

ЕЩЕ ОДИН ВЗГЛЯД НА МЕХАНИКУ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Камоцкий Э.Т. Email: Kamotsky1137@scientifictext.ru

Камоцкий Эдуард Телесфорович – инженер,
Куйбышевский моторный завод им Кузнецова, г. Самара

Аннотация: выведена формула определения тяги любых реактивных двигателей по величине отбрасываемой массы и затраченной на это мощности.

Получена формула для определения абсолютного коэффициента полезного действия, которая может быть полезна проектировщикам, поскольку по замеренным параметрам, определяемым достаточно точно, можно определить уровень абсолютно всех потерь, как неизбежных в цикле Карно, так и нежелательных, что проектировщика может натолкнуть на поиск усовершенствования проекта. Предложенный способ определения абсолютного КПД может быть использован в научных проработках по сравнению двигателей в зависимости от их параметров или групп двигателей разных производителей.

Ключевые слова: тяга, реактивные двигатели.

ANOTHER LOOK AT THE MECHANICS OF JET ENGINES Kamotsky E.T.

Kamotsky Eduard Telesforovich – engineer,
KUIBYSHEV MOTOR PLANT NAMED AFTER KUZNETSOV, SAMARA

Abstract: a formula was derived which allows to calculate the thrust of any jet engine on the basis of its expellant mass and supplied power.

This formula for determining the absolute efficiency can be useful to designers, since from the parameters measured fairly accurately, it is possible to determine the level of absolutely all losses, both inevitable in the Carnot cycle, and undesirable. This can prompt the designer to seek improvement of the project. The proposed method of determining the absolute efficiency can be used in scientific studies comparing engines, depending on their parameters, or groups of engines from different manufacturers.

Keywords: thrust, jet engine.

УДК 531.311

При оценке продуктивности разработки оригинального реактивного двигателя, для которого не было алгоритма расчета, возникла потребность оценить уровень тяги и условия её получения при известной располагаемой мощности. Без такой оценки разрабатывать алгоритм расчета, и начинать проектные разработки было не целесообразно.

Полученная, путем комбинаций известных формул кинематики и динамики на основе законов Ньютона, трактовка реактивного двигателя, может быть полезной в проектных работах, и, еще в большей мере, в преподавании, демонстрируя неисчерпаемость возможностей поиска решения проблем [1].

А также для оценки совершенства уже выполненных любых реактивных двигателей, как воздушно реактивных (ВРД) и жидкостных реактивных (ЖРД), так и гидро реактивных.

Все, что движется, отчего-то отталкивается. То ли от земли, то ли от электромагнитного поля, то ли от воздуха, то ли от воды. Фантазии о без опорном движении сродни фантазиям о вечном двигателе.

Под определение реактивных двигателей попадают все двигатели, создающие тягу при взаимодействии с подвижной средой, то ли газообразной, то ли жидкой.

По второму закону Ньютона, для того, чтобы масса M получила ускорение a , к ней надо приложить силу R

$$R = aM \quad (1)$$

При этом сила R , перемещая массу M в сопле двигателя на расстояние S , совершает работу F

$$F = RS \quad (2)$$

При ускорении a за время t расстояние, на которое перемещается масса, определяется уравнением кинематики

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (3)$$

или, подставляя в уравнение (3), определяющее расстояние S , значение ускорения a из уравнения (1), получаем

$$S = \frac{Rt^2}{2M} \quad (4)$$

И, соответственно, работа (2), после подстановки (4) в (2)

$$F = \frac{R^2 t^2}{2M}$$

Масса M за время t образуется из текущего расхода через сопло двигателя mc

$$M = m_c t$$

$$F = \frac{R^2 t}{2m_c}$$

а полезная мощность двигателя, N_n , выполняющая работу F ,

$$N_n = \frac{F}{t} = \frac{R^2}{2m_c}$$

откуда

$$R^2 = 2N_n m_c$$

Поскольку по третьему закону действие равно противодействию, то сила, действующая на массу со стороны двигателя, равна силе, действующей на двигатель со стороны массы, т.е. R численно равна тяге двигателя, и таким образом,

тяга реактивного двигателя равна корню квадратному из удвоенного произведения выбрасываемой из сопла массы на производящую это действие мощность.

$$R = \sqrt{2N_n m_c} \quad (5)$$

Эта формула может служить ориентиром при проектировании.

Британский изобретатель П. Мак Креди при проектировании летающего велосипеда для перелета через Ла-Манш располагал полезной мощностью тренированного спортсмена Б. Аллена Бриани примерно в одну четверть лошадиной силы.

Определив из аэродинамических расчетов потребную тягу, достаточную, чтобы тащить по воздуху это устройство с размахом крыльев почти 30 метров со скоростью 18 км в час, изобретатель, зная формулу (5), мог бы сразу определить необходимый расход воздуха через движитель. Он же подобрал движитель путем кропотливых расчетов и экспериментов. Для получения расхода воздуха, при котором достигается необходимая тяга (при такой маленькой располагаемой мощности, он должен быть достаточно большим), он на машину поставил винт громадного размера – 4,04 метра, который сообщал воздуху необходимое ускорение:

$a=R/mt$, или скорость $v=at=Rt/mt=R/m$, что соответствует известному уравнению, полученному другим путем, $R=vm$, казалось бы, из этого уравнения можно для получения заданной тяги задаться любыми соотношениями v и m , однако, для получения достаточной скорости при заданной мощности, расход должен соответствовать уравнению (5).

Действительно, $N=dF/dt$, $dF=R dS$, $dS=v dt$, тогда $N=R v = a M v$.

Так как $M=m dt$, $a=dv/dt$, $v=R/m$, то $N=m v dv=m v^2/2=m R^2/2m^2=R^2/2m$, откуда уравнение (5).

Если такой расход в проектируемом устройстве, при реальном уровне техники неосуществим, то и проект неосуществим.

Источником энергии в ВРД и ЖРД является сгорающее в них горючее, которое в процесс вносит тепло

$$Q_G = q_G G_G,$$

где q_G теплотворная способность горючего,

G_G весовой расход горючего,

или в механических единицах

$$N_G = q_G G_G A,$$

где A механический эквивалент тепла.

Полезная мощность тепловой машины, согласно Карно, всегда меньше мощности эквивалентной теплу, вносимому в двигатель горючим, так как большая часть тепла покидает двигатель с горячими выхлопными газами, т.е. отдается холодильнику (атмосфере).

$$N_n = \eta N_T$$

или

$$N_n = \eta q_T G_T A \quad (6)$$

Где η коэффициент полезного действия. В данном случае он учитывает не только «потери» тепла с выхлопными газами, которые по возможности стараются уменьшить, но и все остальные потери, как то: неполное сгорание горючего, отрыв потока и прочее.

Подставляя выражение (6) в формулу (5), и выражая массу, исторгаемую из сопла m_c через вес G_C – для ЖРД это вес горючего и окислителя, для ВРД это вес горючего (он мал) и воздуха G_B (для двухконтурных ВРД без смешения потоков – из обоих сопел), получаем

$$R = \sqrt{2\eta q_T G_T A G_C / g}$$

Откуда

$$\eta = \frac{gR^2}{2Aq_T G_T G_C} \quad (7)$$

При испытании одного из ЖРД на керосине, имеющем теплотворную способность $q_T = 10300$ ккал/кг, на стенде замерены параметры:

$$R = 154\,000 \text{ кг}$$

$$G_T = 146,05 \text{ кг/сек}$$

$$G_C = 518,05 \text{ кг/сек}$$

По формуле (7) получен результат $\eta = 0.349$

При испытании одного из ВРД на керосине, имеющем теплотворную способность $q_T = 10360$ ккал/кг, на стенде, замерены параметры:

$$R = 13000 \text{ кг}$$

$$G_T = 1,898 \text{ кг/сек}$$

$$G_B = 287,8 \text{ кг/сек}$$

$$G_C = G_B + G_T$$

По формуле (7) получен результат $\eta = 0,34$

Эксплуатационники не нуждаются в таком определении совершенства двигателя. Для ВРД исчерпывающей характеристикой является удельный расход горючего, т.е. расход горючего на единицу тяги. Для ЖРД исчерпывающей характеристикой двигателя является импульс – тяга, отнесенная к единице топлива, состоящего из горючего и окислителя.

Предложенное рассмотрение законов физики для описания реактивного двигателя, может быть полезным в процессе обучения, оно справедливо для любых двигателей, создающих тягу путем отбрасывания массы, не только для авиационных и космических двигателей, но и для гидравлических двигателей водного транспорта.

Полученная мною формула для определения абсолютного коэффициента полезного действия может быть полезна проектировщикам, поскольку по замеренным параметрам, которые определяются достаточно точно, можно определить уровень абсолютно всех потерь, как неизбежных в цикле Карно, так и не желательных, что проектировщика может натолкнуть на поиск усовершенствования проекта. Предложенный способ определения абсолютного КПД может быть использован в научных проработках по сравнению двигателей в зависимости от их параметров, или групп двигателей разных производителей.

Список литературы / References

1. Физика. И.К. Кикоин, А.К. Кикоин. Просвещение, 1975.