
УДК 629.7.018.74

*А.И. Рыженко д-р техн. наук, проф., проф., НАКУ «ХАИ»,
Е.Ю. Бетина преп., НУГЗУ*

НАГРЕВ ОБШИВКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ПОЛЁТЕ В ЗОНЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Рассчитаны значения температуры нагрева обшивки летательного аппарата при полёте в зоне лесного пожара. Исследовано изменение температуры обшивки в зависимости от времени полёта.

Ключевые слова: лесной пожар, температура нагрева, теплообмен, теплоотдача, излучение.

Постановка проблемы. При создании экспериментального воздушного судна (ЭВС) для моделирования в условиях полигона полёта натурального летательного аппарата (ЛА) в зоне лесного пожара необходимо учитывать не только отличие характеристик атмосферы в зоне пожара от стандартных, но и изменение параметров самого ЛА при полёте в такой зоне.

Согласно [1] лесной пожар существенно влияет на состояние атмосферы, изменяя её состав и температуру. Как уже отмечалось ранее в работах [2, 3], данные факторы необходимо учитывать при определении условий аэродинамического подобия и расчете потребных масштабов основных параметров ЭВС.

В тоже время вопрос об изменении параметров самого ЛА при полёте в зоне лесного пожара и методы учёта этих изменений при создании динамически подобных ЭВС ранее не рассматривались.

Очевидно, что на параметры натурального ЛА существенное влияние может оказывать именно повышение температуры атмосферы в зоне лесного пожара, так как это неизбежно приводит к нагреву самого аппарата. Нагрев ЛА вызывает изменение его геометрических параметров и физико-механических свойств материала обшивки, что, в свою очередь, влияет на аэродинамические и жёсткостные характеристики аппарата.

При проектировании динамически подобных ЭВС необходимо учесть влияние повышенной температуры атмосферы в зоне лесного пожара на аэродинамические и жёсткостные характеристики натурального ЛА, для этого необходимо определить, до каких температур и как быстро будет нагреваться аппарат при полёте в указанной зоне.

Анализ последних достижений и публикаций. Наиболее полное описание процессов, происходящих в зоне лесного пожара, представлено в работах учёных Томского государственного университе-

та [1, 4, 5]. В частности в [5] приведены данные о составе и температуре газовой смеси над верховым пожаром, которые могут быть использованы для оценки величины и скорости нагрева обшивки ЛА при полёте в рассматриваемой зоне.

Согласно [6] в общем случае при полёте самолёта тепло в конструкцию поступает от воздуха; из пограничного слоя, разогревающегося из-за трения поверхности самолёта о воздух; от солнечной и атмосферной радиации; от двигателей и оборудования, установленных на аппарате. Одновременно часть тепла излучается поверхностью самолёта в окружающую среду.

Тепло, поступающее в конструкцию от оборудования и двигателей, может быть значительным. Однако, в общем случае в уравнении теплового баланса нагрев от этих источников не учитываем, так как он носит местный характер и исключается специальными мерами защиты. Не учитываем также тепловые потоки земного излучения и отражённых солнечных лучей, поскольку они значительно меньше теплового потока прямой солнечной радиации [6].

Теплообмен между средой и конструкцией происходит за счёт теплопроводности, конвекции и теплового излучения.

Приближённый характер распределения температуры T по толщине $\delta_{п.с}$ пограничного слоя показан на рис. 1. Там же штриховой линией показано изменение температуры по толщине $\delta_{об}$ обшивки [6].



Рис. 1. – Распределение температуры по толщине пограничного слоя и обшивки самолёта

Уравнение теплового баланса, полагая градиенты температуры в направлении осей x и z равными нулю, можно записать в виде [6]

$$\alpha \cdot (T_r - T_{\text{пов}}) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{\text{пов}}^4 + \beta_c \cdot G_c \cdot \cos \psi = \lambda \cdot \left(\frac{dT}{dy} \right)_{\text{пов}}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от среды к обшивке, ккал/(м²·час·°К); T_r – температура восстановления (температура пограничного слоя вблизи поверхности обтекаемого тела), °К; $T_{\text{пов}}$ – температура поверхности тела, °К; ε – коэффициент излучения материала; σ – постоянная Стефана–Больцмана (постоянная излучения абсолютно чёрного тела), равная $4,9 \cdot 10^{-8}$ ккал/(м²·час·°К⁴); β_c – коэффициент поглощающей способности материала поверхности конструкции по отношению к солнечной радиации; G_c – удельный тепловой поток от солнечной радиации, нормальной к поверхности, ккал/(м²·час); ψ – угол между направлением солнечных лучей и нормалью к поверхности; λ – коэффициент теплопроводности, ккал/(м·час·°К).

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является исследование нагрева обшивки ЛА при полёте в зоне верхового лесного пожара.

Тонкая обшивка, выполненная из материала с хорошей теплопроводностью, прогревается практически сразу по всей толщине, поэтому перепадом температур по толщине можно пренебречь, тогда $T_{\text{пов}} \approx T_{\text{об}}$, где $T_{\text{об}}$ – температура обшивки. Если при этом считать, что с внутренней поверхности обшивки отдача тепла не происходит, то тепло, идущее на её нагрев

$$\lambda \cdot \frac{dT}{dy} = c_{\text{об}} \cdot \gamma_{\text{об}} \cdot \delta_{\text{об}} \cdot \frac{dT_{\text{об}}}{dt}, \quad (2)$$

где $c_{\text{об}}$ – удельная теплоёмкость, ккал/(кг·°К); $\gamma_{\text{об}}$ – удельный вес, кг·м³; $\delta_{\text{об}}$ – толщина материала обшивки, м.

Нагрев от излучения солнца не учитываем, так как для аппаратов, совершающих полёт на высотах $H < 40$ км, теплом солнечной радиации можно пренебречь [6].

Нагревом конструкции от излучения факела пожара пренебрегаем, так как ему, очевидно, существенно будет препятствовать задымленность атмосферы в зоне пожара.

При этом уравнение нестационарного нагрева обшивки принимает вид

$$\alpha \cdot (T_r - T_{об}) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{об}^4 = c_{об} \cdot \gamma_{об} \cdot \delta_{об} \cdot \frac{dT_{об}}{dt}. \quad (3)$$

Так как $T_{об}$ переменная величина, то уравнение (3) решаем численным методом относительно приращения температуры по времени

$$\Delta T_{обi} = \left[\alpha \cdot (T_r - T_{об(i-1)}) - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{об(i-1)}^4 \right] \cdot \frac{\Delta t}{c_{об} \cdot \gamma_{об} \cdot \delta_{об}}, \quad (4)$$

где Δt – расчётный интервал времени, с; i – номер интервала.

Температуру восстановления рассчитываем по формуле [6]

$$T_r = T_{\delta} \cdot (1 + 0,2 \cdot r \cdot M^2), \quad (5)$$

где $T_{\delta} \approx T_{см}$ – температура воздуха на внешней границе пограничного слоя, принимаем равной температуре смеси газов в зоне пожара на рассматриваемой высоте, °К; M – число Маха; r – коэффициент восстановления температуры, зависящий от состояния пограничного слоя.

Согласно [6], в приближённых расчетах поток можно считать турбулентным по всей длине обтекаемого тела, тогда $r = 0,9$, а коэффициент теплоотдачи от среды к обшивке определяется следующим выражением

$$\alpha = 1307 \cdot \rho_{см} \cdot V \cdot c_{рсм} \cdot Re^{-0,2} \cdot \left(\frac{T_{см}}{T_r} \right)^{0,44}, \quad (6)$$

где $\rho_{см}$ – плотность газовой смеси в зоне пожара, кг·с²/м⁴; $c_{рсм}$ – удельная теплоёмкость газовой смеси, ккал/(кг·°К); Re – число Рейнольдса.

Проводим расчёт для следующего случая: скорость полёта $V = 70$ м/с; высота полёта $H = 60$ м над уровнем моря или 40 м над верхушками деревьев [7]; температура смеси газов на исследуемой высоте $T_{см} = 414,936$ °К [5]; материал обшивки – Д16Т; $\delta_{об} = 1,5$ м; $c_{об} = 0,22$ ккал/(кг·°К); $\gamma_{об} = 2800$ кг·м³; $Re = 2 \cdot 10^6$ [6]; $\Delta t = 10$ с – расчётный интервал времени.

Величины плотности $\rho_{см}$, удельной изобарной теплоёмкости $c_{рсм}$ и скорости звука $a_{см}$ для смеси газов в зоне пожара рассчитыва-

ем по методике разработанной в [3] и данным из [1]:
 $\rho_{см} = 0,0885 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, $c_{р_{см}} = 0,243 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{°К})$, $a_{см} = 401,642 \text{ м}/\text{с}^2$.

Результаты расчётов приведены на рис. 2. На рисунке представлены кривые, описывающие температуру восстановления и температуру обшивки, а также кривая, соответствующая предельной температуре материала обшивки, то есть той температуре, при которой наблюдается существенное изменение физико-механических свойств материала, что делает дальнейшую эксплуатацию ЛА невозможной.

Как видно из рис. 2, при полёте в зоне верхового лесного пожара на высоте 40 м над верхушками деревьев со скоростью 70 м/с обшивка ЛА толщиной 1,5 мм уже за 1 минуту полёта нагревается до температуры больше предельной.

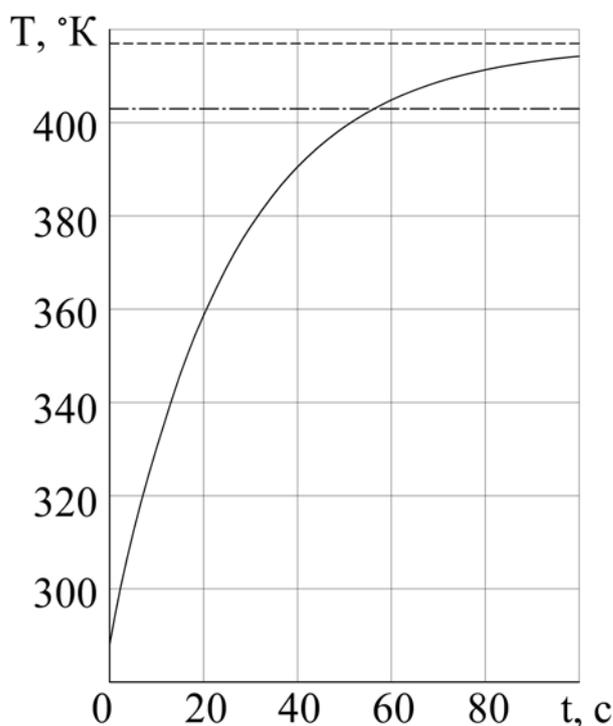


Рис. 2.

----- температура восстановления; ——— температура обшивки;
 -.-.- предельная температура

Выводы. По методу, предложенному в работе [6], на основании данных о состоянии атмосферы в зоне верхового лесного пожара [5] исследован нагрев обшивки ЛА при полёте в рассматриваемой зоне. Полученные результаты могут быть использованы как при проектировании динамически подобных ЭВС, так и при составлении программы полёта натурального ЛА при полёте в зоне лесного пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1981, 277 с.
 2. Бетина Е.Ю. Влияние лесных пожаров с различным типом контура на определение масштабов подобия / Е.Ю. Бетина // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. УГЗУ – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С. 18 –25.
 3. Рыженко А.И. Определение масштабов подобия для случая полёта натурального летательного аппарата в зоне лесного пожара / А.И. Рыженко, Е.Ю. Бетина // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. НУГЗУ – Харьков, 2009. – Вып. 26 – С. 113 –120.
 4. Гришин А.М. Двумерная неустойчивость фронта верхового лесного пожара / А.М. Гришин, Е.Е. Зеленский, С.В. Шевелев // Физика горения и взрыва; Академия наук СССР, Сибирское отделение. – №3. – Новосибирск: Наука, 1990. С. 7 – 17.
 5. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения / А.М. Гришин // Успехи механики: сб. науч. тр. Томского гос. ун-та. – Т. 1, №4. – Томск., 2003. – С. 41 – 89.
 6. Зайцев В.Н., Ночевкин Г.Н., Рудаков В.Л., Черненко Ж.С. Конструкция и прочность самолётов. К.: Вища школа, 1974. – 544 с.
 7. Мунтян В.К. Моделирование траектории полёта ядра воды сброшенной с пожарного самолёта АН-32П / В.К. Мунтян, Р.Г. Мелещенко // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. НУГЗУ – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С. 145 –150.
- nuczu.edu.ua

А.И. Рыженко, О.Ю. Бетина

Нагрів обшивки літального апарату при польоті в зоні лісової пожежі.

Розрахована зміна за часом температури обшивки літального апарату при польоті в зоні верхової лісової пожежі.

Ключові слова: лісова пожежа, літальний апарат, температура обшивки, теплообмін, теплове випромінювання.

A.I. Ryzenko Y.U. Betina

Aircraft skin heating when aircraft flight's in forest fire zone.

Change with time of aircraft skin temperature when aircraft flight's in forest fire zone is calculated.

Keywords: forest fire, aircraft, skin temperature, heat exchange, thermal radiation.