГТД ГОСТ.

Определение ГТД

ГОСТ Р 51852: "1 газотурбинный двигатель, ГТД: Машина, предназначенная для преобразования тепловой энергии в механическую."

Других слов нет, определение - гениальное. Является ли ГТД машиной, предназначенной для преобразования тепловой энергии в механическую? Да, определено. Однако, точно таковой машиной является дизельный, карбюраторный и все прочие двигатели внутреннего сгорания, и не только внутреннего, но и, например, паровые машины. И не только двигатели, но и любые машины и устройства, работа которых заключается в преобразовании тепла в механическую работу.

В данном определении нарушено правило логики, в соответствии с которым определение термина должно включать родовую принадлежность и видовое отличие. Принадлежность к определённому роду (к таким-то машинам) указана, а какие видовые отличия ГТД от прочих тепловых машин - нет! Данный принцип логики, к тому же, отражён в РМГ 19-96 (Рекомендации по основным принципам и методам стандартизации терминологии), которым следует руководствоваться при написании стандартов, (п. 3.2): "Основным видом определения в терминологических стандартах является определение путем указания ближайшего родового понятия и видовых отличительных признаков."

И здесь со мной можно было бы не согласиться, поскольку в ГОСТ Р 51852 к термину № 1 присутствует также примечание, имеющее следующую формулировку.

"Примечание - Машина может состоять из одного или нескольких компрессоров, теплового устройства, в котором повышается температура рабочего тела, одной или нескольких газовых турбин, вала отбора мощности, системы управления и необходимого вспомогательного оборудования. Теплообменники в основном контуре рабочего тела, в которых реализуются процессы, влияющие на термодинамический цикл, являются частью газотурбинного двигателя."

Да, это примечание кое-что проясняет и уточняет, но к нему есть несколько формальных и содержательных претензий. По ГОСТ 1.5 определение должно состоять из одного предложения и заканчиваться точкой. При этом в примечаниях приводятся дополнительные пояснения. Определение ГТД в ГОСТ Р 51852 закончилось точкой, в нем дана исключительно родовая принадлеж-

ность (т.е. определение неполное), а в примечании даны не пояснения к определению, а видовые отличия ГТД - то, что должно быть частью самого определения.

Обратимся к определению термина gas turbine в ISO 3977-1, идентичным которому заявлен ГОСТ Р 51852: "*Machine which converts thermal energy into mechanical work; it consists of one or several rotating compressors, a thermal device(s) which heats the working fluid, one or several turbines, a control system and essential auxiliary equipment. Any heat exchangers (excluding waste exhaust heat recovery exchangers) in the main working fluid circuit are considered to be part of the gas turbine.*"

Перевод предложенного абзаца: "Машина, которая преобразовывает тепловую энергию в механическую работу; она состоит из одного или нескольких вращающихся компрессоров, теплового устройства, в котором повышается температура текучего рабочего тела, одной или нескольких турбин, системы управления и необходимого вспомогательного оборудования. Любые теплообменники (за исключением теплообменников рекуперации отработанного тепла) в основном контуре рабочего тела считаются частью газовой турбины."

Здесь всё же определение дано не одним предложением (вероятно, требования к стандартам ISO отличаются), но основные видовые отличия ГТД (мною подчеркнуты) приведены в первом предложении и отделены от указания родовой принадлежности точкой с запятой.

К тому же, практика использования примечаний к определениям в ГОСТ говорит о том, что роль примечания не расширять или сужать данное определение термина, а давать пояснения и исключать возможные неоднозначности и противоречия в понимании формулировок, исключать трактовки. При этом без примечания суть определения никак не должна измениться. В том же стандарте, например, в определении № 2 для газотурбинной установки дано примечание: "Полезной формой энергии может быть - электрическая, механическая и другие." В данном случае наблюдаем именно пояснение, которое исключает возможную неоднозначность толкования термина "полезная форма энергии" из определения, но никак не меняет (не сужает и не расширяет) суть самого определения.

Это формальные претензии, теперь по содержанию. Приведу то же самое примечание со своими уточнениями в скобках:

"Машина может состоять из одного или нескольких компрессоров [нагнетающих воздух в толку], теплового устройства [котла], в котором повышается температура рабочего тела [воды, водяного пара], одной или нескольких [газовых, паровых] турбин..."

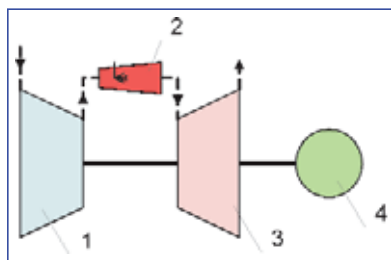


Рисунок 1 - Одновалный ГТД (здесь и далее на примере схем турбовальных двигателей)

1 - компрессор, каскад компрессора; 2 - камера сгорания; 3 - турбина, газовая турбина, турбина компрессора, каскад турбины, силовая турбина; 4 - нагрузка, внешний потребитель мощности двигателя

Примечание - по некоторым позициям приведено несколько вариантов, каждый из которых верный и может использоваться в зависимости от контекста. Например, турбина может называться "силовой турбиной", если она рассматривается в связке с выходным валом и далее нагрузкой, или "турбиной компрессора", если она рассматривается как привод компрессора. Вообще для одновалного ГТД без свободной турбины, вполне достаточно "турбина", т.к. в этом случае она очевидно "турбина компрессора" и для турбовальных ГТД "силовая турбина". О самой "свободной турбине" - чуть ниже

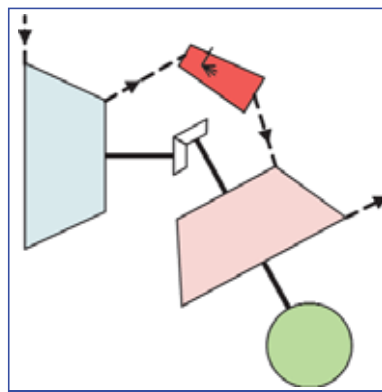


Рисунок 2 - Тоже одновалный ГТД. Важно понимать, что считается не число наличных в конструкции валов как таковых (на схеме - два вала), а сколько в ней независимых каскадов турбокомпрессоров

Как можно увидеть, даже с приведенным примечанием определение ГТД из ГОСТ Р 51852 вполне соответствует такому механизму как паровая турбина. [Кстати, стоит отметить, что у первых конструкторов ГТД камера сгорания достаточно долго именовалась именно "котлом", пока не утвердилось принятое сейчас наименование. *Прим. ред*] Если паровая турбина по мнению авторов ГОСТ является ГТД, то вопросов нет, а если это иное, то почему определение не соответствует требованиям РМГ 19-96 о соразмерности и однозначности понимания определения?

В этой связи уместно привести определение по ГОСТ 23851: "Газотурбинный двигатель: Тепловая машина, предназначенная для преобразования энергии сгорания топлива в кинетическую энергию реактивной струи и (или) в механическую работу на валу двигателя, основными элементами которой являются компрессор, камера сгорания и газовая турбина".

Это определение не только вполне соответствует как формальным требованиям ГОСТ 1.5, но и логически непротиворечиво. Во всяком случае, чтобы теперь в соответствии с определением отнести паровую турбину к ГТД, надо иметь определенную степень альтернативной одаренности. Более того, в этом определении перечислены три основных элемента (компрессор, камера сгорания, турбина), которые являются обязательной частью любого ГТД, отличают его от остальных тепловых машин и, в отличие от определения в ISO, не содержат ненужную в данном определении информацию об устройствах (теплообменник), которые не являются обязательной частью ГТД.

Один - два - три - много...

ГОСТ 23851: "одновалный ГТД: ГТД, имеющий общий вал для компрессора и турбины"

Возьмем для примера двухвалный ГТД, у которого компрессор с турбиной низкого давления имеют общий вал и компрессор с турбиной высокого давления также имеют общий вал. Такой ГТД отвечает приведенному выше определению? Вполне, каждый его компрессор имеет общий вал с турбиной. Поскольку определение в данной формулировке подходит и для двухвального двигателя, оно неверное.

ГОСТ Р 51852: "одновалный газотурбинный двигатель: Газотурбинный двигатель, в котором роторы компрессора и газовой турбины соединены и мощность отбирается непосредственно с выходного вала или через редуктор".

Та же самая проблема. В двух- и любом другом многовальном двигателе роторы каждого каскада компрессора соединены с турбиной. Более того, мощность отбирается "непосредственно с выходного вала или через редуктор" для любого турбовального двигателя, независимо от того одновалный он или нет, поэтому данная формулировка в определении является лишней и не соответствует требованию РМ 19-96 "оптимальная краткость определения".

Верным представляется определение в такой формулировке: "одновалный ГТД: ГТД, имеющий компрессор и турбину на одном едином валу". Также целесообразно наличие примечания, в котором должно поясняться, что здесь под валом в более широком смысле может пониматься жесткая кинематическая

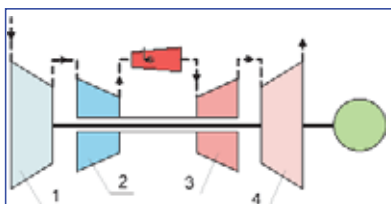


Рисунок 3 - Двухвальный ГТД с двухкаскадным компрессором
1 - компрессор низкого давления; 2 - компрессор высокого давления; 3 - турбина высокого давления; 4 - турбина низкого давления, силовая турбина

она ни была реализована.

ГОСТ Р 51852: "многовалный газотурбинный двигатель: Газотурбинный двигатель, имеющий, по крайней мере, две газовые турбины, вращающиеся на независимых валах".

Сначала формальная претензия к формулировке определения. В соответствии с требованиями ГОСТ 1.5 в стандартах не допускается применять обороты разговорной речи

(п. 4.1.5). Выражение "по крайней мере" является фразеологизмом (т.е. устойчивым словосочетанием естественного языка), который используется в значении "как минимум, по меньшей мере". В отдельности слово "крайний" из этого фразеологизма означает граничные, с начала или конца, значения какого-либо ряда или какое-либо последнее (как минимальное, так и максимальное) значение или событие. Незнание значения данного фразеологизма может привести к ошибочному ("крайний" в значении "максимальный") прочтению "имеющий не более двух газовых турбин". Для исключения неоднозначности и нарушения требований ГОСТ 1.5 фраза в определении должна иметь вид: "имеющий [по меньшей мере | как минимум | не менее] две газовые турбины...". Примечательно, что даже Google-переводчик определение из ISO 3977-1 "Gas turbine combination including at least two turbines working on independent shafts" переводит как "Комбинация газовых турбин, включающая по меньшей мере две турбины, работающие на независимых валах" - формально работающая машина

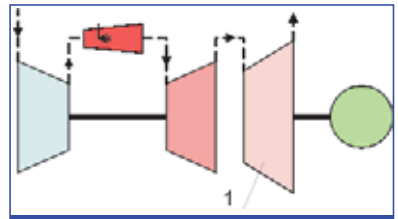


Рисунок 4 - Одновалный ГТД со свободной силовой турбиной и однокаскадным компрессором
1 - свободная силовая турбина с отдельным валом и отбором мощности

определение из ISO перевела куда лучше и в целом понятнее, чем авторы ГОСТ Р 51852.

Когда речь идет о многовальных (в отличие от одновального) двигателях вообще, использование термина "многовальный" оправдано и не вызывает вопросов. Когда же мы говорим о конкретном двигателе, то чаще всего важно понимать его конструктивные особенности, ведь, например, указание на двух- или четырехвальный двигатель, в отличие от "многовальный", существенно уточняет понимание особенностей конструкции данного ГТД и его отличие от других.

В ГОСТ 23851 даются определения одно- и двухвального ГТД, а для трёхвального стоит прочерк, означающий, что его определение аналогично предыдущему (очевидно, с заменой "два" на "три"). Однако, известны конструкции и с большим числом валов, которые данным стандартом не определены.

Любой грамотный инженер вполне понимает: "где трех-, там может быть и четырехвальный" и "много- вполне может быть конкретизировано до двух-, трёх- и т.д. вального" - для такого понимания грамотному инженеру не требуются дополнительные пояснения и уточнения. Однако, неоднократно приходилось сталкиваться с формальным, буквальным пониманием не духа, а буквы стандарта, в соответствии с которым четырехвальных ГТД не может вообще существовать как по ГОСТ 23851 (максимум трёхвальный), так и по ГОСТ Р 51852 (потому что он многовальный). [К слову, надо заметить, что реальных конструкций, в которых существуют турбокомпрессорные группы с числом валов более трёх пока не наблюдались, так что спор о

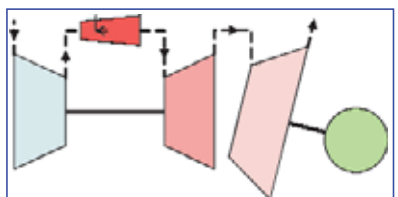


Рисунок 5 - Тоже одновалный ГТД со свободной турбиной с отдельным валом.
Следует понимать, что валы не обязаны быть соосными

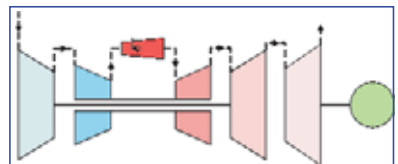


Рисунок 6 - Двухвальный ГТД со свободной силовой турбиной и двухкаскадным компрессором на отдельном валу

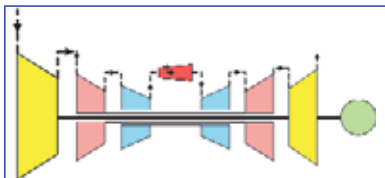


Рисунок 7 - Трёхвальный ГТД с трёхкаскадным компрессором с отдельным соединением каждого каскада со своей турбиной. Цветом обозначены отдельные турбокомпрессорные группы (в отличие от остальных схем статьи). Здесь: силовой является только турбина КНД

классификации имеет скорее теоретический характер, не более. [Прим. Ред.]

Поэтому, несмотря на то, что по факту принято классифицировать ГТД по числу независимых турбин (имея в виду - турбокомпрессорные группы) указанием числа валов двигателя, желательнее, чтобы это положение было верно закреплено в соответствующих стандартах.

По аналогии с определением многоступенчатого компрессора из ГОСТ 23851, в примечании к которому указано: "При конкретной конструкции компрессора он может называться по числу ступеней", можно использовать одно определение термина "многовальный ГТД", а в примечании к нему указать: "При конкретной конструкции ГТД он может классифицироваться по числу независимых друг от друга турбин на отдельных валах, например: двухвальный, трёхвальный и т.д." При этом лучше пользоваться не "числом турбин" а "количеством турбокомпрессорных групп".

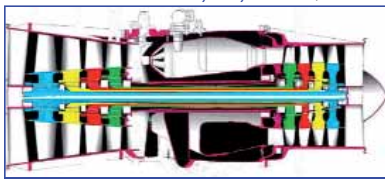


Рисунок 8 - Проект многовального (здесь - четырёхвального) двигателя А.Г. Клименко

Чтобы не включать в это рассмотрение свободные турбины. О них - чуть далее.

Кроме того, обратим внимание на саму формулировку определения двухвального ГТД по ГОСТ 23851: "ГТД, имеющий два соосных, механически не связанных вала, на которых установлены отдельные каскады компрессоров и вращающих их турбин". Почему валы обязательно соосные, только потому, что таково большинство конструкций (хотя бы и подавляющее)? Ограничение "соосные" тут очевидно лишнее, поскольку существуют схемы ГТД с несоосными валами и от того, что в определении указано "соосные" они не перестают быть двухвальными, хоть это и противоречит гостированному определению.

Силовая и свободная (силовая) турбины

Существенная путаница наблюдается с использованием терминов "свободная" и "силовая" турбина

ГОСТ Р 51852: "силовая турбина: Турбина на отдельном валу, с которого отбирается выходная мощность."

ГОСТ 23851: "свободная турбина: Ступень (ступени) турбины ГТД, механически не связанная с его компрессором, полезная мощность которой используется для привода отдельного агрегата."

В этом же стандарте дано определение турбовальному двигателю со свободной турбиной: "Турбовальный двигатель, в котором выводной вал приводится во вращение турбиной, механически не связанной с турбиной компрессора". Здесь можно заметить, что в одном и том же стандарте одно и то же понятие (свободная турбина) в отдельности и в составе ТВД имеет различающиеся по формулировкам определения. С другой стороны, поскольку в стандарте термины "ТВД" и "свободная турбина" определены по отдельности, то согласно ГОСТ 1.5 термину "ТВД со свободной турбиной" вообще не требуется давать определение, поскольку оно очевидно из определений входящих в его состав терминов.

Можно заметить, что, исходя из сути определений силовой и свободной турбин, в обоих стандартах одно и то же устройство названо двумя разными терминами. Так, может быть, это термины-синонимы? Нисколько. Во-первых, во многих отечественных изданиях термин "силовая" относится к любой турбине, с вала которой отбирается выходная мощность, а не только к той, которая на отдельном валу. Во-вторых, в иностранных источниках термин power turbine точно так же относится именно к той турбине, с вала которой снимается выходная мощность двигателя. В-третьих, если бы эти термины были синонимами, то часто используемый в специальной литературе термин свободная силовая турбина или

free (power) turbine был бы тавтологией (наподобие "кавалериста всадника" или "прейскуранта цен"). Более того, в самом ГОСТ Р 51852 в подписи к рисунку А.3 указано: "Схема ГТУ с многовальным ГТД простого цикла со свободной силовой турбиной", хотя среди определенных данным стандартом терминов никакой "свободной силовой турбины" нет!

Вполне очевидным является тот факт, что силовой является любая турбина, которая непосредственно или через редуктор связана с выходным валом двигателя. Свободная же турбина - силовая турбина на отдельном валу, т.е. такая, у которой отсутствует механическая связь с турбиной компрессора. Поэтому в обязательном порядке должны быть отдельно стандартизированы оба термина, например:

"силовая турбина: Турбина с вала которой [осуществляется основная отбор мощности / отбирается выходная мощность]."

Примечания

1 Отбор мощности может осуществляться как непосредственно с вала турбины, так и через связанный с ним редуктор.

2 Турбины компрессоров, с валов которых отбирается мощность на (вспомогательные) агрегаты и механизмы, обеспечивающие работу самого двигателя (топливные и масляные насосы, генераторы и пр.) к силовым не относятся.

3. Свободная (силовая) турбина: Силовая турбина на отдельном валу, механически не связанная с компрессором."

Другие определения

ГОСТ 23851: "Турбовинтовой двигатель: Турбовальный двигатель, в котором мощность на выводном валу используется для привода тянущего воздушного винта."

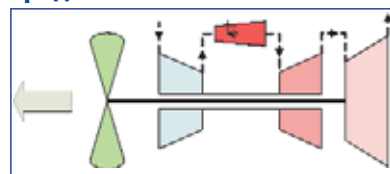


Рисунок 9 - Турбовинтовой двигатель (ТВД) с тянущим воздушным винтом (в данном случае - двухвальный со свободной силовой турбиной)

А как быть с ТВД, у которых толкающий воздушный винт? Разве они не турбовинтовые? Здесь уточнение "тянущего" очевидно лишнее и неоправданно сужает сферу действия определения.

В этом же ГОСТ даны определения двух- и трехкаскадных компрессоров. По аналогии с ранее разобранным примером целесообразно иметь одно определение "многокаскадный компрессор" и примечание с указанием, что при конкретной конструкции компрессора он может классифицироваться по числу каскадов. И такого же рода соображения относятся к повсеместно применяемым сейчас многоконтурным ГТД. Но это уже темы, выходящие за рамки данной статьи.

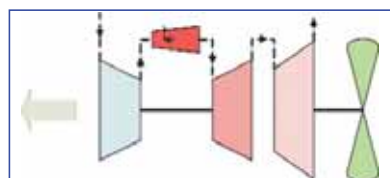


Рисунок 10 - ТВД с толкающим винтом. Если существуют схемы ТВД с толкающим воздушным винтом, в определении не следует указывать "для привода тянущего воздушного винта"

Литература

- ГОСТ Р 51852-2001. Установки газотурбинные. Термины и определения
- ГОСТ 23851-79. Двигатели газотурбинные авиационные. Термины и определения
- ГОСТ 1.5-2001. Межгосударственная система стандартизации (МГС). Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению
- РМГ 19-96. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Рекомендации по основным принципам и методам стандартизации терминологии
- ISO 3977-1:1997. Gas turbines - Procurement - Part 1: General introduction and definitions

Связь с автором: chobitok@gmail.com