

# ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В БЕЗВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Юрий Борисович Назаренко, к.т.н., ведущий конструктор  
ОКБ им. А. Льюки - филиал ПАО "ОДК-УМПО"

*Рассматривается центробежный движитель для создания тяги летательного аппарата в безвоздушном пространстве, работающий от электрической энергии.*

*Consider centrifugal propulsion for creating thrust of the aircraft apparatus in airless space, working on electric energy.*

**Ключевые слова:** центробежный движитель, ротор, импульс движения, тяга.

**Keywords:** centrifugal propulsion, rotor, impulse movement, thrust.

## Введение

В настоящее время для полетов в безвоздушном пространстве наиболее часто используют ракеты, работа двигателей которых основана на реактивном принципе. Реактивный принцип основан на выбросе двигательной установкой летательного аппарата некоторой массы вещества, называемой рабочим телом (как правило, это продукты сгорания топлива) и сообщения летательному аппарату импульса энергии (тяги), благодаря которому и осуществляется полет ракеты [1].

Для коррекции, ориентации, стабилизации и для незначительного разгона космических летательных аппаратов используют ЖРД малой тяги. Одним из основных недостатков ЖРДМГ является ограниченный ресурс, определяемый массой топливного реагента [2].

Предлагается новый принцип создания тяги двигателя в безвоздушном пространстве, основанный на применении центробежного движителя при использовании электрической энергии.

## 1 Конструкция движителя

Эффект создания тяги летательного аппарата заключается в реализации кинетической энергии рабочего тела под действием центробежных сил движителя.

Это реализуется следующим образом. Центробежный движитель содержит корпус (статор) 1, в котором с возможностью вращения посредством привода смонтирован ротор 2 (рис. 1).

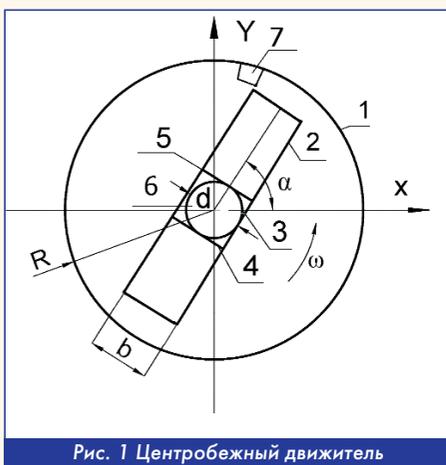


Рис. 1 Центробежный движитель

В качестве привода вращения ротора использован стандартный регулируемый по частоте вращения электродвигатель, оснащенный блоком управления, выходной вал которого кинематически связан с ротором.

В роторе 2 имеется радиальный канал 3, шириной "b", проходящий через ось вращения ротора 2. С одной стороны радиальный канал 3 перекрыт упором 4, а другая сторона канала открыта. Движитель оснащен заслонкой 5, смонтированной на роторе с возможностью перемещения посредством привода, связанного с системой управления. Заслонка 5 имеет два положения: "закрыто", при котором она перекрывает радиальный канал 3, и "открыто", при котором радиальный канал 3 открыт.

В радиальном канале 3 между упором 4 и заслонкой 5 помещено рабочее тело 6, массой m, имеющее возможность перемещения по каналу. В качестве рабочего тела могут быть использованы, например, шарик, цилиндр и пр. На статоре имеется выполненный в виде выступа отражатель 7, имеющий возможность контакта с рабочим телом 6.

При неработающем движителе перемещение рабочего тела 6 по радиальному каналу 3 ограничено с одной стороны размещенным в канале упором 4, а с другой стороны заслонкой 5, находящейся в положении "закрыто".

Рабочее тело 6 при этом расположено в зоне оси вращения ротора 2, то есть, находится в исходном положении с некоторым смещением от центра.

В исходном положении движителя привод вращения ротора 2 отключен. Рабочее тело 6 находится в радиальном канале 3 между упором 4 и заслонкой 5, а его центр массы расположен в зоне оси вращения ротора.

## 2 Расчет тяги движителя

При поступлении команды на включение движителя включается привод, который приводит ротор 2 во вращение со скоростью  $\omega$ . При раскрутке ротора до заданной скорости вращения и в определенный момент времени дается команда на привод перемещения регулируемой заслонки 5, в результате чего она открывается и освобождает канал 3. В результате, рабочее тело 6 (пусть это будет шарик, диаметром d) перемещается по радиальному каналу 3 в сторону статора 1 под действием центробежной силы

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (1)$$

где: m - масса рабочего тела; r - расстояние рабочего тела от оси вращения ротора;  $\omega$  - круговая скорость вращения рабочего тела.

Ускорение рабочего тела под действием центробежных сил в радиальном направлении представим в виде

$$a = A \cdot e^{Bt}, \quad (2)$$

где A и B - постоянные коэффициенты, t - время от начала движения рабочего тела.

Скорость рабочего тела в радиальном направлении будет равна

$$V = \int_0^t a \cdot dt = A \cdot e^{Bt} / B. \quad (3)$$

Путь, проходимый рабочим телом в радиальном направлении, составит

$$r = \int_0^t V \cdot dt = A \cdot e^{Bt} / B^2, \quad (4)$$

Из условия линейной зависимости центробежного ускорения от радиальной координаты при коэффициенте пропорциональности  $\omega^2$ , определим параметр "B" из отношения

$$\frac{A \cdot e^{Bt}}{A \cdot e^{Bt} / B^2} = \omega^2 \quad (5)$$

из которого будет получено, что  $B = \omega$ .

Параметр "A" определим из зависимости радиального перемещения во времени с учетом первоначального смещения рабочего тела от центра на расстоянии  $\lambda$  в момент времени  $t = 0$  из выражения

$$A = \lambda \cdot \omega^2. \quad (6)$$

Для определения времени от начала движения рабочего тела до его соударения со статором "Т", подставим значение параметра

ров "А" и "В" в уравнение радиальной координаты при движении рабочего тела под действием центробежной силы

$$R = \lambda \cdot e^{\omega t}, \quad (7)$$

где  $R$  - радиус ротора (радиус центра тяжести рабочего тела) при контакте рабочего тела со статором;  $T$  - время движения рабочего тела до соударения со статором.

В результате будем иметь

$$T = \ln(R/\lambda)/\omega. \quad (8)$$

В результате рабочее тело перемещается по каналу 3 и его контакт со статором 1 в радиальном направлении осуществляется по направлению движения рабочего тела.

При реализации радиального контакта рабочее тело получает контакт также и в окружном направлении из-за его соударения об отражатель 7 статора 1, при этом ротор тормозится, так как половина рабочего тела находится в радиальном канале 3 и останавливается.

Для устранения повторного удара рабочего тела после отскока, как в радиальном, так и в окружном направлении, его соударение должно быть не упругим. Это может быть реализовано при демпфировании удара в зоне радиального и окружного контакта рабочего тела о статор.

Учитывая, что на выходе из радиального канала 3 ротора 2 рабочее тело имеет скорость  $V_R$ , то при контакте его со статором 1 происходит удар, в результате чего статор, а, следовательно, и летательный аппарат, на котором он установлен, получает импульс движения.

Из закона сохранения импульса при неупругом единичном соударении в радиальном направлении летательный аппарат получит скорость

$$U_1 = \frac{m \cdot V_R}{m + M}, \quad (9)$$

а в окружном направлении при неупругом соударении скорость будет равна

$$U_2 = \frac{m \cdot V_O}{m + M}, \quad (10)$$

где:  $M$  - масса летательного аппарата;  $m$  - масса рабочего тела;  $V_R, V_O$  - радиальная и окружная скорость шарика.

Результирующая скорость летательного аппарата будет равна

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}. \quad (11)$$

После возвращения рабочего тела в исходное положение, благодаря скорости, которую получает рабочее тело при отскоке от статора в радиальном направлении (обеспечивается заданным демпфированием отскока в радиальном направлении), регулируемая заслонка 5 закрывается и рабочее тело находится между упором 4 и заслонкой 5.

Следующий цикл работы движителя осуществляется аналогично описанному выше, для чего между выступом 7 и радиальным каналом 3 ротора 2 должен быть зазор.

Время одного цикла работы движителя определяется временем перемещения рабочего тела в радиальном направлении до его соударения и временем его возвращения в исходное положение

$$T_0 = \ln(R/\lambda)/\omega + R/\bar{V}_R, \quad (12)$$

где  $\bar{V}_R$  - скорость отскока рабочего тела при неупругом соударении в радиальном направлении.

При перемещении рабочего тела в радиальном направлении его окружная скорость будет увеличиваться под действием силы, передаваемой радиальным каналом ротора

$$V_O = r \cdot \omega = \lambda \cdot e^{\omega t} \cdot \omega. \quad (13)$$

Ускорение рабочего тела в окружном направлении составит

$$\alpha_O = dV_O/dt = \lambda \cdot e^{\omega t} \cdot \omega^2. \quad (14)$$

При этом сила будет равна  $F = m \cdot \alpha_O$

Точно такая же сила будет действовать в противоположном направлении на ротор, и она будет направлена по полету в секторе  $-3\pi/2 < \alpha < -\pi/2$  и против полета в секторе  $-\pi/2 < \alpha < \pi/2$ .

Проекция окружной силы в направлении против полета при пе-

ремещении рабочего тела от исходного положения к периферии ротора в интервале времени  $0 < t < T$  будет равна

$$F = -m \cdot \lambda \cdot e^{\omega t} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t - \alpha_H), \quad (15)$$

где  $\alpha_H$  - угол начала движения рабочего тела в радиальном направлении к периферии ротора.

Скорость, которую получит объект при движении рабочего тела от исходного положения до периферии, определится из выражения

$$V = -\int_0^T \alpha_O dt = -\int_0^T \frac{m \cdot \lambda \cdot e^{\omega t} \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t - \alpha_H)}{M} dt, \quad (16)$$

где  $\alpha_O$  - ускорение летательного аппарата,  $\alpha_O = F/M$ ;  $F$  - окружная сила при раскрутке рабочего тела в окружном направлении.

Так как окружная и радиальная скорости в момент соударения равны, контакт рабочего тела должен происходить при угле  $\alpha_K = 45^\circ$ , при котором результирующая скорость направлена по оси  $Y$ .

Суммируя вектор скорости (по полету), которую получает летательный аппарат при соударении рабочего тела 6 со статором 1 в радиальном направлении и о выступ 7 в окружном направлении, и скорость, которую получит объект при окружном ускорении рабочего тела при его движении от исходного положения до периферии, получаем результирующее приращение скорости летательного аппарата за один оборот ротора.

Устранение бокового движения аппарата при разгоне рабочего тела возможно при соосной установке двух движителей, работающих с противоположным вращением при одновременном соударении и совпадением вектора перемещения по полету.

Центробежный движитель при радиусе ротора  $R = 0,2$  м и скорости его вращения  $\omega = 400$  с<sup>-1</sup>, а также массе рабочего тела 0,1 кг и при  $\alpha_H = -4,5$  рад, обеспечит приращение скорости летательного аппарата массой  $M = 500$  кг за один цикл 0,0093 м/с, что соответствует тяги движителя 351 Н.

При скорости отскока от неупругого соударения в радиальном направлении 2 м/с (результирующая скорость летательного аппарата уменьшается в этом случае на 2%) приращение скорости за одну секунду составит 0,08 м/с.

### Выводы

Использование центробежного движителя малой тяги, работающего от электрической энергии, для создания осевой силы летательного аппарата в безвоздушном пространстве возможно, что позволяет отказаться от реактивной тяги путём сжигания химического реагента и выброса рабочего тела (продуктов сгорания). **П**

### Литература

1. А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов и др. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. М.: Высшая школа, 1983, 703с.
2. Ю.И. Агеенко, И.Г. Панин, И.В. Пегин, И.А. Смирнов. Основные достижения в ракетных двигателях малой тяги разработки конструкторского бюро им. А.М. Исаева // Двигатель, №2, 2014, С. 24-26.

Связь с автором: nazarenko.yuri@gmail.com

