

УДК 629.7.04

Расчет интенсивности вентиляции гермоотсеков самолета.

А.А. Волков

Аннотация

Статья посвящена исследованию интенсивности вентиляции гермоотсеков самолетов. Математическая модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений (по числу рассматриваемых отсеков самолета), связанными между собой начальными условиями.

Найденные при решении системы расходы воздуха в отсеках и их изменение во времени в случае появления отказных ситуаций позволяют определить концентрацию углекислого газа во всех гермоотсеках самолета.

Ключевые слова

герметичный отсек, расход воздуха, концентрация примесей, приточный и вытяжной вентиляторы.

Постановка задачи

Расчет расхода воздуха, необходимого для вентиляции кабины, производится из условия разбавления подаваемым в кабину воздухом вредных примесей, выделяющихся внутри кабины, до величины их предельно допустимых концентраций [1]. Чаще всего для расчета воздухообмена в качестве гигиенического норматива и критерия чистоты воздуха используется концентрация углекислого газа CO_2 . Из условия обеспечения допустимого газового состава воздуха в гермокабине в авиационных правилах указан минимально допустимый расход свежего воздуха на каждого пассажира и члена экипажа.

На стадии эскизного проектирования после выбора схемы членения и некоторой конструктивной проработки гермоотсеков самолета возникает необходимость определение интенсивности вентиляции находящихся в гермозоне отсеков самолета, в которых возможно появление или присутствие воспламеняющихся жидкостей.

Методика расчета заключается в следующем:

- анализ гермоотсеков самолета,
- анализ системы распределения воздуха по отсекам,
- анализ исходных данных (объемов отсеков, эффективных площадей для перетекания воздуха между отсеками,
- составление системы нелинейных уравнений течения воздуха между отсеками,
- решение полученной системы и анализ результатов расчета.

Методика расчета

Для количественной оценки интенсивности вентиляции отсеков гермокабины, необходимо определить расходы воздуха проходящие через каждый из интересующих отсеков.

При работе системы кондиционирования, воздух подается в пассажирский салон и кабину экипажа. Далее под действием перепадов давлений воздух удаляется в подпольное пространство самолета. Воздух, поступивший в подпольное пространство, частично забирается системой рециркуляции, частично забирается вентиляторами охлаждения блоков электронного оборудования, часть воздуха за счет естественного течения под действием перепадов давления поступает к выпускному клапану системы автоматического регулирования давления. Для выполнения расчета расходов воздуха через различные отсеки, необходимы следующие исходные данные:

- расходы воздуха поступающие в пассажирский салон и кабину экипажа.
- расходы, обеспечиваемые приточными и вытяжными вентиляторами системы охлаждения блоков электронного оборудования.
- геометрические параметры отсеков: объемы* отсеков, свободные площади для перетекания воздуха между отсеками.
- под объемом отсека понимается объем пустого отсека за вычетом суммарного объема, размещенного в нем оборудования.

Для анализа интенсивности вентиляции отсеков, имеет смысл рассматривать только установившиеся режимы течения воздуха между отсеками, т.к. переходные режимы являются кратковременными и не представляют интереса с точки зрения превышения концентрации паров воспламеняющихся жидкостей. При установившемся режиме, давления во всех отсеках являются постоянными, при этом количество воздуха поступающего в отсек равно количеству воздуха удаляемого из отсека. На основании схемы членения самолета на отсеки, для каждого отсека записывается уравнение баланса расходов на входе в отсек и на выходе. Записанные уравнения для каждого отсека образуют систему уравнений, решив которую возможно определить расходы через все интересующие отсеки. При этом, из рассмотрения могут быть исключены отсеки, в которых расходы воздуха через отсек могут быть определены ис-

ходя из схемы членения самолета. Так, например, на рис. 1 представлена типовая схема членения гермокабины среднемагистрального самолета. Отсеки 1 и 3 могут быть исключены из рассмотрения, т.к. расходы через них могут быть определены исходя из исходных данных. Однако запись уравнения баланса для этих отсеков не приведет к ошибкам в расчете, а только несколько усложнит решение системы уравнений.

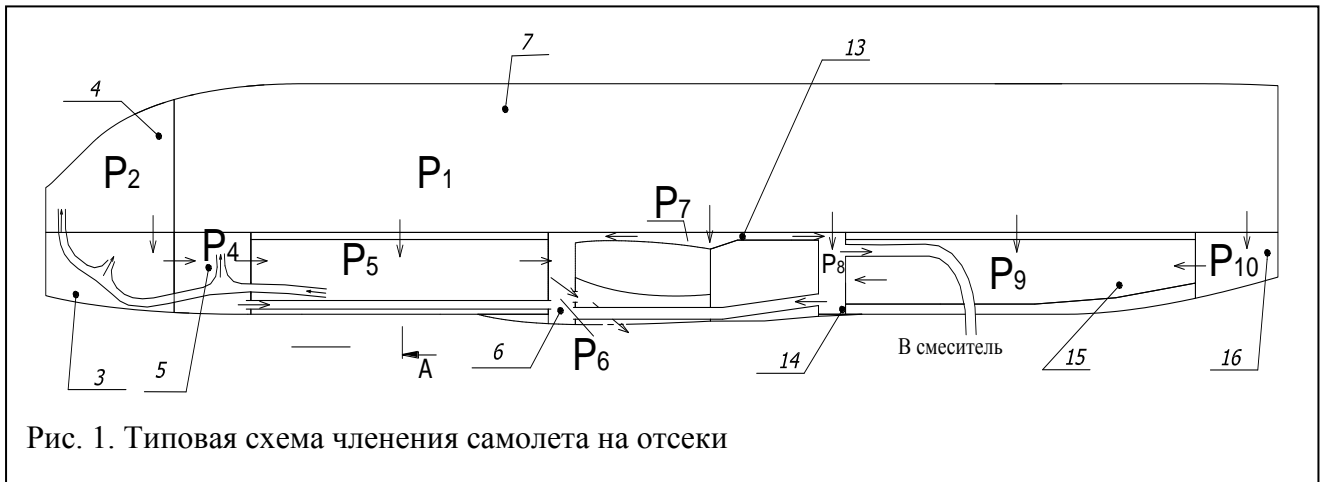


Рис. 1. Типовая схема членения самолета на отсеки

Так, для любого отсека возможно записать уравнение баланса расхода вида:

$$Q_{\text{входа}} + Q_{\text{принудительной_подачи}} - Q_{\text{выхода}} - Q_{\text{вытяжки}} = 0, \text{ где}$$

$Q_{\text{входа}}, Q_{\text{выхода}}$ - массовые расходы воздуха на входе и выходе из отсека, возникающие за счет перепада давлений между соседними отсеками.

$Q_{\text{принудительной_подачи}}, Q_{\text{вытяжки}}$ - массовые расходы воздуха за счет работы системы принудительной подачи воздуха и системы вытяжной вентиляции.

При этом, расходы воздуха возникающие за счет работы системы приточно-вытяжной вентиляции определены как исходные данные, а расходы возникающие вследствие перепадов давления являются неизвестными и входят в систему уравнений в виде зависимости от давлений в соседних отсеках:

$$Q_{12} = 0.95 \cdot \mu \cdot F_{12} \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_2 \cdot (P_1 - P_2)} \quad [2]$$

где

μ_1 - коэффициент расхода (в соответствии с [2] для докритического течения принимаем $\mu_1 = 0.7$),

F_{12} - площадь перетекания между отсеками,

P_1, P_2 -соответствующие давления в отсеках.

Для отсека в котором расположен выпускной клапана системы автоматического регулирования давления, расход воздуха выходящего из отсека определяется по формуле для докритического режима истечения при расчете интенсивности вентиляции при стоянке самолета на земле и по формуле для закритического режима истечения при полете самолета на крейсерской высоте. Для закритического режима течения через клапанн САРД используем следующую зависимость:

$$Q_{САРД} = \mu_2 \cdot F_{САРД} \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k+1) \cdot R \cdot T}} \cdot 2 \cdot (k+1)^{\frac{1}{k-1}} \cdot P$$

где

P - давление в отсеке где расположен клапан САРД,

μ - коэффициент расхода (в соответствии с [1] для закритического течения принимаем $\mu_2 = 0.8$)

При этом, в системе уравнений, известным принимается давление в кабине экипажа либо в пассажирском салоне, исходя из того где расположен датчик обратной связи системы автоматического давления по которому ведется регулирование давления в гермокабине, а неизвестной принимается площадь проходного сечения выпускного клапана.

Таким образом, записав уравнение связи (баланса) расходов для каждого отсека, получим определенную систему уравнений. Для расчетной схемы представленной на рис 1, система уравнений имеет следующий вид :

$$G'_{СКВ} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{7-28} + F_{7-30}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_5 \cdot (P_1 - P_5)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot F_{7-13} \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_7 \cdot (P_1 - P_7)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{7-14}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_8 \cdot (P_1 - P_8)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{7-32} + F_{7-34}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_9 \cdot (P_1 - P_9)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{7-16}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_{10} \cdot (P_1 - P_{10})} = 0;$$

$$G''_{СКВ} + G_{blowing_to_F1} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot \left(\frac{F_{4-3} \cdot F_{3-5}}{F_{4-3}^2 + F_{3-5}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_4 \cdot (P_2 - P_4)} = 0$$

$$0.95 \cdot \mu_1 \cdot \left(\frac{F_{4-3} \cdot F_{3-5}}{F_{4-3}^2 + F_{3-5}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_4 \cdot (P_2 - P_4)} + 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{28-5} + F_{30-5}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_4 \cdot (P_5 - P_4)} + Q_{blowing_to_F2} - Q_{FWD_extraction} = 0$$

$$0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{7-28} + F_{7-30}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_5 \cdot (P_1 - P_5)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{28-5} + F_{30-5}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_4 \cdot (P_5 - P_4)} - 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{28-8} + F_{30-8}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_6 \cdot (P_5 - P_6)} - Q_{blowing_to_F2} = 0$$

$$0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{28-8} + F_{30-8}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_6 \cdot (P_5 - P_6)} + Q_{FWD_extraction} + Q_{AFT_extraction} + 0.95 \cdot \mu_1 \cdot (F_{13-8}) \cdot \sqrt{\frac{3}{k \cdot R \cdot T}} \cdot \sqrt{P_6 \cdot (P_7 - P_6)} - \mu_2 \cdot F_{САРД} \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k+1) \cdot R \cdot T}} \cdot 2 \cdot (k+1)^{\frac{1}{k-1}} \cdot P_6 = 0$$

Таким образом, определены расходы через все отсеки, расположенные в гермокабине самолета. При известных расходах воздуха и объемах отсеков, определение кратности вентиляции отсеков не вызывает затруднений. Чаще всего, для отсеков где возможно появление воспламеняющихся жидкостей достаточной принимается кратность воздухообмена 5 раз в минуту.

Имеет смысл производить оценку интенсивности вентиляции в двух расчетных случаях: стоянка самолета на земле и полет на крейсерской высоте. При этом, следует учитывать изменение характеристик вентиляторов при снижении абсолютного давления в гермокабине при увеличении высоты полета в соответствии с программой регулирования давления.

Библиографический список

1. Шустров Ю.М. Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха. М.: Машиностроение, 2006. 384с.
2. Быков Л.Т., Ивлентиев В.С., Кузнецов В.И. Высотное оборудование пассажирских самолетов, М., Машиностроение.
3. Рекомендательный циркуляр РЦ-АП25 (27)863 Пожарная защита в зонах с воспламеняющимися жидкостями.

Сведения об авторах

Волков Андрей Алексеевич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета), телефон: +7 499 158-41-61, e-mail: kaf103@mai.ru