

СТАТЬИ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.5:621.431.75.001.24

А. О. Голубева

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИАЭРОДРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ЭТАПЕ «ГОНКА ДВИГАТЕЛЕЙ»

В работе рассмотрен этап эксплуатации воздушных судов — гонка двигателей. Проведен расчет уровня загрязнения, полученного в результате данного этапа, на основе численного решения уравнения, описывающего распространение примесей за счет диффузии и переноса воздушными массами. Для анализа механизма взаимодействия струй и влияния на них ветра предложен подход на основе использования коммерческих пакетов программ.

Ключевые слова: воздушные суда; двигатели; эмиссия загрязняющих веществ; струя; математическое моделирование; уровень загрязнения; гонка двигателей.

Anna O. Golubeva

ANALYSIS OF AERODROME SITE POLLUTION DURING THE ENGINE RUN
(Novosibirsk state technical university, Novosibirsk)

A stage of aircraft operation — the engine run – is considered in the article. The calculation of the level of pollution that results from this stage is made. The calculation is based on the root-finding algorithm describing the propagation of impurities due to the diffusion and transport by air masses. To analyze the mechanism of interaction between the jets and the impact of the wind on them we suggest an approach based on the usage of commercial software packages.

Key words: aircraft; engines; the emission of pollutants; jet; mathematical modeling; the level of pollution; the engine run.

За последние десятилетия на авиатранспорт приходится все больше пассажиро- и грузоперевозок. Это неуклонно ведет к увеличению мирового авиационного парка и, следовательно, к загрязнению окружающей среды. Поэтому очень важной задачей является определение уровня загрязнения, полученного в результате сгорания авиационного топлива на территориях аэропортов, аэродромов и прилегающих к ним территориях.

Голубева Анна Олеговна — аспирант

(Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск), e-mail: golubevaa@ngs.ru

© Голубева А. О., 2013

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) ограничивает выброс следующих основных загрязняющих веществ: оксидов углерода (COx), оксидов азота (NOx), сажи (NS), несгоревших углеводородов (CnHm) [3]. Ограничения концентрации загрязняющих веществ определяют границу, безопасную для проживания людей, или, иначе, размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Существуют различные методы анализа степени загрязнения атмосферного воздуха, полученного в результате сгорания авиационного топлива.

Действующей методикой является методика, разработанная ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации», ЗАО «Центр экологической безопасности гражданской авиации» [5]. Она основана на использовании индексов эмиссии загрязняющих веществ. Однако полуэмпирические соотношения не позволяют учитывать ряд факторов, таких как: движение воздушного судна по конкретно заданной взлетно-посадочной полосе (ВПП), метеорологические условия, преобладающие на данной территории, такой этап эксплуатации воздушного судна, как гонка двигателей.

Степень загрязнения прилегающих к аэродромам и аэропортам территорий может быть также оценена с помощью экспериментальных исследований с последующим расчетом индексов эмиссии по полуэмпирическим соотношениям согласно методике Министерства транспорта России [4]. При этом более точно определяется количество загрязняющих веществ в конкретном месте, в определенное время суток, но не отражается картина изменения концентрации на разных этапах взлетно-посадочного цикла. При данном подходе также не отслеживается траектория движения самолета по аэродрому, скорость и направление ветра [1]. Полученный результат предстает в количественном виде, без информации о распространении шлейфа загрязняющих веществ на территории аэродрома и прилегающих к нему территориях, также не учитывается взаимодействие реактивных струй с атмосферным воздухом.

Предложенные методики позволяют дать приближенную оценку загрязнения, полученную от взлетно-посадочного цикла. ИКАО выделяет следующие этапы: руление, взлет, набор высоты до 900 м, заход на посадку с 900 м, посадка, руление после посадки. Но существует еще один немаловажный этап эксплуатации самолета: гонка двигателей – проверка работоспособности силовых установок летательного аппарата. На данном этапе двигатели попеременно работают на всех режимах эксплуатации от малого газа до максимальной тяги. Время работы на соответствующих режимах строго фиксировано (см. рис. 1). Территория, на которой происходит гонка двигателей, оборудована специальными газоотбойниками. Они являются преградой для реактивных струй и, соответственно, загрязняющих веществ, полученных в результате сгорания топлива. Этот этап оказывает значительное влияние на окружающую среду.

Для оценки уровня загрязнения обратимся к математическому моделированию. Рассмотрим режим гонки двигателей для самолета Ан-12. Распространение примесей описывается с помощью механизма диффузии и переноса воздушными массами, описываемое дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + k_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + c_1 \frac{\partial \varphi}{\partial x} + c_2 \frac{\partial \varphi}{\partial y} = f(t, v, x, y) \quad (1)$$

где $\varphi(x, y, t)$ – объемная (или массовая) концентрация примеси ($\text{мг}/\text{м}^3$), $c_1(x, t)$, $c_2(y, t)$ – скорость движения воздуха в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно ($\text{м}/\text{с}$), $f(t, v, x, y)$ – функция, задающая источник загрязнения, t – время (сек), v – скорость движения самолета ($\text{м}/\text{с}$), k_1 , k_2 – соответственно горизонтальный и вертикальный коэффициент диффузии, определяемый экспериментально.

Поскольку при гонке двигатели запускают на разных режимах тяги, то для получения общей картины загрязнения необходимо просуммировать загрязнения от каждого режима работы двигателя, учитывая время его работы (рис. 1), и общее количество двигателей.

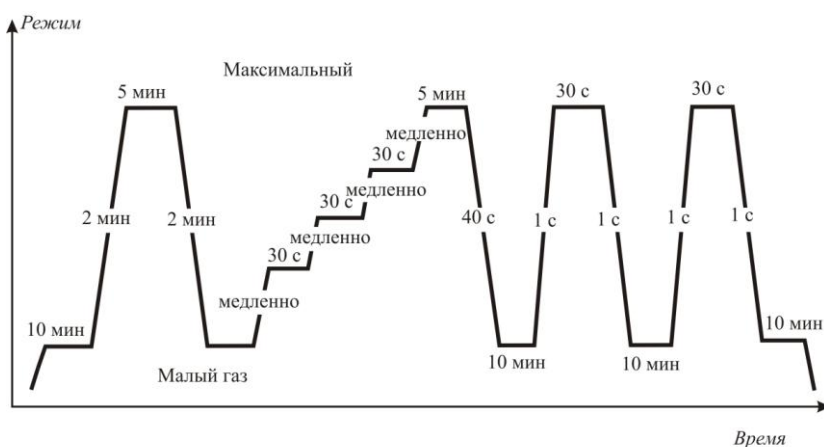


Рис. 1. График гонки двигателя

В таблице 1 приведены характеристики двигателя самолета Ан-12.

Таблица 1.

Характеристики двигателя

Тип двигателя	Количество двигателей	Скорость истечения выхлопных газов на срезе сопла, км/ч	Расстояние между двигателями, мм	Диаметр среза сопла двигателя, мм
АИ-222-25	4	850	4500	450

В таблице 2 представлены индексы эмиссии для различных режимов двигателя.

Таблица 2.

Индексы эмиссии для различных режимов двигателя АИ-222-25

Этап	Индексы эмиссии, [г/кг]			
	Оксиды углерода CO_x	Углеводороды C_nH_m	Оксиды азота NO_x	NS (сажа)
Максимальный режим	2,35	0	11,75	0,270
0,6 М	3,7	0	7,6	0,185
0,3 М	12,0	0	5,7	0,145
Крейсерский режим	7,7	0	6,6	0,154
Малый газ	77,3	12,2	2,04	0,104

В качестве численного решения задачи используется метод продольно-поперечной прогонки.

В результате вычислений получены изолинии распределения суммарной концентрации примесей. На рис. 2 приведено распределение примеси CO в горизонтальной расчетной области на уровне 2 м от земли при северо-западном направлении ветра.

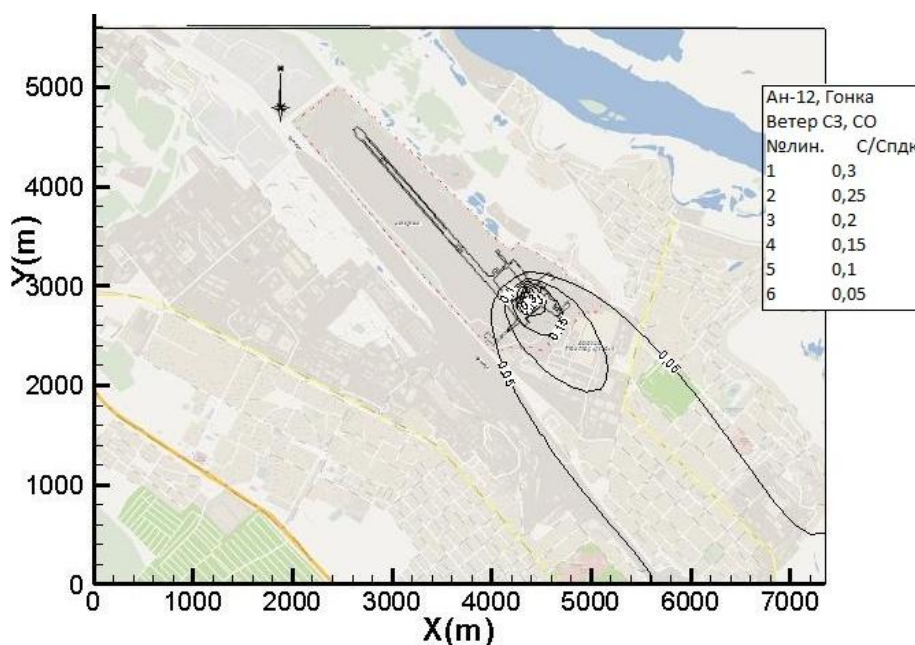


Рис. 2. Изолинии распределения суммарной концентрации примеси CO при гонке двигателей в горизонтальной расчетной области на уровне 2 м от земли при северо-западном направлении ветра

Однако при данном упрощенном подходе невозможно увидеть, как струя, истекая из сопла при различных режимах работы двигателя, реагирует с газоотбойниками, какое влияние на нее оказывает ветер. И так

как самолет, как правило, оснащен несколькими двигателями, возникает вопрос о взаимодействии струй друг с другом.

Для ответов на эти вопросы обратимся к современным вычислительным комплексам, которые позволяют наглядно воссоздать модель струи и увидеть процессы, происходящие в ней. Одним из широко используемых программных продуктов является ANSYS Fluent. Это мощнейший программный комплекс, позволяющий моделировать течение жидкости и газов с учетом турбулентности, теплообмена и химических реакций [1].

В основе решателя заложены уравнения Навье – Стокса [6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}, \\ \nabla \cdot \vec{v} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где ∇ – оператор Гамильтона;

Δ – оператор Лапласа;

t – время;

ν – коэффициент кинематической вязкости;

ρ – плотность;

p – давление;

$\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$ – векторное поле скоростей;

\vec{f} – векторное поле массовых сил.

В качестве первого приближения рассмотрим истечение выхлопных газов из сопел самолета Ан-12 на основе модели, представляющей собой плоскость с имитацией четырех двигателей самолета, расположенных в соответствии с данными, приведенными в таблице 1.

Существуют различные модели для расчета турбулентных течений, которые преобразуют систему уравнений (2). При решении поставленной задачи примем тип модели турбулентности k-ε. В качестве модели используем «species transport». При расчете используется уравнение энергии.

Граничными условиями на срезе сопла выступает скорость истечения струи в соответствии с данными, приведенными в таблице 1, на остальных границах расчетной области используются «мягкие» граничные условия.

Полученное первое приближение, рис. 3, позволяет детализировать задачу о распространении загрязняющих веществ при режиме гонка двигателей. Усложняя задачу, можно выработать рекомендации по установке щитков и получить более качественную картину уровня загрязнения при данном этапе эксплуатации воздушных судов.

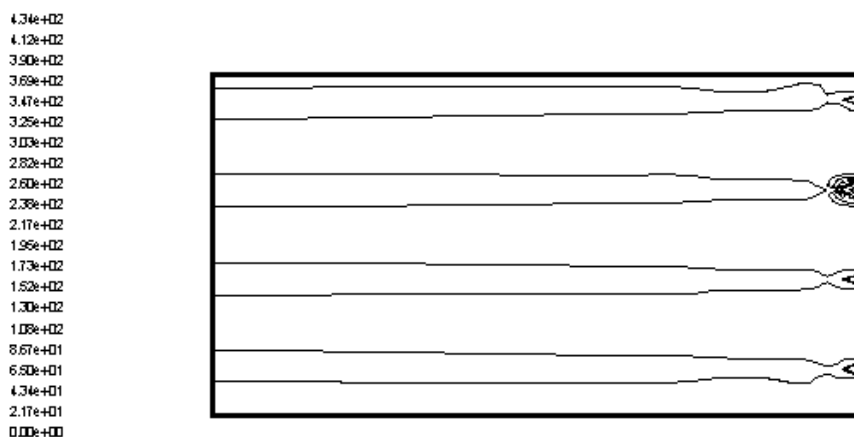


Рис. 3. Распределение скорости на срезе сопел

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубева А. О. Использование упрощенной модели для оценки рассеивания выбросов от воздушных судов // Материалы XVIII международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (Алушта, 22–31 мая 2013г.). МАИ, 2013. С. 717–719.
2. Голубева А. О., Кортаева Т. А., Ларичкин В. В. Математическое моделирование рассеивания выбросов от воздушных судов на приаэродромных территориях // Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ч 1. Саратов, 2013. С. 169–172.
3. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 16 ИКАО. Т. 2. Эмиссия авиационных двигателей. 2008. 118 с.
4. Методика контроля загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях аэропорта. М.: Минтранс России ГосНИИ ГА, 1992. 39 с.
5. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ двигателями воздушных судов гражданской авиации. М.: ФГУП ГосНИИ ГА, ЗАО ЦЭБ ГА, 2007. 21 с.
6. Темам Р. Уравнения Навье – Стокса. Теория и численный анализ. 2-е изд. М.: Мир, 1981. 408 с.

* * *