

В.Е. Резник, Г.М. Горелов, В.П. Данильченко,
А.А. Александров

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В ТРУБАХ
С ПРИСТЕНОЧНЫМИ ОСЕВЫМИ ВИХРЯМИ

Основными требованиями, которые предъявляются к элементам систем теплообмена авиационных ГТД, являются компактность и малые гидравлические сопротивления. Эффективным путем создания высоконапряженных теплообменных аппаратов служит интенсификация теплоотдачи. Все известные способы интенсификации в турбулентных потоках за счет искусственной дополнительной турбулизации связаны с опережающим ростом гидравлического сопротивления. Критерием эффективности метода интенсификации теплообмена может служить зависимость между отношениями чисел Нуссельта Nu/Nu_{en} и коэффициентами сопротивлений ξ/ξ_{en} для каналов с интенсификацией (Nu, ξ) и для гладких каналов (Nu_{en}, ξ_{en}).

Одним из методов интенсификации теплообмена является местная закрутка потока, которая осуществляется с помощью аксиально-лопаточного или шнекового завихрителя, а также путем тангенциального подвода жидкости. Указанные способы закрутки воздействуют на весь поток, что влечет за собой резкое увеличение гидравлического сопротивления [1]. Однако, как показывают эксперименты, в пристенном слое толщиной $(0,05-0,1)R$ среднее значение коэффициента турбулентной теплопроводности ϵ_q в гладкой трубе не превышает 10% от максимального при данном числе Рейнольдса [2]. В пристенном слое толщиной $(0,05-0,1)R$ срабатывает 60-70% располагаемого температурного напора. Следовательно, наибольшего эффекта в интенсификации теплоотдачи можно добиться, увеличивая коэффициент турбулентной теплопроводности именно в пристенной области. В то же время дополнительная турбулизация ядра потока мало увеличивает теплоотдачу, но сопровождается существенным увеличением гидравлических потерь.

С учетом сказанного были предложены и испытаны лопаточные завихрители без центрального тела, которые в основном закручивают поток только в пристенной области. Конструкция лопаточного завихрителя показана на рис. 1. Наибольший диаметр равен 25 мм, внутренний диаметр 18 мм, высота лопатки 2,6 мм, ширина 9 мм, угол закрутки 60° . Десять таких завихрителей были установлены равномерно в трубе с внутренним диаметром 25 мм длиной 1 м. Эксперименты проводились на воздухе. Нагревание стенки трубы осуществлялось электрическим нагревателем и регулировалось с помощью высокочастотного регулятора температуры ВРТ-2. Температура воздуха замерялась хромель-копелевыми термопарами в пяти точ-



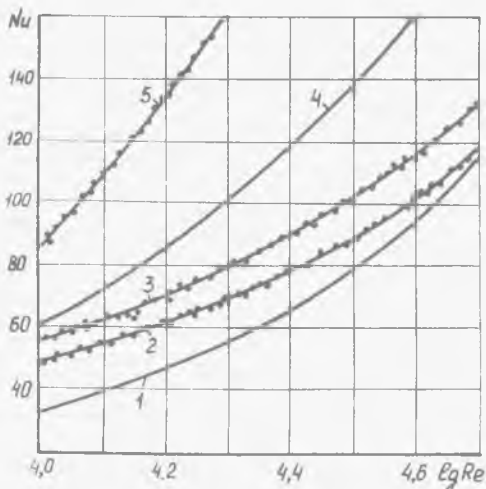
Р и с. 1. Конструкция лопаточного завихрителя

ности $Nu=f(Re)$ и $\xi=f(Re)$ для гладкой трубы и трубы с завихрителями. Как видно из рис. 2, 3, теплоотдача в трубе с лопаточными завихрителями возрастает в 2,5-3,5 раза по сравнению с гладкой трубой. При этом гидравлическое сопротивление увеличивается в 7-8 раз.

Дальнейшим развитием выбранного направления являются ленточные завихрители лепесткового типа, которые располагаются на внутренней поверхности трубы. Конструкция завихрителя показана на рис. 4. Завихритель состоит из двенадцати закрученных на 360° лепестков, изготовленных из стальной фольги толщиной 0,1 мм. Диаметр лепестка равен 1,5 мм. Закрученные лепестки располагались между двумя профилированными экранами, изготовленными из фольги толщи-

ках, температура стенки трубы - в десяти точках с записью на потенциометр КСП-4. Статическое давление замерялось водяными пьезометрами. Расход воздуха определялся на мерном участке с двойной диафрагмой. Конструкция экспериментальной установки позволяла вести эксперименты одновременно с гладкой трубой и с трубой с завихрителями. Эксперименты проводились при числах Рейнольдса от 10 до 50 тысяч. Температура стенки трубы менялась от 100 до 500°C .

По полученным в ходе эксперимента данным определялись зависимости



Р и с. 2. Теплообмен в трубах с завихрителями: 1 - гладкая; 2 - труба $d = 13$ мм с десятью шнековыми завихрителями; 3 - труба $d = 13$ мм с шестнадцатью шнековыми завихрителями; 4 - труба с лопаточным завихрителем $\varphi = 45$, $u = 3$, $d_k = 0,5$ [1]; 5 - труба $d = 25$ мм с лопаточными завихрителями

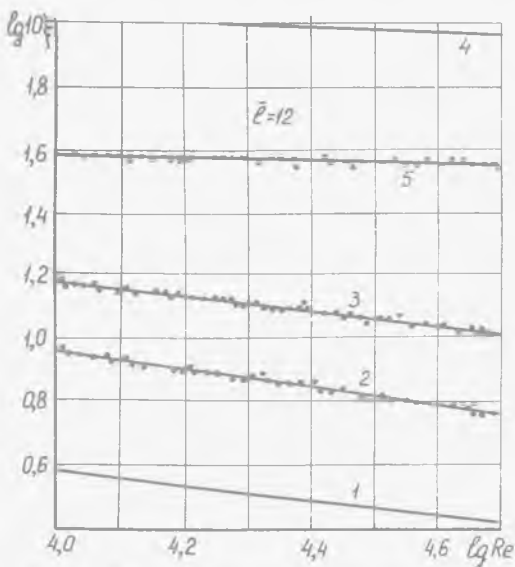
ной 0,05 мм, и приваривалась к ним точечной сваркой. Полученный таким образом шнекоблок сворачивался в кольцо по внутреннему диаметру трубы и приваривался к ней также точечной сваркой. Эксперименты проводились на трубе внутренним диаметром 13 мм длиной 1 м. Было испытано два типа трубок — с десятью и шестнадцатью шнекоблоками.

При течении воздуха с описанными завихрителями за ними образуются двенадцать отдельных закрученных струек, непосредственно примыкающих к стенке трубы. Эти струйки срыва-

вают пограничный слой, повышают степень перемешивания частиц пограничного слоя и основного потока, тем самым увеличивая коэффициент турбулентной теплопроводности. Ожидалось, что применение таких завихрителей приведет к более благоприятному отношению Nu/ξ , чем было получено в работе [1], в связи с меньшим возмущением ядра потока.

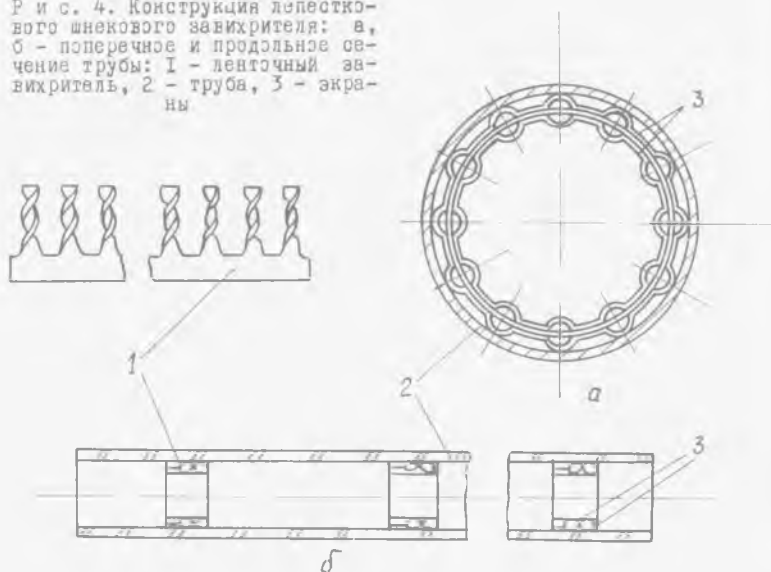
На рис. 2 и 3 показаны экспериментальные результаты, полученные при продувке экспериментальных участков. При постановке десяти шнекоблоков теплоотдача возрастает на 20–60% по сравнению с гладкой трубой в диапазоне чисел Рейнольдса от 10 до 50 тысяч. При этом гидравлическое сопротивление увеличивается в 2,5 раза. В трубе с шестнадцатью завихрителями теплоотдача увеличивается на 20–100%, а гидравлическое сопротивление в 3 раза.

Полученные результаты показывают, что описанные завихрители являются более эффективными по сравнению с аксиально-лопаточными и шнековыми [1] вследствие существенно меньших гидравлических потерь.



Р и с. 3. Гидравлическое сопротивление в трубах с завихрителями (обозначения те же, что и для рис. 2)

Р и с. 4. Конструкция ленточного шнекового завихрителя: а, б - поперечное и продольное сечение трубы: 1 - ленточный завихритель, 2 - труба, 3 - экраны.



Описанный способ закрутки пограничного слоя нуждается в дальнейшем развитии с целью оптимизации самих завихрителей, определения локальных характеристик течения за ними.

Л и т е р а т у р а

1. Щукин Б.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. - М.: Машиностроение, 1982.

2. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. - М.: Машиностроение, 1981.