

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Истомин Д.А.¹, Ефимов И.П.², к.т.н., доцент, Сорокин М.Ю.¹, к.т.н., Моисеев В.Н.²

¹ ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», Ульяновск, Россия

² Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов при определении высотно-скоростных параметров летательного аппарата (ЛА) является аэрометрический, основанный на измерении скоростного (динамического) напора, функционально связанного со скоростью [1]. Задача восприятия полного и статического воздушных давлений, по разнице которых и определяется скоростной напор, решается с помощью специальных устройств – приемников полного давления (ППД), приемников статического давления (ПСД) либо комбинированных приемников воздушных давлений (ПВД), устанавливаемых на борту ЛА. В данной работе рассматриваются вопросы проектирования ПСД, выполненных в виде трубок Вентури. Более подробное описание рассматриваемых ПСД, а также результаты экспериментальных исследований в аэродинамической трубе дано в [2].

Недостатком указанного ранее аэрометрического метода является трудность измерения малых воздушных скоростей (менее 20 км/ч) вследствие того, что динамическое давление на этих скоростях мало и его величины лежат на пороге чувствительности датчиков давления. Типичный измеритель малых скоростей с манометрической коробкой и трубкой Вентури приведен на рис. 1 [2, стр. 106]. Трубка Вентури характеризуется следующими геометрическими параметрами: коэффициент диафрагмы $m = D_y^2/D_{вх}^2$, где D_y , $D_{вх}$ – диаметры узкой части и входа, углы α_k и α_d конфузора и диффузора соответственно. Основной характеристикой такого ПСД является коэффициент аэродинамического усиления K_y , который отражает увеличение динамического давления P_d за счет уменьшения статического давления $P_{ст}$.

Трубка Вентури является пневмоусилителем, позволяя расширить диапазоны измеряемых скоростей. Рассматриваемый ПСД обладает рядом преимуществ: малая чувствительность к скосам потока (в пределах изменения углов атаки и скольжения вплоть до $\pm 40^\circ$) и дегурбулизирующее действие, проявляющееся в сглаживании турбулентных пульсаций. Рассматриваемый приемник предназначен для восприятия статического давления на вертолетах в диапазоне скоростей полета до 250-350 км/ч.

В данной работе рассматриваются вопросы проектирования проточных ПСД, влияние отдельных конструктивных элементов (конфузор, диффузор, отверстия для отбора статического давления) на получаемые результаты, в частности, коэффициент усиления по давлению, и соответствие между экспериментальными данными и результатами математического моделирования.

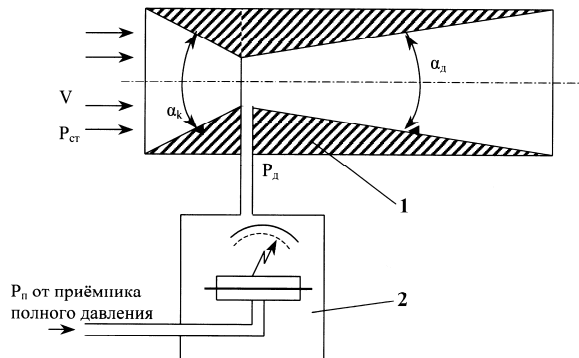


Рис. 1. Измеритель малых воздушных скоростей с трубкой Вентури:
1 – трубка Вентури (пневмоусилитель); 2 – указатель скорости

Поскольку проточный ПСД является осесимметричным телом, то рассматривается только четверть геометрической модели, проводилось исследование именно внешнего обтекания ПСД. На рис. 1 приведена геометрическая модель идеального проточного ПСД (без отверстий отбора статического давления), на рис. 2 – модель приемника с отверстиями отбора статического давления. Характеристики исследуемых приемников приведены в табл. 1.



Рис. 2. Геометрическая модель идеального ПСД (без отверстий)

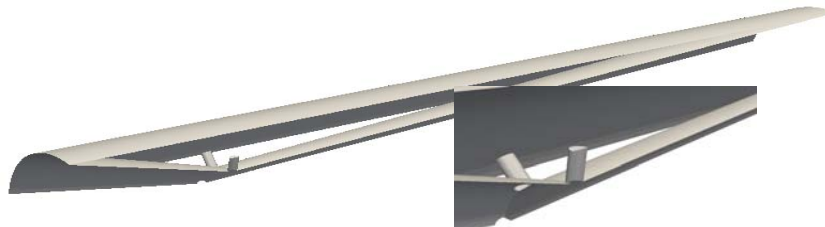


Рис. 3. Геометрическая модель ПСД с отверстиями

Математическое моделирование указанных ПСД проведено с использованием [FlowVision HPC](#). При моделировании приняты следующие допущения: не учитывается шероховатость поверхности и не учитываются элементы крепежа приемника. На входе расчетной области устанавливалось граничное условие «массовая скорость» в соответствии с требуемыми скоростями, по поверхности ПСД — граничное условие «стенка», на выходе - «свободный выход», на плоскостях симметрии - «симметрия», несжимаемое течение, масштаб турбулентности – 3 см, степень турбулентности – 3%. Использовалась модель турбулентности Spalart-Allmaras (SA).

Число расчетных ячеек – 390 тыс. (для идеального приемника) и 710 тыс. (для приемника с отверстиями). Время расчета – приблизительно 10 часов для приемника с отверстиями с шагом счета 0.0001 (соответствует приблизительно 50 чисел Куранта) с использованием персонального компьютера с процессором AMD Athlon 3200+, RAM 2 Гб (расчет проводился на 2-х ядрах). Малый шаг счета объясняется малым размером ячеек в районе отверстий отбора статического давления.

Табл. 1. Геометрические размеры проточных ПСД

№ трубки	Угол сужения конфузора α_k , град	Угол раскрытия диффузора α_d , град	Коэффициент диафрагмы $m=Dy^2/Dвх^2$
1	40	8	0.2
2	60	8	0.2
3	40	12	0.2
4	60	12	0.2

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований ПСД с отверстиями отбора статического давления диаметром 1 мм и результаты математического моделирования трех вариантов исполнения проточного ПСД: без отверстий для отбора статического давления (идеальный случай), с отверстиями диаметром 1 мм (совпадает с экспериментальным образцом) и с отверстиями диаметром 1.5 мм. Статическое давление при моделировании определялось для идеального приемника в узком сечении, для приемников с отверстиями — на донных частях отверстий с усреднением по времени и между собой.

Табл. 2. Коэффициент усиления проточного ПСД

№ п/п	Тип ПСД	Скорость, м/с					
		13.89	22.22	27.78	33.33	50	61.11
1	эксперимент	6.84	7.00	6.99	7.20	7.53	7.70
	идеальный ПСД	8.67	9.30	9.49	9.62	9.88	10.12
	отверстия 1 мм	5.70	6.02	6.13	6.21	6.35	6.42
	отверстия 1.5 мм	5.67	6.64	6.85	6.96	7.24	7.35
2	эксперимент	6.64	6.78	6.99	6.98	7.37	7.55
	идеальный ПСД	10.37	10.97	11.20	11.37	11.69	11.82
	отверстия 1 мм	5.77	6.12	6.25	6.34	6.48	6.54
	отверстия 1.5 мм	6.29	6.53	6.63	6.67	6.82	6.89
3	эксперимент	5.34	5.86	6.08	6.38	6.86	6.93
	идеальный ПСД	9.73	10.37	10.61	10.78	11.12	11.26
	отверстия 1 мм	6.31	6.71	6.84	6.94	7.11	7.18
	отверстия 1.5 мм	3.18	3.34	3.36	3.41	3.48	3.65
4	эксперимент	5.54	5.89	6.08	6.16	6.49	6.58
	идеальный ПСД	9.43	9.94	10.13	10.27	10.53	10.64
	отверстия 1 мм	5.17	5.58	5.72	5.80	5.96	6.01
	отверстия 1.5 мм	4.75	5.04	5.15	5.22	5.34	5.38

Как видно из приведенных выше результатов, математическое моделирование в точности отражает характер изменения коэффициента усиления приемника в зависимости от размеров отверстий отбора статического давления. А вот пренебрежение элементами малых размеров (отверстия диаметром 1 мм, что составляет примерно 3% от диаметра приемника) привело к почти двукратному завышению коэффициента усиления приемника статического давления по сравнению с экспериментальными данными.

Результаты моделирования приемника с отверстиями отбора статического давления диаметром 1 мм практически совпадают с результатами экспериментальных исследований.

В целом получены удовлетворительные результаты математического моделирования ПСД, отработана технология решения подобных задач, что в дальнейшем позволило проектировать подобные ПСД с прогнозируемыми характеристиками, получаемыми в процессе математического моделирования.

Список литературы

1. Петунин, А.Н. Методы и техника измерений параметров газового потока (приемники давления и скоростного напора) / А.Н. Петунин. – М.: «Машиностроение», 1972. – 332 с.
2. Клюев, Г.И. Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов: учебное пособие / Г.И. Клюев, Н.Н. Макаров, В.М. Солдаткин, И.П. Ефимов; под ред. В.А. Мишина. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 509 с.
3. Ефимов, И.П. Математическая модель проточного приемника воздушных давлений / И.П. Ефимов, Г.А. Конохов, Н.Г. Федоров.; Ульяновский политехнический институт. – Ульяновск, 1993. Деп. в ВИНТИ ДР5129 – пр. 07.93. – 16 с.
4. Ефимов, И.П. К расчету многоканальных приемников воздушных давлений / Ефимов И.П., Конохов Г.А., Федоров Н.Г.; Ульяновский политехнический институт. – Ульяновск, 1993. Деп. в ВИНТИ ДР5128 – пр. 07.93. – 6 с.