



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

Институт двигателей и энергетических установок
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Глава 2. Термогазодинамический расчет рабочего процесса ГТД

§ 2.8. Тяга движителя

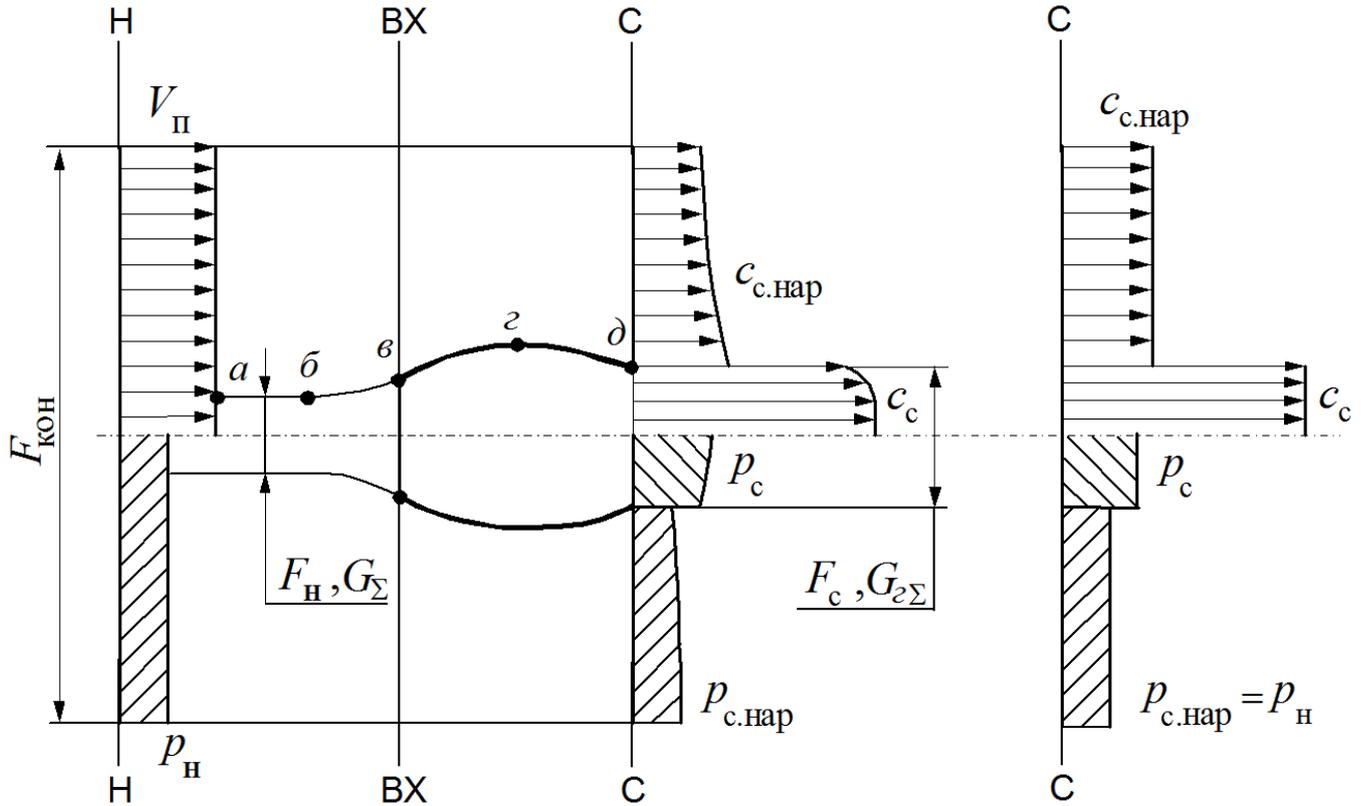
Тягой называется реактивная сила, которая развивается двигателем в результате его взаимодействия с рабочим телом. Тяга возникает вследствие того, что двигатель отбрасывает рабочее тело в сторону, противоположную полету, действуя на него с определенной силой. С такой же силой, но противоположно направленной, рабочее тело воздействует на двигатель, образуя реактивную силу (тягу).

Тяга рассчитывается с помощью теоремы импульсов, согласно которой изменение полного импульса потока рабочего тела, проходящего через замкнутый контур, равно равнодействующей всех внешних сил, приложенных к объему рабочего тела, заключенного в этом контуре.

Расчетная схема

Осредненные параметры

на выходе



Исследуемый замкнутый контур образован двумя сечениями, расположенными перпендикулярно потоку (сечением Н невозмущенного потока перед двигателем и сечением С на выходе из двигателя), и цилиндрической поверхностью, расположенной на достаточно большом расстоянии от двигателя.

Сечение Н и цилиндрическая поверхность выбираются на таком расстоянии от двигателя, на каком параметры потока можно считать невозмущенными: давление равно атмосферному, а скорость потока равна скорости полета (двигатель предполагается неподвижным, а воздух – движущимся со скоростью полета).

Для выбранного контура теорема импульсов может быть записана следующим образом:

$$P_{\text{эф}} = \Phi_{\text{С}} - \Phi_{\text{Н}}.$$

$P_{\text{эф}}$ – эффективная тяга, направленная против направления движения потока и представляющая собой равнодействующую всех сил, приложенных к внутренним и внешним поверхностям двигателя.

Выделим составляющие полного импульса:

$$P_{\text{эф}} = (\Phi_C - \Phi_H)_{\text{вн}} + (\Phi_C - \Phi_H)_{\text{нар}} = P' + X'.$$

$P' = (\Phi_C - \Phi_H)_{\text{вн}}$ – результирующая всех сил, действующих на контур *абвгд* со стороны внутреннего потока;

$X' = (\Phi_C - \Phi_H)_{\text{нар}}$ – результирующая всех сил, действующих на контур *абвгд* со стороны наружного потока.

В общем случае полный импульс – величина векторная, а результирующая сила должна определяться как разность векторов. В рассматриваемом случае поток не изменяет своего направления, а величины P' и X' представляют собой проекции указанных сил на ось двигателя.

Силы действия потока на контур складываются из сил нормального давления рабочего тела на этот контур и тангенциальных сил трения. При этом, радиальные составляющие этих сил уравниваются в силу того, что контур *абвгд* – круговая поверхность и поток осесимметричный).

Выразим силы P' и X' через осредненные параметры потока:

$$P' = (G_{\Sigma} \cdot c_C + F_C \cdot p_C) - (G_{\Sigma} \cdot V_{\Pi} + F_H \cdot p_H);$$

$$X' = (G_{\text{нар}} \cdot c_{\text{Снар}} + (F_{\text{кон}} - F_C) p_H) - (G_{\text{нар}} \cdot V_{\Pi} + (F_{\text{кон}} - F_H) p_H);$$

$$P' = G_{\Sigma} (c_C \cdot v_C - V_{\Pi}) + F_C \cdot p_C - F_H \cdot p_H;$$

$$X' = G_{\text{нар}} (c_{\text{Снар}} - V_{\Pi}) + (F_H - F_C) p_H.$$

Сила P' – положительна, а X' – отрицательна, то есть направлена по движению потока.

Величина $(F_H - F_C) p_H$ представляет собой проекцию на ось двигателя силы атмосферного давления, действующего на контур $abvzd$ со стороны наружного потока.

Подставляя формулы для P' и X' в формулу для определения $P_{\text{эф}}$, получаем

$$P_{\text{эф}} = G_{\Sigma} (c_C \cdot v_C - V_{\Pi}) + F_C (p_C - p_H) + G_{\text{нар}} (c_{\text{Снар}} - V_{\Pi}).$$

В полученном уравнении обозначим:

$$P = G_{\Sigma}(c_C \cdot v_C - V_{\Pi}) + F_C(p_C - p_H);$$
$$X = -G_{\text{нар}}(c_{C\text{нар}} - V_{\Pi}).$$

Тогда

$$P_{\text{эф}} = P - X.$$

Реактивную силу P называют внутренней тягой или просто **тягой движителя**. Внутренняя тяга является результирующей сил нормального избыточного (по сравнению с атмосферным) давления и тангенциальных сил трения, действующих на контур *абвгд* со стороны рабочего тела, проходящего через движитель.

Тягу двигателя можно представить как разность между тягой сопла и входным динамическим импульсом потока в сечении Н:

$$P = P_C - J_{\text{вх}} = (G_C \cdot c_C + F_C(p_C - p_H)) - (G_{\Sigma} \cdot V_{\Pi}).$$

Сила X выражает **внешнее сопротивление движителя**.

Внешнее сопротивление складывается из сил давления (отличного от атмосферного) на контур $abvzd$ с внешней стороны и сил трения, которые возникают вследствие обтекания мотогондолы двигателя внешним потоком. Силы давления являются следствием искривления линий тока внешнего потока, обтекающего контур $abvzd$, в том числе следствием волнового сопротивления и взаимодействия двух потоков (внешнего потока и струи рабочего тела, проходящего через движитель).

Величину X обычно рассчитывают по формуле

$$X = c_x \cdot q_H \cdot F_{\text{mid}} \cdot$$

На этапе проектирования при дозвуковых скоростях коэффициент внешнего сопротивления c_x можно принять равным 0,05...0,1.

Таким образом, эффективная тяга равна разности между внутренней тягой и силой внешнего сопротивления движителя. Она затрачивается на совершение полезной работы по преодолению внешнего сопротивления летательного аппарата и его инерции. Внутренняя тяга затрачивается, кроме того, для преодоления внешнего сопротивления, создаваемого в полете самим движителем.

Тяга образуется во всех элементах, где есть изменение полного импульса, и является результирующей всех сил, приложенных ко всем поверхностям движителя.

Тяга передается от движителя к летательному аппарату через подвески двигателя.