

уменьшении $d_{яч}$ для 1-2 мм эффект охлаждения и холодопроизводительность ВТ увеличиваются во всем интервале изменения M . Адиабатный к.п.д. при этом в режиме максимального эффекта охлаждения ($\mu = 0,35$) достигает величины 20% (влажный воздух $\varphi = 90\%$).

Полученные экспериментальные данные для исследованной конструкции ВТ позволяют сделать следующие выводы:

1) величина зарешеточного пространства имеет оптимальное значение, равное 6 мм, и дальнейшее его увеличение не сказывается на эффективности работы ВТ;

2) при равенстве диаметра АР выходному диаметру ВТ отмечено смещение максимума эффекта охлаждения в область $M = 0,35$;

3) замена квадратной формы ячеек АР на более технологичную круглую не приводит к изменениям характеристик;

4) при уменьшении диаметра ячеек АР наблюдается увеличение эффекта охлаждения и холодопроизводительности ВТ, при этом максимум эффекта охлаждения соответствует значению $M = 0,35$.

Л и т е р а т у р а

1. Метенин В.И. Исследование вихревых температурных разделителей сжатого газа. - Журн. техн. физики, 1960, т. 30, вып. 9, с.1095-1103.

2. А.с. 819526 (СССР). Вихревая труба. В.И.Метенин. - Опубл. 7.04.81 в Б.И. № 13.

3. Савельев С.Н. Исследование вихревых труб. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Одесский технологический институт холодильной промышленности, 1980.

УДК 532.527

В.В.Бирюк, В.А.Курочкин, В.М.Сукчев, Г.А.Смоляр

РАСЧЕТ ВИХРЕВЫХ АВИАЦИОННЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Простота конструкции, удобство эксплуатации, надежность работы ВТ, работающей от скоростного напора набегающего потока воздуха, позволяют использовать ее в качестве автономного источника холода на борту самолета. Однако параметры на входе в ВТ существенно меняются и необходимы дополнительные исследования характеристик ВТ при пониженных плотностях воздуха. Как отмечалось [1], при работе ВТ на самолете, скорость и высота полета которого находятся в диапазоне $M = 0,3-2,3$ и $H = 0-20000$ метров, температура, давление и располагаемая степень расширения воздуха будут соответственно $T_{вх} = 487-234$ К; $P_{вх} = (2,51-0,135) \times 10^5$ Па; $\pi = 1,04-8,5$. В этом диапазоне ВТ должна обеспечивать устойчивую работу охлаждающей системы.

Проведенные в ОНИЛ-9 КуАИ исследования показали, что при пониженных давлениях на входе в ВТ (пониженной плотности воздуха) оптимальная относительная площадь сопла будет $f_c = 0,2$ [2].

Для базовой ВТ диаметром 24 мм построены значения относительной температуры от степени расширения в диапазоне $\pi = 1,05-9$ и $\mu = 0,2 - 0,8$ [3].

Дальнейшие исследования [4] позволили выявить зависимость относительной температуры от температуры входящего воздуха, давления холодного потока, диаметра трубы в диапазоне $d = 2-24$ мм.

В результате предложена аналитическая зависимость, позволяющая рассчитывать характеристики ВТ во всем диапазоне режимов полета самолета для различных ее типоразмеров:

$$\theta = (\theta_{\pi} + \mu \theta_{\mu}) K_d K_p + (1 - K_p) - \Delta \theta_T,$$

где

$$\theta_{\pi} = 1,0278 - 0,0645\pi + 0,00336\pi^2;$$

$$\theta_{\mu} = -0,0289 + 0,0477\mu - 0,0021\mu^2;$$

$$K_d = 1 + [0,36 + (\pi - 4,2)0,06](0,024 - d) \text{ для } 0,008 \leq d \leq 0,024;$$

$$K_d = (1,002 + 0,001\pi) [1 + [4,6 + (\pi - 4,2)0,1](0,008 - d)] \text{ для } 0,002 \leq d \leq 0,008;$$

$$K_p = 1 \text{ при } P_x \geq 1,013 \cdot 10^5;$$

$$K_p = 0,816 + 0,338 \cdot 10^{-5} P_x - 0,158 \cdot 10^{-5} P_x^2,$$

$$\Delta \theta_T = 4,67 \cdot 10^{-4} \gamma_{\text{вх}}^4 - 0,14.$$

Здесь размерности величин следующие: $d, \text{ м}; P, \text{ Па}; T, \text{ К}$.

Для повышения эффективности работы вихревого охладителя от набегающего потока воздуха используются каскадные схемы [3]. В этих схемах воздух, подаваемый на вход в ВТ, охлаждается в теплообменнике холодным потоком предыдущей. Холодный поток последней ВТ подается потребителю и затем выбрасывается в атмосферу. Количество ВТ определяет число каскадов. Однокаскадная схема теплообменника не имеет.

Расчет вихревого охладителя состоит из проектировочного и поверочного. Проектировочный расчет основан на рассмотрении приведенной относительной температуры $\theta = \theta_p / \theta_{\text{рас}}$ в узловых режимах полета самолета [5].

$\theta_{гр} = T_{гр}/T_{вх}$ и $\theta_{рас} = T_x/T_{вх}$ - относительная, требуемая условиями эксплуатации объекта температура и располагаемая температура, получаемая в вихревом охладителе. В зависимости от значения θ выбирается количество каскадов охладителя, доли холодного потока ВТ(μ), размеры ВТ и теплообменников, степень расширения воздуха на ВТ(β).

При проверке проводим расчет рекуперативного пластинчато-ребристого противоточного теплообменника, состоящего из N модулей. Модуль представляет собой один горячий слой, окруженный двумя холодными. Расчет теплообменника производим по методике [6], определяя оптимальную толщину канала модуля, расходы воздуха, площадь живого сечения теплообменника, площадь теплообмена, габариты и объем теплообменника, потери давления и недорегенерацию в нем. После чего уточняем параметры вихревого охладителя.

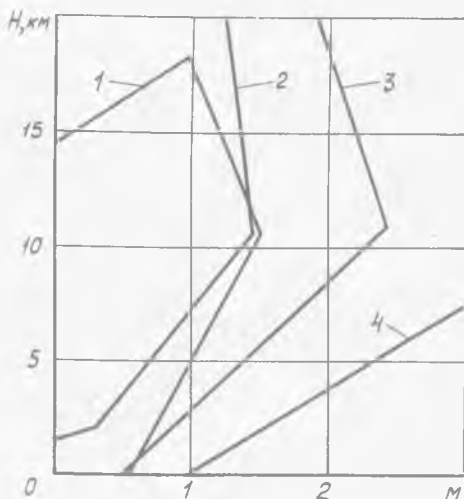
В результате поверочного расчета вихревого охладителя определяем температуры, давления, расходы воздуха в контрольных точках по тракту охладителя на заданных режимах полета самолета. Статическая температура и давление заборного воздуха определяются по международной стандартной атмосфере (МСА). С изменением высоты полета параметры воздуха определялись [7]:

$$(\text{для } H \leq 11000 \text{ м}) T_H = 288 - 0,0065H; P_H = 1,013 \cdot 10^5 \left(1 - \frac{H}{44300}\right);$$

$$(\text{для } H > 11000 \text{ м}) T_H = 216,5 \text{ К}; P_H = 2,269 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{11000 - H}{6340}\right).$$

Параметры на входе в охладитель определяются полным давлением и температурой заторможенного воздуха с учетом потерь давления в воздухозаборнике. Расход воздуха через ВТ определяется по [8].

На основе приведенного порядка расчета разработана программа расчета для ЭВМ. На рис. I приведены результаты расчетов на ЭВМ границ применимости одно-, двух- и трехкаскадных схем вихревых охладителей. На этом же графике для сравнения приводится область применения простейшей схемы турбоохладильника и воздуховоздушного теплообменника [9]. Турбоохладильник работает от компрессора двигателя самолета и подает охлажденный воздух в герметичный отсек. Воздух, подаваемый в турбоохладильник после компрессора, охлаждается в воздухо-воздушном теплообменнике набегающим потоком. Графики очерчивают области применения систем охлаждения по скорости и высоте полета самолета, в которых температура на выходе из систем не превышает 278 К. Из рассмотрения рис. I видно, что одна ВТ обеспечивает нормальную работу системы охлаждения, начиная с высоты 2 км. Границы области по скорости расширяются до высоты 11 км из-за уменьшения входной температуры и увеличения степени расширения воздуха. Начиная с высоты 11 км, температура заборного воздуха становится постоянной, а



Р и с. 1. Область применения систем охлаждения: 1 - схема ТХ с ВВТ; 2 - вихревая труба; 3 - двухкаскадная вихревая схема; 4 - трехкаскадная вихревая схема

плотность входящего воздуха уменьшается, что вызывает сужение границ предельной скорости.

Применение двух- и трехкаскадных вихревых систем расширяет границы применимости охладителей, но значительно увеличивает их массово-габаритные характеристики (за счет введения теплообменников) и потребный расход воздуха.

Разработанная методика позволяет проводить расчет характеристик вихревых охладителей и области их применения по заданной температуре и холодопроизводительности системы охлаждения.

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.П., Бирюк В.В. Вопросы применения вихревых охлаждающих устройств в авиационной технике и технологии. - В сб.: Вихревой эффект и его применение в технике. - Куйбышев: КуАИ, 1976, с. 171-176.

2. Кошарев Н.Д., Бирюк В.В., Изааксон Г.С., Волов В.Т. Экспериментальное исследование вихревых труб при работе от набегающего потока. - В сб.: Вихревой эффект и его применение в технике. - Куйбышев: КуАИ, 1976, с. 176-180.

3. Меркулов А.П., Бирюк В.В., Смоляр Г.А. Каскадные вихревые автономные системы охлаждения элементов летательных аппаратов. Изв. вузов. Авиационная техника. 1980, № 3, с. 69-73.

4. Бирюк В.В., Плихин Г.С., Смоляр Г.А., Сукчев В.М. Влияние масштабного фактора, давления и температуры входящего газа на энергетические характеристики вихревой трубы. - В сб.: Вихревой эффект и его промышленное применение. Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 90-92.

5. Бирюк В.В., Сукчев В.М. Оценка применимости бортовых систем охлаждения радиоэлектронного оборудования самолетов. - В сб.: Вихревой

эффект и его промышленное применение. - Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 136-139.

6. Воронин Г.И., Дубровский Е.В. Эффективные теплообменники. - М.: Машиностроение, 1973. - 95 с.

7. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. - М.: Машиностроение, 1973. - 444 с.

8. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 318 с.

9. Шустров Ю.М., Булевский М.М. Авиационные системы кондиционирования воздуха. - М.: Машиностроение, 1978. - 160 с.

УДК 621.578

А.А.Кузьмин, С.О.Муратов, Ю.М.Симоненко

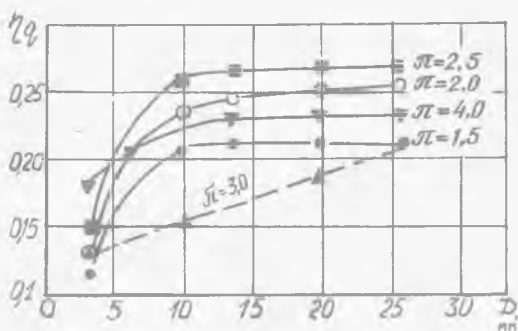
МАЛОМАСШТАБНЫЕ ВИХРЕВЫЕ ТРУБЫ

Преимущества ВТ наиболее полно проявляются в устройствах небольшой холодопроизводительности ($Q_0 \leq 100$ Вт), периодического действия. Это объясняется как сокращением "разрыва" в энергетической эффективности между традиционными высокоэкономичными источниками холода и вихревыми при понижении уровня потребной холодопроизводительности [3], так и значительными сложностями, возникающими при создании миниатюрного высокоэффективного источника холода.

Для оценки влияния масштабного фактора на работу охлаждаемых ВТ были исследованы геометрически подобные устройства диаметром от 1 до 27 мм. На рис. 1 представлены зависимости адиабатного к.п.д. охлаждаемых и неохлаждаемой вихревых труб от диаметра. Анализ экспериментальных данных показывает, что угол наклона графиков, описываемый соотношением

$$K = \frac{h_{a0} - h_a}{\mu(D_0 - D)} \quad (1)$$

где h_{a0} и h_a - адиабатные к.п.д. эталонной и произвольной ВТ;



Р и с. 1. Зависимость эффективности вихревых труб от масштабного фактора: - - - неохлаждаемые ВТ; — — — воздухоохлаждаемые оребренные ВТ