Ссылка на статью:
// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2019, № 1, с. 41-46.

Поступила: 25.04.2019
Окончательный вариант: 04.06.2019

© УлГУ

УДК 51-74

Аэродинамический расчет внешнего обтекания передней части фюзеляжа самолета

Калинова А.Л.[1*]

[*]kozlova3256@mail.ru
[1]УлГУ, Ульяновск, Россия

В статье представлен аэродинамический расчет передней части фюзеляжа самолета в программном комплексе ANSYS. Целью расчета является определение влияния сбрасываемого системой автоматического регулирования давления самолета воздуха на восприятие давления многофункциональными измерителями воздушных давлений (МИВД, измерение полного и статического давления) и плиточным приемником статического давления (ПСД).

Ключевые слова: *аэродинамический расчет, система автоматического регулирования давления, приемник статического давления, многофункциональный измеритель воздушных давлений, скорость полета, высота полета.*

Введение

В нормах летной годности, исходя из физиологических возможностей человека, устанавливается минимальное абсолютное давление воздуха в кабине на высоте крейсерского полета не ниже 567 мм рт. ст., что соответствует высоте 2400 м; при высоте полета свыше 7600 м – не ниже 432 мм рт. ст. (4500 м). [1, с. 140-141]

Гермокабины самолетов надуваются от компрессоров двигателей, обеспечивающих необходимое количество воздуха для вентиляции и обогрева и давление воздуха, нужное для нормальной работы агрегатов системы кондиционирования (СКВ). Наддув увеличивает давление в гермокабине. Оно регулируется изменением количества выпускаемого из кабины воздуха системой автоматического регулирования давления (САРД) (рис. 1) [4, с. 3].

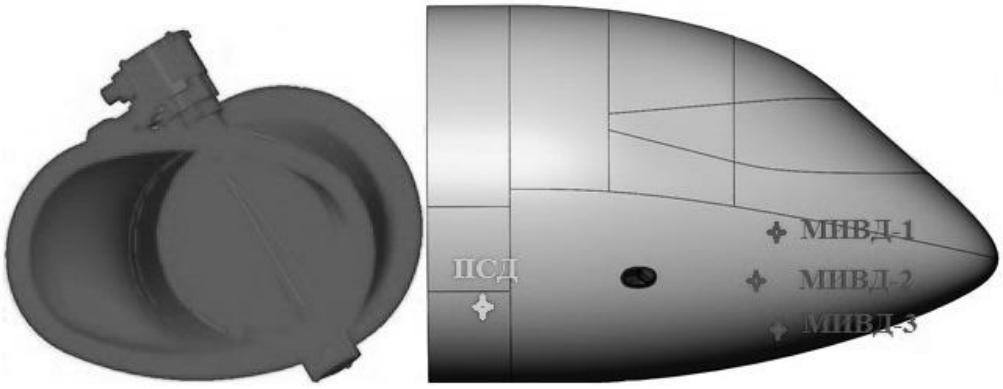

Рис. 1 – Внешний вид клапана САРД (слева), его расположение на фюзеляже самолета и места установки приемников (справа)

1. Постановка задачи

Согласно техническим данным, максимальный расход Q воздуха через клапан САРД – 2700 м^3/ч, температура сбрасываемого воздуха 20°С. По данным геометрической модели (площадь S сбрасывающей части клапана 0,03529894 м^2) вычислена постоянная скорость V(SARD) сбрасываемого клапаном воздуха, заданная при проведении моделирования:

$$V(SARD) = \frac{Q}{S} = \frac{2700}{0{,}03529894} \approx 76489{,}54898 \left(\frac{\text{м}}{\text{ч}}\right) \approx 21{,}2471 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Для проведения расчета использовалась геометрическая модель воздуха, обтекающего фюзеляж самолета, в виде прямоугольного параллелепипеда (рис. 2).

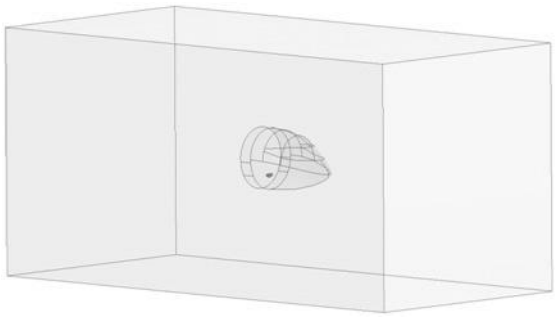

Рис. 2. Внешний вид 3D-модели набегающего потока воздуха

Рассматривалось четыре расчетных случая: с учетом сбрасываемого клапаном САРД воздуха и без него, при двух режимах полета на высоте над уровнем моря 0 м.

Характеристика набегающего на фюзеляж потока воздуха согласно [2] представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика набегающего потока воздуха

№ п/п	Температура T, К	Статическое давление $P_н$, Па	Плотность ρ, $\frac{кг}{м^3}$	Скорость $V_{ист}$, $\frac{м}{с}$	Скорость $V_{ист}$, $\frac{км}{ч}$
1	288,15	101325	1,225	17,01	61,253
2	288,15	101325	1,225	138,89	500

2. Реализация расчетной модели

Построение конечно-элементной модели расчетной области проводилось в модуле AnsysMesh. Для проведения более точного расчета параметров воздуха вблизи фюзеляжа, было использовано измельчение сетки в пристеночных слоях с использованием опции «Inflation».

Настройки аэродинамического расчета задавались в модуле CFX-Pre. В настройках типа анализа был указан тип SteadyState (статический), в настройках расчетной области Domain указываются значения плотности воздуха, статического давления, вектор и величина гравитации. На поверхности, являющейся «входом» расчетной области, указывалась величина скорости набегающего потока и его температура; на «выходе» – значение давления, равное 0 Па. На поверхности клапана САРД задана скорость сбрасываемого воздуха при максимальном его расходе. Стенки контура фюзеляжа самолета задавались «закрытыми» – опция NoSlipWall. Настройки решателя были заданы в SolverControl: указаны минимальное и максимальное количество итераций (Min./Max.Iterations), а также максимальный шаг счета по времени (MaximumTimescale).

3. Результаты расчета

Для просмотра результатов расчета необходимо перейти в модуль CFD-Post. На рис. 3 показано распределение избыточного давления (без учета атмосферного) в сечении воздуха в области установки клапана САРД и по контуру фюзеляжа при заданной скорости набегающего потока $V_{ист}$ = 61,253 км/ч, на рис. 4 – при $V_{ист}$ = 500 км/ч.

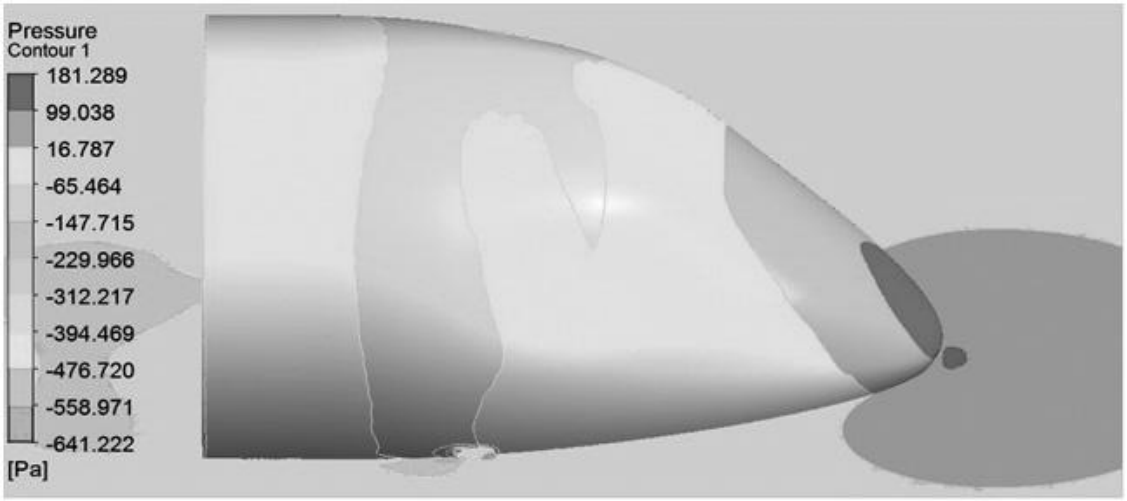

Рис. 3. Распределение давления в сечении воздуха в области установки клапана САРД и по фюзеляжу, $V_{ист}$= 61,253 км/ч

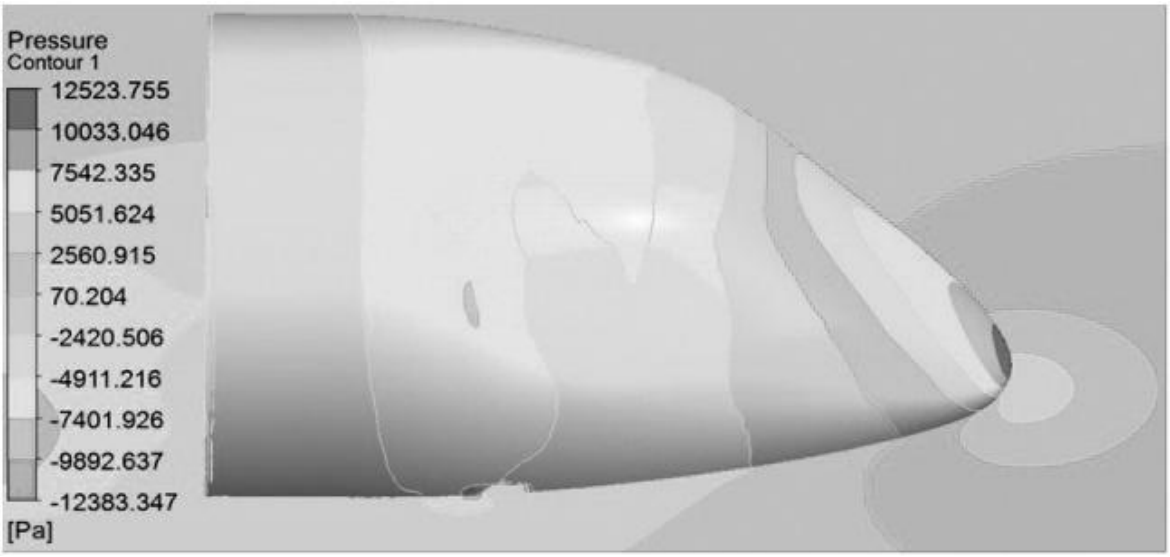

Рис. 4. Распределение давления в сечении воздуха в области установки клапана САРД и по фюзеляжу, $V_{ист}$=500 км/ч

Рассчитанные значения избыточного давления в местах установки приемников представлены в таблице 2.

Таблица 2. Избыточное давление в местах установки приемников

Приемник	P, Па			
	Без учета выбросов САРД		С учетом выбросов САРД	
	$V_{ист}$=17,01 м/с	$V_{ист}$=138,89 м/с	$V_{ист}$=17,01 м/с	$V_{ист}$=138,89 м/с
МИВД-1	-28,81	-2326,67	-27,89	-2563,27
МИВД-2	-39,53	-3134,79	-37,80	-3373,89
МИВД-3	-40,00	-3194,98	-40,01	-3452,29
ПСД	-43,36	-3242,18	-46,61	-3377,50

По полученным в результате математического моделирования значениям давления рассчитаны величины приборной скорости $V_{пр}$ (таблицы 3,4) и абсолютной высоты $H_{абс}$ (таблица 5) для каждого расчетного случая по формулам (1), (2), при этом в условиях отсутствия учета в модели торможения потока в местах установки приемников, динамическое давление $P_{дин}$ принималось идеальным [3].

Высота $H_{абс}$ [м]:

$$-500\ м \leq H_{абс} \leq 11000\ м$$

$$107477{,}58\ Па \geq P_н \geq 22632{,}01\ Па$$

$$H_{абс} = (8{,}96196 - P_н)/0{,}000202161 \quad (1)$$

Приборная скорость $V_{пр}$ [км/ч]:

$$При\ P_{дин} \leq 90475{,}6\ Па$$

$$V_{пр} = 2739{,}314\sqrt{\left(\frac{P_{дин}}{101325} + 1\right)^{\frac{1}{3,5}} - 1} \quad (2)$$

Таблица 3. Значения приборной скорости, полученные по результатам моделирования при $V_{ист}$=61,253 км/ч

Приемник	Н, м	$V_{пр}$, км/ч		$\Delta V_{пр}$, км/ч
		Без учета выбросов САРД	С учетом выбросов САРД	
МИВД-1	0	63,727	64,415	0,688
МИВД-2		61,924	62,769	0,845
МИВД-3		61,844	62,395	0,551

Таблица 4. Значения приборной скорости, полученные по результатам моделирования при $V_{ист}$=500 км/ч

Приемник	Н, м	$V_{пр}$, км/ч		$\Delta V_{пр}$, км/ч
		Без учета выбросов САРД	С учетом выбросов САРД	
МИВД-1	0	525,607	524,024	-1,583
МИВД-2		509,983	489,900	-20,083
МИВД-3		508,797	488,292	-20,505

Таблица 5. Значения высоты, полученные по результатам моделирования

Приемник	Н, м	$V_{ист}$, км/ч	$H_{расч}$, км/ч		$\Delta H_{расч}$, км/ч
			Без учета выбросов САРД	С учетом выбросов САРД	
ПСД	0	61,253	3,578	3,848	0,27
		500	273,592	284,988	11,396

Заключение

Результаты математического моделирования внешнего обтекания передней части фюзеляжа, представленные в таблицах 3-5, показывают, что сбрасываемый клапаном САРД воздух оказывает значительное влияние на восприятие статического давления плиточным приемником статического давления. Изменение значения статического давления в месте установки приемника статического давления в единицах высоты на скорости 500 км/ч и высоте 0 м составило ≈ 11 м. Изменение полного и статического давлений вследствие влияния сброса воздуха клапаном САРД в единицах скорости составило порядка 20 км/ч (на скорости 500 км/ч и высоте 0 м). При этом наибольший вклад в изменение вычисленной приборной скорости внесло изменение восприятия статического давления.

Список литературы

1. Авиационные правила. Часть 25. *Нормы летной годности самолетов транспортной категории.* Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова, 1994.
2. ГОСТ 4401-81 – *Атмосфера стандартная. Параметры. Введ.* 1982-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2004. 4 с.

3. ГОСТ 5212-74 – 1975. *Таблица аэродинамическая. Динамические давления и температуры торможения воздуха для скорости полета от 10 до 4000 км/ч. Введ.* 1975-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1974. 5 с.
4. Клёмина Л.Г., Петров Ю.В. *Системы самолетов, вертолетов и двигателей. Часть 5. Системы автоматического регулирования давления в гермокабинах транспортных самолетов: учебное пособие.* М.: МГТУ ГА, 2014.