

ПРИНЦИП ПРОФИЛИРОВАНИЯ КАНАЛОВ И ВЫБОРА ЧИСЛА ЛЕПЕСТКОВ СМЕСИТЕЛЯ ТРДД

Медведев В.В.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

THE PRINCIPLE OF LOBE MIXER DUCTS PROFILING AND LOBE NUMBER ESTIMATING APPLYING TO BYPASS AVIATION ENGINES

Medvedev V.V. The principle of lobe mixer ducts profiling and lobe number estimating applying to bypass aviation engines is proposed. The principle is formulated on the base of energy balance and mass flow equations with the purpose of bypass aviation engines performance improvement.

Основная цель применения смесителя в ТРДД - использовать смешение потоков контуров для повышения тяги и снижения уровня шума. Увеличение числа лепестков обеспечивает более быстрое выравнивание параметров в окружном направлении по сравнению с радиальным, однако приводит к росту гидравлических потерь и снижению полезного эффекта. Поэтому в большинстве реализованных конструкций число лепестков $z \leq 18$, хотя в литературе не представлено четкого обоснования выбора z . Смесители проектируются с постоянной шириной каналов как наружного, так и внутреннего контура, что говорит об отсутствии единых общепринятых и обоснованных критериев профилирования.

В реальных конструкциях ТРДДсм смеситель не позволяет обеспечить полное радиальное выравнивание температур даже в пределах высоты лепестка $h_{см}$ из-за рассогласования расходов через элементарные площадки dF_1 и dF_2 на произвольном радиусе r_i (рис. 1).

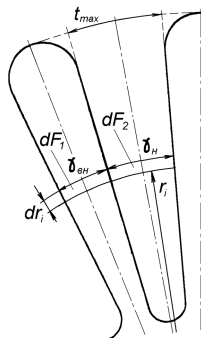


Рис. 1. К выводу уравнения постоянства $T_{см}^*$ по радиусу

Расходы по каналам смесителя на каждом r_i должны быть такими, чтобы в результате смешения была обеспечена температура смеси $T_{см}^*$. Если это условие нарушено, то даже в случае окружного выравнивания параметров потока в пределах камеры смешения радиальная неравномерность температуры останется. А для ликвидации этой неравномерности необходимо увеличивать число калибров камеры смешения, причем это число будет определяться уже высотой лепестка $h_{см}$, а не величиной его ширины t_{max} , которая, будучи в несколько раз меньше $h_{см}$, обеспечивает достаточное число калибров ($l_{к см}/t_{max} \geq 8 \dots 10$) для ликвидации окружной неравномерности.

На рис. 2 представлены поля избыточных относительных температур

$$\bar{T}^* = \frac{T^* - T_H^*}{T_{вн}^* - T_H^*}$$

на срезе сопел ТРДД_{см} НК-86, НК-56 и Е³.

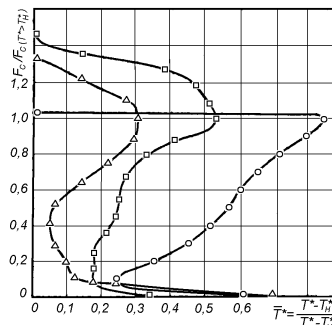


Рис. 2. Поля температуры на срезе сопел ТРДД_{см} Δ - Е³; O - НК-86; \square - НК-56

При полном смешения необходимо получить температуру $T_{\text{см}}^*$. Значения \bar{T}^* ниже значений, соответствующих $T_{\text{см}}^*$, будут свидетельствовать об избытке воздуха на данном радиусе, и наоборот. Значение $\bar{T}_{\text{см}}^*$, соответствующее $T_{\text{см}}^*$, можно найти, если вместо текущего значения T^* в числителе подставить $T_{\text{см}}^*$. Для удобства используем среднemasсовое значение $T_{\text{см}}^*$:

$$T_{\text{см}}^* = T_{\text{н}}^* \frac{\theta + m}{1 + m},$$

где $\theta = T_{\text{вн}}^*/T_{\text{н}}^*$ отношение температур потоков в контурах; m – степень двухконтурности. Тогда

$$\bar{T}_{\text{см}}^* = \frac{1}{1 + m}.$$

Для двигателей НК-86, НК-56 и Е³ величина $\bar{T}_{\text{см}}^*$ равна соответственно 0,46; 0,182; 0,133. Таким образом (см. рис. 2), только смеситель двигателя НК-56 подает в центральную область камеры смешения необходимое количество воздуха наружного контура, но не обеспечивает достаточного понижения температуры газа внутреннего контура на больших радиусах.

В качестве принципа профилирования рассмотрим условие обеспечения постоянства $T_{\text{см}}^*$ по радиусу в пределах высоты лепестка $h_{\text{см}}$, что может быть реализовано в современных ТРДД_{см} за счет подбора $t_{\text{мах}}$ (выбора числа z , см. рис. 1). Для элементарных площадей dF_1 и dF_2 уравнение сохранения энергии:

$$T_{\text{вн}}^* dG_1 + T_{\text{н}}^* dG_2 = T_{\text{см}}^* (dG_1 + dG_2).$$

после преобразований дает формулу:

$$\gamma_{\text{вн}} = \frac{\sqrt{\theta}}{m} \bar{m} \bar{p}^* \bar{q}(\lambda) \gamma_{\text{н}}, \quad (1)$$

где на срезе смесителя $\bar{q}(\lambda) = q(\lambda_2)/q(\lambda_1)$ – отношение газодинамических функций; \bar{p}^* – отношение полных давлений; m – учитывает различие показателей адиабат и газовых по-

стоянных, для $k_2 \approx 1,4$ и $k_1 \approx 1,33$ величина $m \approx 1,02$.

Из (1) видно, что обеспечение постоянства $T_{\text{см}}^*$ по радиусу требует определенного соотношения между $\gamma_{\text{вн}}$ и $\gamma_{\text{н}}$. Также можно определить потребное z для двигателей с различными значениями m .

Поскольку $l_{\text{к см}}/t_{\text{мах}} \geq 8 \dots 10$, а с другой стороны $t_{\text{мах}} \approx r_{\text{мах}} \gamma_{\text{мах}}$, то с помощью (1) может быть определен другой угол γ , и оценено число лепестков z , т.к. $z = 360/(\gamma_{\text{вн}} + \gamma_{\text{н}})$. При этом $t_{\text{мах}}$ может относиться как к внутреннему, так и к наружному контуру. Предварительная оценка соотношения между $\gamma_{\text{вн}}$ и $\gamma_{\text{н}}$ также может быть выполнена с помощью (1), т.к. для заданного ТРДД_{см} параметры m , \bar{p}^* , $\bar{q}(\lambda)$ известны.

Для современных ТРДД_{см} произведения $\bar{m} \bar{p}^* \bar{q}(\lambda) \approx 1,0$, поэтому из (1):

$$\gamma_{\text{вн}} = \frac{\sqrt{\theta}}{m} \gamma_{\text{н}}. \quad (2)$$

Освоенные значения $\theta = 2,2 \dots 3,0$, откуда $\theta^{0,5} = 1,5 \dots 1,7$, т.е. изменяется незначительно. Поэтому, если $m > 1,5 \dots 1,7$, то $\gamma_{\text{вн}}$ должно быть меньше $\gamma_{\text{н}}$. В частности, для ТРДД_{см} с $m = 5,0$ $\gamma_{\text{вн}} \approx (0,3 \dots 0,4) \gamma_{\text{н}}$, а для двигателя с $m = 1,0$ $\gamma_{\text{вн}} \approx (1,5 \dots 1,7) \gamma_{\text{н}}$.

Для оценки потребного z рассмотрим упрощенную схему камеры смешения, в которой высота смесителя $h_{\text{см}}$ равна высоте канала смешения H , т.е. использован смеситель с полным перекрытием. Пусть для камеры смешения с $m = 5,0$ число калибров в окружном направлении $a = l_{\text{к см}}/t_{\text{мах}}$ и в радиальном $\bar{l}_{\text{к см}} = l_{\text{к см}}/r_{\text{мах}}$. Рассматривая совместно выражения для a , $\bar{l}_{\text{к см}}$ а также условие $t_{\text{мах}} \approx r_{\text{мах}} \gamma_{\text{мах}}$, находим:

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{2\bar{l}_{\text{к см}}}{a}.$$

Подставляя в последнее выражение характерные значения $\bar{l}_{\text{к см}} = 1,0$, $a = 10$, получаем $\gamma_{\text{н}} \approx 12^\circ$, $\gamma_{\text{вн}} \approx 0,4 \gamma_{\text{н}} \approx 5^\circ$, $\gamma_{\text{вн}} + \gamma_{\text{н}} \approx 18^\circ$, $z = 360/18 = 20$. Таким образом, для ТРДД_{см} с $m = 5,0$ и относительной длиной камеры смешения в один калибр число лепестков смесителя должно быть порядка 20. Отме-

тим, что смесители ТРДД_{см} Д-30, Д-30КП имеют $z=16$, а у двигателей НК-8, НК-86 $z=18$, т.е. у этих двигателей, имеющих \bar{l}_k _{см}~1,5 потребное число лепестков завышено, а профилирование проточной части их каналов не обеспечивает постоянства температуры по радиусу, т.е. снижает возможный выигрыш в тяге как от смешения, так и от повышенных гидравлических потерь из-за увеличенной поверхности трения смесителя.

Принцип обеспечения постоянства T^* _{см} по радиусу принят при условии полного пе-

рекрытия лепестками входного сечения камеры смешения, т.е. при $\bar{h}_{см}=1,0$, что сопровождается недопустимо большим уровнем потерь. Поэтому при стремлении к T^* _{см} ограничение по $\bar{h}_{см}$ приводит к некоторому отклонению формы проточной части каналов смесителя от секторной. В частности, периферийная ширина лепестка должна быть увеличена, а корневая, соответственно, уменьшена.

УДК 89.25.25

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Белогуров А.И., Колбая Т.Ч., Рачук В.С.

ОАО "Конструкторское бюро химавтоматики", г. Воронеж

PROBLEMS DEVELOPMENT OF NUCLEAR ELECTRIC PROPULSION

Belogurov A.I., Kolbaya T.Ch., Rachuk V.S. This article describes the analysis of the development issues of nuclear electric propulsion system for spacecraft. The options of their principal solutions are considered.

Для решения энергоемких космических задач, таких как пилотируемые экспедиции на Марс, освоение Луны, создание системы защиты Земли от астероидной опасности, а также задач более близкой перспективы, связанных с увеличением полезных грузов, выводимых ракетносителями семейства "Ангара" на геостационарные орбиты (высокоэффективный радиолокационный контроль объектов на земной поверхности, в воздушном и космическом пространстве; глобальные системы связи высокой производительности; межорбитальные буксиры и др.) требуется кардинальное повышение потенциальных возможностей ракетной техники на базе использования ядерной энергии, позволяющей выйти на новый уровень энергообеспечения и обеспечения высоких экономических показателей двигательных и энергетических установок космического аппарата (КА). В соответствии с президентской программой "Модернизация технологического развития экономики России" предсто-

ит создать в течение 2010-2018 гг. прототип ядерной энергетической двигательной установки мегаваттного класса транспортно-энергетического модуля для решения высокоэнергетических задач ближнего и дальнего космоса.

В настоящее время в ракетной технике в качестве мощных разгонных и маршевых выступают двигатели, в которых используется энергия химических реакций, газодинамический принцип преобразования энергии в тягу. Они с успехом выводят КА на околоземную орбиту. Однако, даже для перемещений КА на высокоэнергетические орбиты (например, геостационарные) целесообразно использование электрических ракетных двигателей (ЭРД). ЭРД характеризуются невысокой тяговооруженностью, но, имея удельный импульс тяги на порядок выше, они для достижения заданной скорости позволяют расходовать значительно меньшие объемы рабочего тела, что, в свою очередь, уменьшает общую массу КА.