

Мазаев Л.А.

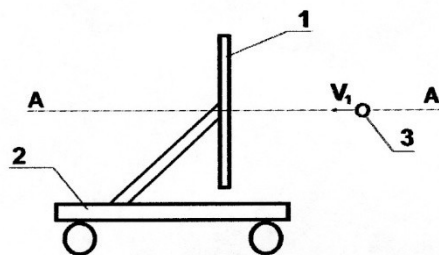
Мазаев А.Л.

Активная тяга В авиационной и космической технике

Принцип активного движения

Движение тела от действия на него другого тела, называется активным движением.

На фиг. 1 представлено устройство, демонстрирующее активное движение.



фиг.1

Оно состоит из пластины 1 закреплённой на платформе 2. Массу всего устройства примем равной m_1 . В исходном состоянии устройство находится в покое, т.е.

$v_1 = 0$. По линии удара $A-A_1$, перпендикулярной плоскости пластины 1, на

устройство действует рабочее тело 3 массой m_2 со скоростью v_2 . В момент удара устройство получает импульс движения равный $m_1 v_1'$, а общее количество движения P равно:

$$P = m_1 v_1' + m_2 v_2' \quad (1)$$

и начинает двигаться в том же направлении, что и рабочее тело. Это следует из закона сохранения энергии.

Из (1) видно, что после соударения:

$$v_1' = v_2' \quad (2)$$

Однако не вся энергия рабочего тела 3 передаётся на активное движение устройства, часть энергии расходуется на деформацию пластины 1.

Рассмотрим механизм потери энергии:

С момента соударения рабочего тела 3 с пластиной 1 происходит разгон устройства от скорости $v_1 = 0$ до скорости v_1' , то есть на устройство действует ускорение

$$\alpha = \frac{dv'_1}{dt} = - \frac{dv'_2}{dt} \quad (3)$$

в интервале времени

$$\Delta t_1 = t_2 - t_1 \quad (4)$$

Здесь: t_1 - начальное время действия тела 3 на пластину 1

t_2 - конечное время действия тела 3 на пластину 1

при $t_1 = 0$. Очевидно, что устройство не может, мгновенно, скачком, приобрести скорость v'_1 . В результате этого происходит деформация пластины 1.

Таким образом, полная энергия устройства описывается уравнением

$$E_{\pi} = E_{дв} + E_{пт} \quad (5)$$

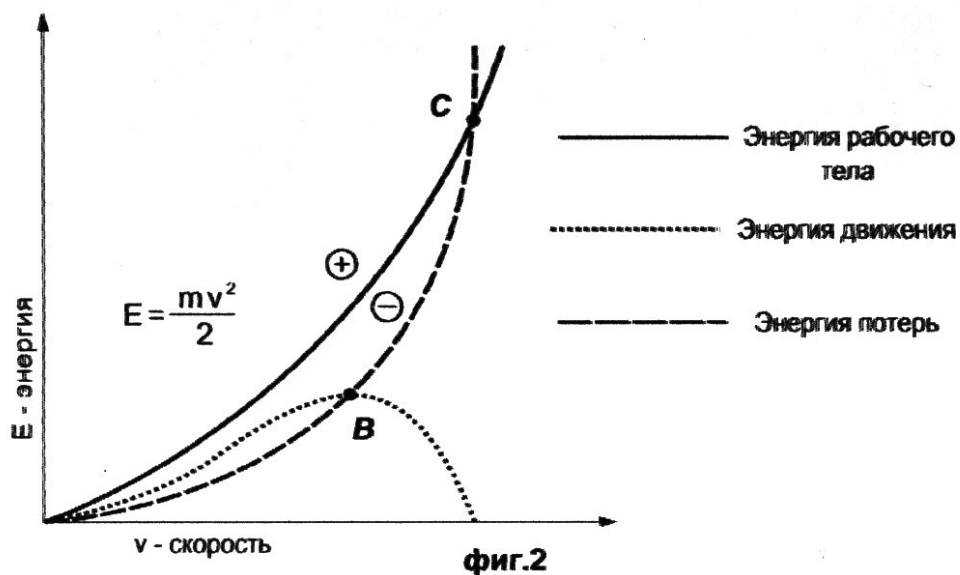
Здесь: E_{π} - полная энергия

$E_{дв}$ - энергия движения устройства после соударения

$E_{пт}$ - энергия потерь на деформацию пластины 1

Из уравнения (3) следует, что чем выше скорость v_2 , тем больше ускорение, но чем выше энергия рабочего тела, тем выше энергия потерь $E_{пт}$.

На графике (фиг.2) видно, что изменение энергий, движения $E_{дв}$ и потерь $E_{пт}$ происходит не по одному закону.

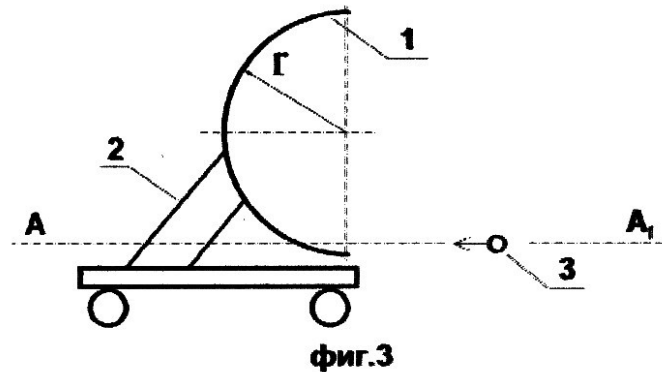


При малых скоростях движения, энергия $E_{дв}$ выше, чем энергия потерь $E_{пт}$. Однако уже в точке В, энергии эти уже одинаковы, а в точке С произойдёт пробой

пластины 1 и скорость v'_1 , движения устройства, приблизится к нулю. То есть вся энергия рабочего тела 3 за точкой С переходит на разрушение пластины 1.

Для снижения потерь на динамический удар применим профиль пластины изогнутой по параболе, окружности или эллипсу см. фиг.3.

Как видно из рисунка рабочее тело 3, войдя по линии А-А₁ в соприкосновение с пластиной 1, радиусом кривизны r , начнёт окатывать внутренний профиль, что создаёт силу, центробежного давления, приложенную к устройству.



При этом интервал времени действия ускорения

$$\Delta t_2 = t_2 - t_1 \quad (6)$$

больше интервала Δt_1 , то есть

$$\Delta t_2 \gg \Delta t_1 \quad (7)$$

Для нашего случая полная энергия устройства описывается уравнением

$$E = \int_{t_1=0}^{t_2} m_1 \frac{dv'}{dt} \quad (8)$$

Это уравнение говорит о том, что мгновенное ускорение тем меньше, чем больше интервал действия ускорения.

Отсюда становится понятно, что чем больше радиус кривизны r пластины 1, тем меньше мгновенное ускорение, но больше интервал времени действия этого

ускорения, а чем меньше мгновенное ускорение, тем меньше потерь на динамический удар.

Таким образом, вогнутая пластина 1, (в дальнейшем ДЕФЛЕКТОР) является трансформатором, преобразующем энергию удара в давление растянутое во времени, без существенных потерь.

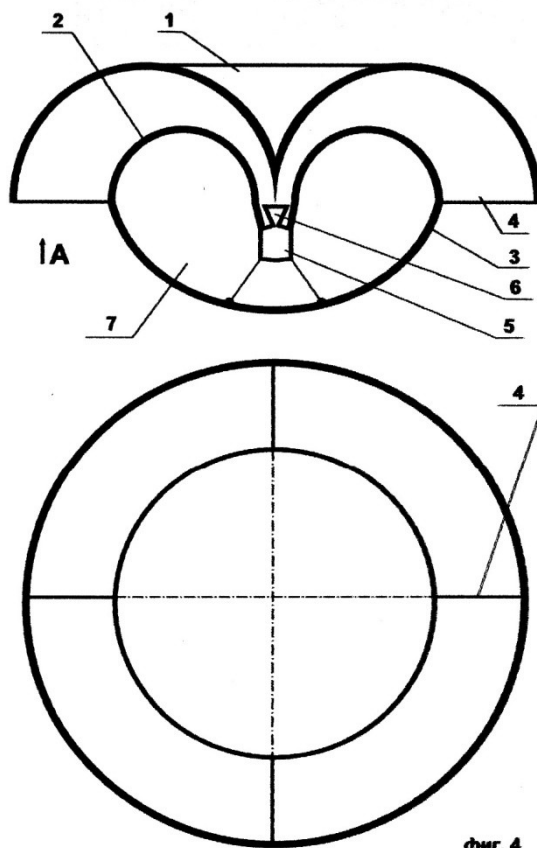
ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНОЙ ТЯГИ В КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

В основном, классическом, варианте дефлектор выполняется в виде полого полутора усечённого в плоскости большого диаметра.

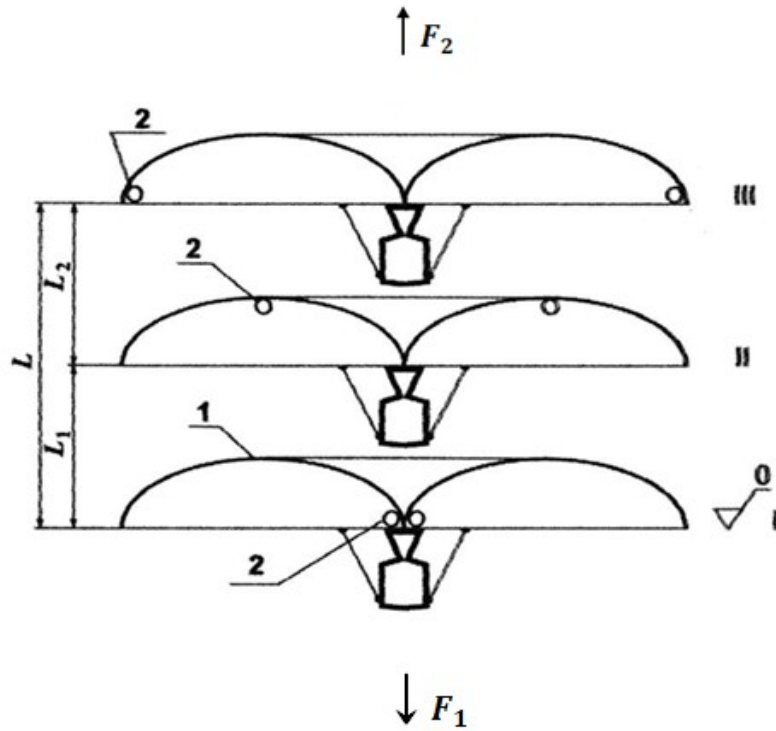
Схема силовой установки приведена на фиг. 4.

Здесь:

- 1- Дефлектор
- 2- Экран
- 3- Корпус
- 4- Перегородки
- 5- Газогенератор
- 6- газовые рули (сопло с изменяемым вектором тяги)
- 7- грузовой отсек



Принцип получения активной тяги рассматриваемой установки уясняется из приведённой схемы на фиг. 5. Здесь движение установки показано покадрово.



Фиг. 5

Предположим, что в качестве газогенератора используется реактивный двигатель. При истечении газа из газогенератора, создаётся реактивная тяга F_1 направленная согласно фиг. 5 вниз. В общем случае тяга описывается уравнением

$$F_1 = \rho s v^2 \quad (9)$$

где: F_1 - реактивная тяга
 ρ - плотность (масса) рабочего тела (газа)
 s - сечение сопла
 v - скорость рабочего тела.

Попав в активную зону рабочее тело, рассекается на конусе дефлектора 1 симметрично по внутренней поверхности полутора.

Рабочее тело, растекаясь по изогнутому профилю полутора, создаёт активную тягу F_2 равную

$$F_2 = 2 \rho s v^2 \quad (10)$$

Исходя из (9) и (10) тяга F_y силовой установки равна:

$$F_y = F_2 - F_1 = 2 \rho s v^2 - \rho s v^2 = \rho s v^2 \quad (11)$$

На приведённой схеме фиг. 5 рабочее тело рассекается на два потока влево и вправо.

Для лучшего понимания принципа движения представим газовый поток в виде сфер 2 окатывающих профиль дефлектора 1 со скоростью v .

На кадре I, рабочее тело 2 войдя в соприкосновение с дефлектором 1 создаёт тягу F_2 направленную, согласно фиг. 5, вверх.

На кадре II рабочее тело 2 переместилось дальше по контуру дефлектора, а сама силовая установка проделала путь L_1 .

На кадре III рабочее тело 2 переместилось к периферийным кромкам дефлектора (на выход), а силовая установка продвинулась ещё на путь L_2 .
Рабочее тело 2 проделав работу по перемещению силовой установки на путь:

$$L = L_1 + L_2 \quad (12)$$

сообщило ей некоторую скорость C по отношению к нулевому уровню инерциальной системы отсчёта см. фиг. 5.

Скорость рабочего тела на выходе силовой установки при этом стала равной v_1

Для силовых установок с активной тягой, характерны три режима работы:

1. Недонапряжённый режим – обусловлен тем, что рабочее тело 2, сообщив импульс движения силовой установке, теряет свою кинетическую энергию не дойдя до выхода. Недоиспользование всей площади дефлектора для преобразования энергии, приводит к недобору мощности установки, а так же к частичной потере мощности из-за тампонажа расширившегося газа на выходе установки.
2. Перенапряжённый режим – наступает в том случае, когда рабочее тело 2 проделав путь по всей площади дефлектора, покидает силовую установку с некоторой по отношению к ней скоростью v_1 . Скорость v_1 по отношению к силовой установке отрицательна, но по отношению к нулевому уровню положительна и равна:

$$\vec{v}'_1 = \vec{c} - \vec{v}_1 \quad (13)$$

3. Оптимальный режим – характерен тем, что скорость V_1 рабочего тела 2 на выходе силовой установки по отношению к ней равна нулю, то есть:

$$v_1 - c = 0 \quad (14)$$

В этом случае кинетическая энергия рабочего тела полностью переходит в энергию движения силовой установки.

Примечание: Экспериментально доказано, что для исключения тампонажа необходимо обеспечивать гарантийный сход рабочего тела с выхода силовой установки, для чего скорость схода v_1 делают несколько отличной от нуля, но не более 18м/сек., то есть:

$$18\text{м/сек} > v_1 > 0 \quad (15)$$

Это максимально допустимая скорость газового потока, действующая на человека по международному стандарту.

При перенапряжённом режиме активная тяга переходит в реактивную. Если

(реактивная тяга) реактивность R составляет 0,1 от общей тяги, то тяга считается активной.

Если реактивность R составляет 0,4-0,5, то тяга считается реактивной. Таким

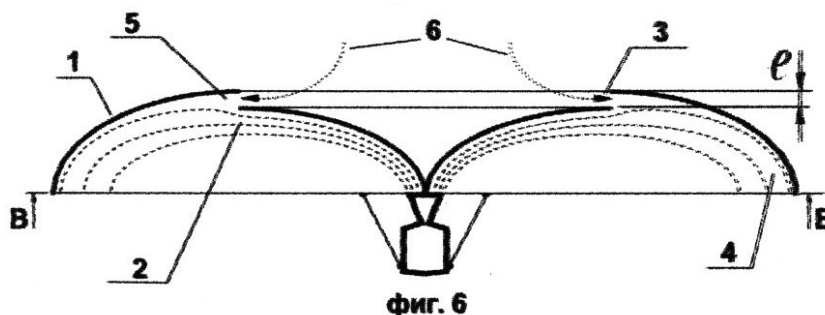
образом, вводится понятие коэффициента реактивности R .

Активная тяга силовой установки тем выше, чем меньше её скорость C . А в

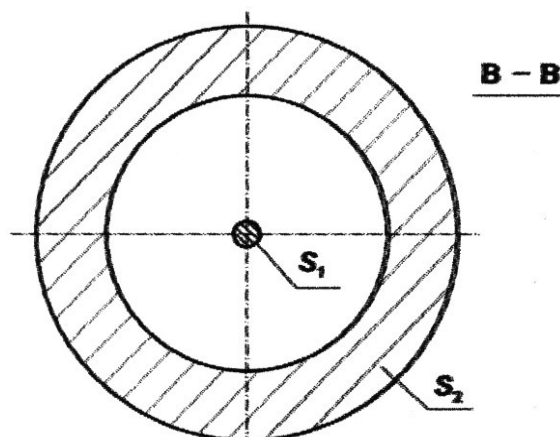
реактивной тяге наоборот. Реактивная тяга тем эффективней, чем выше скорость силовой установки.

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯГИ

Одним из способов увеличения тяги, является инжекция забортного воздуха в газовую струю создающую активную тягу. На фиг. 6 представлена схема устройства.



фиг. 6



фиг.7

Здесь дефлектор 1 образованный из полого полутора, разрезан по окружности лежащей на вершине полутора. Внутренняя часть полутора сдвинута внутрь на величину l , а потому образуется круговой уступ 2 (в дальнейшем РЕДАН). Между внешней частью дефлектора и внутренней, образуется кольцевая щель 3. Газовая струя 4 отрываясь от редана 2, образует кольцевую зону разрежения 5, куда втягивается забортный воздух 6, тем самым создаётся дополнительная тяга.

ПОБОЧНЫЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ МОМЕНТЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ АКТИВНОЙ ТЯГИ

В случае аварийного выключения двигателя, рассматриваемая, конструкция фиг. 6 представляет из себя парашют. В этом случае купол парашюта образован дефлектором 1, а отверстием в парашюте служит кольцевая щель 3.

Данная конструкция при падении не подвержена кувырканию и будет опускаться без ускорения.

По мнению авторов, активная тяга найдёт применение в устройствах вертикального взлёта и посадки (УВВП).

Перечислим ряд преимуществ активной тяги перед реактивной:

1. Низкий уровень шумов исходящего газа.
2. Взлёт и посадка космических и авиационных аппаратов возможна без применения пусковых установок и взлётно посадочных полос из-за низкой скорости и низкой температуры исходящих газов на единицу площади струи.
3. Расположение двигателя на оси устройства и управляющих моментов на периферии обеспечивает максимальную стабилизацию УВВП по курсу и тангажу в режиме висения, а в полёте – высокую маневренность.
4. Решающим условием для получения лётных характеристик на режиме висения является наименьшая возможная затрата мощности на создание подъёмной тяги, то есть отношение $F_0/P_{ид}$ является мерой экономичности полёта на режиме висения.

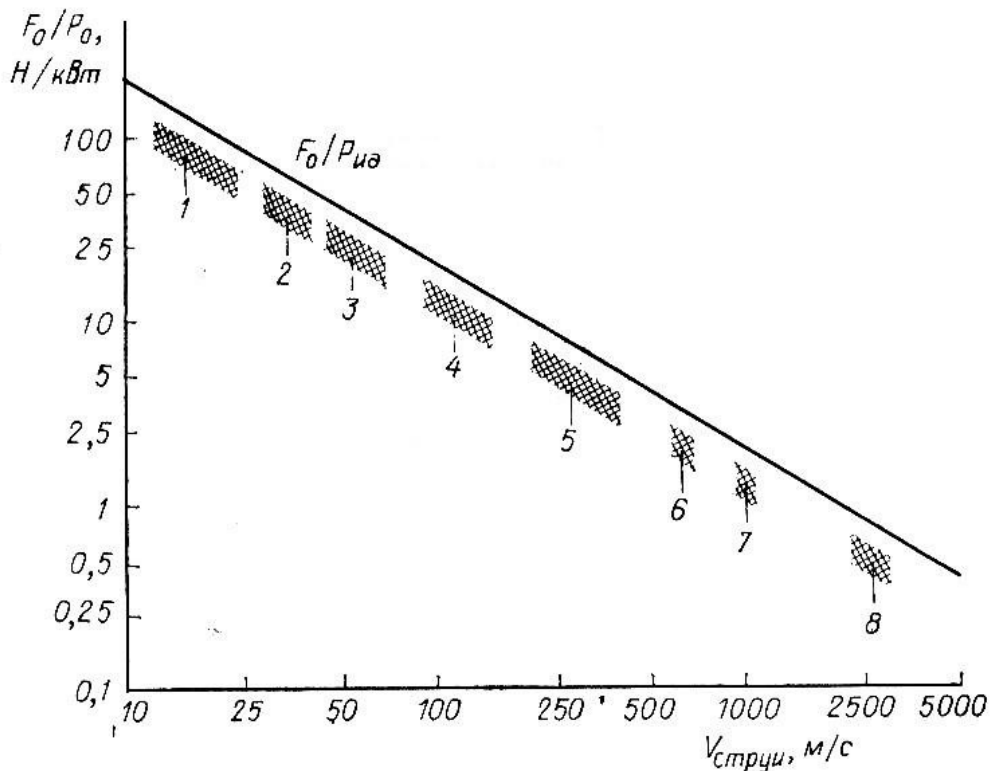
$$\frac{F_0}{P_{ид}} = \frac{2}{V_{струи}} \quad (16)$$

Здесь:

F_0 – тяга

$P_{ид}$ - мощность, затрачиваемая на создание подъёмной тяги в предположении идеального процесса (без потерь).

График зависимости отношения тяги F_0 к реальной мощности P_0 от скорости струи $V_{струи}$ для разных типов двигателей представлен на фиг. 8.



Фиг. 8. Зависимость отношения тяги к мощности от скорости струи для различных типов двигателей.

- 1- Вертолётный несущий винт
- 2- Поворотный несущий винт
- 3- Поворотный винтовой двигатель
- 4- Вентилятор

- 5- Двухконтурный двигатель
- 6- Одноконтурный двигатель
- 7- Турбореактивный двигатель с форсажной камерой
- 8- Ракетный двигатель

На графике видно: Что чем больше площадь исходящих газов на выходе УВВП и чем меньше скорость этих газов, тем больше тяга, и меньше мощность, затраченная на создание этой тяги.

Сравнивая тягу вертолётного винта с тягой ракетного двигателя мы убеждаемся, что тяга вертолётного винта больше реактивной тяги в 200 (двести) раз!, при одной и той же затрачиваемой мощности.

Рассматривая фиг.6 и фиг.7 мы видим, что: площадь S_1 газов на входе дефлектора несоизмеримо меньше площади S_2 на выходе.

Список используемой литературы:

1. Эдель Ю.У. «Ковшовые гидротурбины», Л., 1980, стр.45.
2. Малая Советская энциклопедия, том 7, м., стр. 951.
3. К. Хафер «Техника вертикального взлёта и посадки» М.

«Мир» 1985г. Стр. 52.

Приложение:

На фото – 1 и фото – 2 представлен экспериментальный дефлектор



Фото – 1
Вид сверху

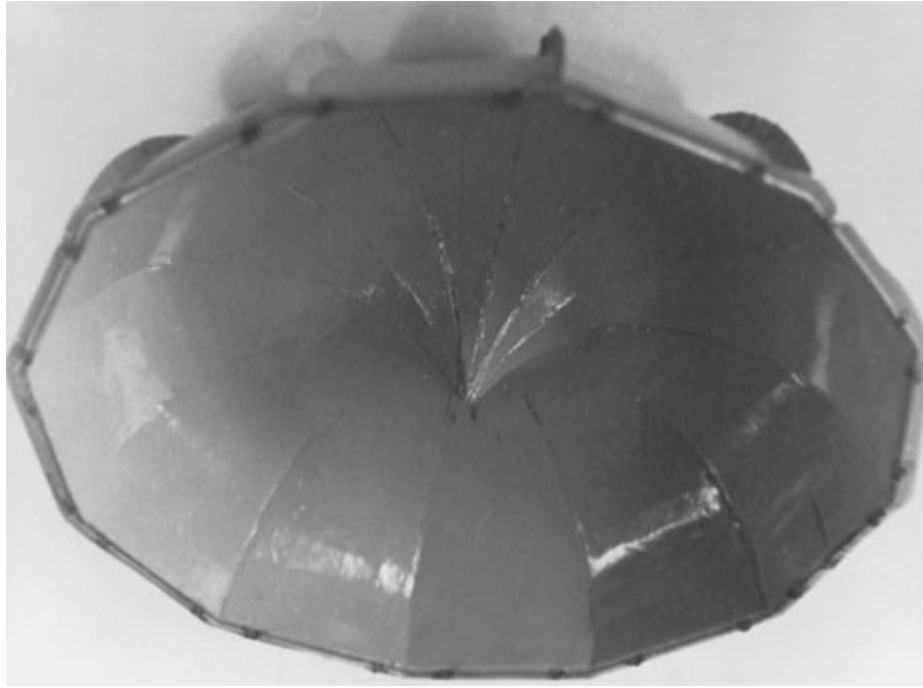


Фото – 2
Вид с низу