

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕПЛОЙ И СТРУЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАПОТЕВАНИЯ СТЁКОЛ КАБИНЫ САМОЛЁТА

© 2012 В. Н. Николаев

ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина», Новосибирск

RESEARCH IN THE ELECTROTHERMAL AND JET PROTECTION OF THE AIRLINER COCKPIT WINDOWS FROM FOGGING.

© 2012 Nikolaev V. N.

A method of optimal parameters for electrothermal and jet protection of the airliner cockpit windows from fogging based on the use of the cockpit thermal state mathematical model is developed. Development of methods for solving of direct and inverse problems of heat exchange and determination of confidence intervals of parametrical identification assessment is implemented. The required characteristics of electrothermal and jet protection of the airliner cockpit windows from fogging are obtained.

При решении различных научно-технических задач в области разработки и эксплуатации самолёта, в том числе при оценивании эффективности электротепловой и струйной защиты от запотевания стёкол кабины экипажа необходимо определять тепловое состояние кабины.

Математическую модель герметичной теплоизолированной кабины с системой кондиционирования воздуха представим системой одномерных уравнений теплоизолированной обшивки, окон и обыкновенных дифференциальных уравнений теплообмена внутренней поверхности теплоизоляции обшивки, кресел, людей, бортового оборудования, воздуха и переноса энтальпии из системы кондиционирования воздуха.

Уравнения теплообмена многослойной конструкции обшивки и окон представим в виде одномерных уравнений теплопроводности, описывающих процесс передачи теплоты в многослойной конструкции.

Уравнение теплообмена бортового оборудования, кресел, людей представим в виде обыкновенного дифференциального уравнения, описывающего их конвективно-лучистый теплообмен.

Для эффективной работы электротепловой и струйной защиты от запотевания стёкол кабины необходимо

найти оптимальные параметры электротепловой и струйной защиты, которые включают значения тепловой энергии $Q_{k,in}$ электротепловой защиты, расхода G_{str} , температуры воздуха T_{str} и ширины щели сопла h_{str} струйной защиты.

Перечисленные параметры определяют температуру внутренних поверхностей стёкол в кабине. При этом температура внутренних поверхностей стёкол и влажность воздуха в кабине влияют на запотевание стёкол.

Для решения прямой задачи теплового состояния отсеков уравнения для обшивки и окон дискретизируются по пространственной переменной по методу Галёркина, использующему кусочно-линейный базис. В результате применения этого метода решение уравнений сводится к численному решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений, неизвестными которой являются значения температуры в узлах заданной сетки. Полученные таким образом обыкновенные дифференциальные уравнения для многослойных конструкций, уравнения для бортового оборудования, человека, конструкций и воздуха составляют одну систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которую в

общем виде можно записать следующим образом:

$$Y_t = F(Y(t, \Theta)), t \in (0, t_i); Y_t = Y_{\Theta}, F, Y \in R^S; \Theta \in R', \quad (1)$$

где $Y = [T_1, T_2, T_i, T_{\Theta}, \dots]^T$ — вектор параметров теплового состояния отсека; Y_t — вектор первых производных Y по t ; $\Theta = [v_1, v_2, \dots, v_4]^T$ — вектор коэффициентов модели; T — верхний индекс, обозначающий операцию транспонирования.

Для решения уравнений (1) предлагается использовать следующую численную схему типа Розенброка второго порядка аппроксимации для неавтономных систем.

Задача оценивания коэффициентов Θ модели сводится к минимизации взвешенной суммы квадратов невязок между заданными по принятому критерию значениями Z^* и соответствующими значениями $Z(Y(t, \Theta))$, полученными в ходе расчетов по уравнениям модели:

$$\Phi(\Theta) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^S \Gamma_{k,i} (Z_{k,i}^* - Z_i(Y(t_k, \Theta)))^2, \quad (2)$$

где $\Gamma_{k,i}$ — весовые коэффициенты; t_k — моменты времени при $k = 1, \dots, N$.

Для минимизации функции (2) использовался квазиньютоновский метод Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шэнно в сочетании с методом Ньютона,

Доверительные интервалы оценок коэффициентов Θ нелинейной математической модели теплового состояния отсека вида (1) могут быть определены с помощью ковариационной матрицы $P(\Theta)$ ошибок оценок Θ искоемых коэффициентов модели. При этом используется метод проецирования совместной доверительной области оценок на координатные оси пространства коэффициентов.

В качестве объекта исследования был принят прототип бразильского магистрального самолёта Embraer 190.

Критерием, при котором задавались значения Z^* в выражении (15), являлась температура поверхности окна T_{win} при

соответствующей абсолютной влажности M_e насыщенного водяного пара плюс погрешность определения температуры 3 К.

Исследования проводились для холодного типа климата. Начальная температура воздуха в кабине при этом должна соответствовать 283,15 К. Температура всех элементов наружной поверхности многослойных конструкций кабины экипажа равна 228,15 К. Температура воздуха на выходе из системы кондиционирования воздуха не должна быть выше 355,15 К.

Выделение одним человеком водяного пара при легочной вентиляции составляет

$9,7 \cdot 10^{-6} \dots 13,9 \cdot 10^{-8}$ кг/с. Количество пассажиров 106.

Массовая скорость воздушного потока в кабине экипажа принималась равной 0,4 кг/(м²с).

Параметрическая идентификация или оценивание вектора коэффициентов Θ модели теплового состояния проводилась по предложенному алгоритму.

Вектор коэффициентов модели

$$\Theta = [Q_k, G_{str}, T_{str}, h_{str}]^T \quad (3)$$

включает в себя потребные характеристики электротепловой и струйной защиты от запотевания стёкол.

Оценки коэффициентов модели для холодного типа климата для лобового стекла и форточки соответственно равны

$$\Theta = [1923 \ 0,0221 \ 353,15 \ 7 \cdot 10^{-3}]^T;$$

$$\Theta = [327 \ 0,0161 \ 353,15 \ 5,6 \cdot 10^{-3}]^T.$$

Доверительные интервалы оценок коэффициентов Θ составляют при доверительной вероятности $p = 0,99$ соответственно

$$\Delta\Theta = [47 \ 0,0097 \ 7 \ 4 \cdot 10^{-3}]^T;$$

$$\Delta\Theta = [8 \ 0,0082 \ 2 \ 7 \cdot 10^{-3}]^T.$$

Таким образом, получены потребные характеристики электротепловой и струйной защиты от запотевания стёкол кабины экипажа прототипа бразильского самолёта Embraer-190.