

УДК 504.5:621.431.75.001.24

**ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
ВЕЩЕСТВ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ
НА ПРИЛЕГАЮЩИХ К АЭРОПОРТАМ
И АЭРОДРОМАМ ТЕРРИТОРИЯХ**

А.О. Голубева¹, В.В. Ларичкин¹, Т.А. Коротаева²

¹*Новосибирский государственный технический университет*

²*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН*

За последние десятилетия резко возросло участие авиатранспорта в грузо- и пассажиро-перевозках. Это приводит к увеличению числа аэропортов и аэродромов, нередко они оказываются в непосредственной близости к жилым постройкам. Чтобы защитить население от вредного воздействия выхлопных газов воздушных судов с силовой установкой, разрабатывают санитарно-защитные зоны. Существующие методы дают приближенную количественную оценку уровню загрязнения приаэродромных территорий. В работе предложен метод расчета рассеивания загрязняющих веществ от двигателей воздушных судов на прилегающих к аэропортам и аэродромам территориях. Подход основан на построении модели процесса распространения примесей за счет механизма диффузии и переноса загрязняющих веществ воздушными массами. Разработанный метод позволяет определить уровень загрязнения на каждом этапе взлетно-посадочного цикла (руление, взлет, набор высоты до 900 м, заход на посадку с 900 м, посадка, руление после посадки) с учетом особенностей движения самолета на каждом этапе. При этом в расчете учитываются конкретный тип авиационного двигателя, установленного на самолете, и их количество. Также учитываются погодные условия, при которых эксплуатируется воздушное судно, и время года.

Ключевые слова: воздушные суда, силовая установка (двигатель), аэропорты, аэродромы, приаэродромные территории, эмиссия загрязняющих веществ, математическое моделирование, рассеивание авиационных выбросов в атмосфере.

Введение

Воздушные суда являются одним из факторов загрязнения окружающей среды. Наиболее сильное негативное их влияние проявляется в аэропортах и на приаэродромных территориях. По этой причине аэропорты и аэродромы располагают вдали от жилых застроек. Но ввиду стремительного расширения границ городов воздушные порты оказываются в непосредственной близости от городских кварталов. Такая тенденция отмечается во всем мире, в том числе и в России. Одним из наглядных примеров является аэродром Иркутского авиационного завода, который расположен непосредственно в черте города. Закрыть аэродром не представляется возможным исходя из экономической точки зрения. Поэтому очень важно оценить степень загрязнения воздушной среды двигателями воздушных судов на данных территориях и определить санитарно-защитную зону (СЗЗ).

Наличие таких территорий в России регламентируется Градостроительным кодексом [1], Воздушным кодексом [2], а также Федеральными законами № 7-ФЗ [3], № 52-ФЗ [4], № 96-ФЗ [5]. Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (СанПиН) 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» предусматривается, что размер СЗЗ для аэропортов, аэродромов устанавливается в каждом конкретном случае на основании расчетов рассеивания загрязнения атмосферного воздуха, а также на результатах натурных исследований и оценки риска для здоровья населения [6].

В настоящее время разработаны различные приближенные методики расчета рассеивания загрязнения атмосферного воздуха от эксплуатации воздушных

судов, в том числе в районе аэропортов и на приаэродромных территориях, основанные либо на теоретических моделях [7, 8], либо на натурных экспериментальных данных [9]. Основным недостатком предлагаемых методик является отсутствие учета в получаемых картах рассеивания загрязняющих веществ изменения концентраций в определенной точке приземного слоя за счет движения объекта с разной скоростью и с разной тягой двигателей, что определяется режимами взлетно-посадочного цикла воздушного судна.

Потребность в более достоверной оценке степени загрязнения в районе аэропортов и на приаэродромных территориях также связана со стремительным расширением мирового и отечественного парка самолетов, границ городов, а также ужесточением экологических требований.

Целью работы является разработать на основе математического моделирования методику расчета распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от эксплуатации воздушных судов с учетом движения самолета, его типа (количества двигателей), разных этапов взлетно-посадочного цикла и метеорологических условий.

1. Постановка задачи

Для реализации поставленной цели в качестве первого приближения к реальным условиям рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) от эксплуатации воздушных судов предлагается использовать двумерную модель процесса распространения примесей, компоненты которых не вступают между собой в химические реакции; процесс рассеивания осуществляется за счет механизма диффузии и переноса ЗВ воздушными массами. В этом случае распространение ЗВ может быть описано дифференциальным уравнением в частных производных [10]:

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

где $\varphi(x, y, t)$ – объемная концентрация примеси (мг/м^3); $c_1(x, t)$, $c_2(x, t)$ – скорость движения воздуха в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно (м/с); $f(t, v, x, y)$ – функция, задающая источник загрязнения; t – время (с); v – скорость движения самолета (м/с); k_1, k_2 – соответственно горизонтальный и вертикальный коэффициенты диффузии, определяемые на основе экспериментальных или справочных данных.

Перенос загрязняющих веществ во многом определяется погодными условиями. Процесс диффузии зависит от ряда факторов: скорости ветра, времени суток и времени года, облачности, интенсивности атмосферной турбулентности. Обычно зависимости этих параметров друг от друга определяются с помощью коэффициента турбулентной диффузии K . Для получения близкого к реальному результата в решение уравнения (1) были заложены значения коэффициента турбулентной диффузии в соответствии с табл. 1, взятой из работы [11].

В атмосфере перенос загрязняющих веществ в основном обусловлен скоростью и направлением ветра. Поэтому важно знание этих параметров в зоне аэропорта и на приаэродромных территориях, для которых ведется расчет концентраций ЗВ. Очевидно, что чем больше скорость ветра, тем более интенсивно будет происходить перемешивание воздуха и, следовательно, будет меньше степень загрязнения атмосферного воздуха от эксплуатации воздушных судов [8].

При построении модели процесса рассеивания ЗВ учитывались не только характеристики движения самолета и окружающей среды, но и характеристики самого летательного аппарата, а именно тип и количество двигателей, установлен-

ных на нем. Тип двигателя определяет расход топлива, эмиссию загрязняющих веществ, время движения на каждом этапе взлетно-посадочного цикла.

Таблица 1

Значения скорости ветра и коэффициент турбулентной диффузии [11]

Тип	Интенсивность атмосферной турбулентности	Скорость ветра, м/с	K, м ² /с	Облачность	Время суток	Полугодие
1	Отсутствует	Штиль	0	Ясно	Ночь	Теплое
2	Очень слабая	1,5	0,6	Ясно Переменно	День Ночь	Холод Год
3	Слабая	1,5...3	0,6...1,0	Ясно Ясно	Ночь День	Год Холод
4	Умеренная	1,5...3 3...6	0,7...1,2 1,2...2,5	Ясно Пасмурно	День Ночь	Год Год
5	Развитая	3...6 6...9	1,2...2,5 2...4,5	Ясно Пасмурно	День Ночь	Год Год
6	Сильная	6...10	5...10	Ясно Переменно	День День	Теплое Теплое
7	Очень сильная	11...12	10	Ясно Переменно	День День	Теплое Теплое

Согласно данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), стандартный взлетно-посадочный цикл включает в себя следующие этапы: руление, взлет, набор высоты до 900 м, заход на посадку с 900 м, посадка, руление после посадки [12]. Каждый этап движения характеризуется временем движения и уровнем эмиссии ЗВ. В работах [12, 13] приведены осредненные данные мирового воздушного парка по данным параметрам. Кроме того, каждый этап взлетно-посадочного цикла летательного аппарата имеет свои особенности движения. Поэтому в математической модели была предусмотрена реализация процесса движения воздушного судна на отдельном этапе.

Руление характеризуется тем, что самолет движется практически без ускорения, со скоростью, часто сопоставимой со скоростью ветра. Взлет самолета описывается движением с ускорением, и его скорость меняется от нуля до скорости отрыва. В дальнейшем, на этапе набора высоты, самолет движется с ускорением под углом атаки, но с практически постоянной скоростью [11]. Начальное положение источника загрязнения заведомо известно, а положение источника в момент времени t может быть описано известными уравнениями для равноускоренного движения:

$$x = x_0 + v_x t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad y = y_0 + v_y t + \frac{a_y t^2}{2}, \quad (2)$$

здесь x, y – текущие координаты источника; x_0, y_0 – начальное положение источника; v_x, v_y – составляющие скорости движения самолета; a_x, a_y – составляющие ускорения, с которым движется самолет; t – текущий момент времени.

В работе модель процесса рассеивания ЗВ от воздушного судна, описанная уравнениями (1) и (2), решалась численно, с помощью метода продольно-поперечной прогонки [14]. Область вычислений разбивалась на ячейки, и в каждом узле вычислялись значения уровня загрязнения.

Полученную расчетную величину концентрации загрязняющего вещества относили к уровню предельно допустимой концентрации (ПДК), что позволяло по-

лучать относительные концентрации ЗВ в долях ПДК. Стандарт ИКАО ограничивает выброс основных загрязняющих веществ, к которым относятся: оксиды углерода (CO_x), оксиды азота (NO_x), сажа (NS), несгоревшие углеводороды (C_nH_m) [12]. В табл. 2 приведены значения ПДК для основных загрязняющих веществ, получаемых в результате сгорания авиационного топлива [12].

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, полученных в результате сгорания авиационного топлива

Вещество	ПДК, мг/м ³
NO_x	0,2
CO	5
C_nH_m	1,2
SH (сажа)	0,15

В разработанном алгоритме предусмотрена дополнительная обработка расчетных данных, позволяющая визуализировать в виде изолиний распределения ЗВ в выбранной расчетной области.

2. Решение тестовой задачи

В качестве примера рассмотрим результаты расчета по разработанной математической модели распространения загрязнений от взлетно-посадочного цикла самолета Ан-12. Согласно данным ФГУП «НПЦ газотурбостроения “Салют” на данном самолете установлено четыре двигателя АИ-222-25. В табл. 3 приведены данные об эмиссии ЗВ на различных режимах работы этого двигателя.

Таблица 3

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 табл. 4 представлены данные по этапам взлетно-посадочного цикла относительной тяги двигателя и времени его работы.

Таблица 4

Относительная тяга и время работы на каждом из этапов взлетно-посадочного цикла

Этап взлетно-посадочного цикла	Относительная тяга, %	Время работы двигателя на данном этапе полета, с
Руление перед взлетом	7	300
Взлет	100	120
Набор высоты 900 м	85	300
Заход на посадку	30	180
Руление после посадки	7	300

Коэффициент турбулентной диффузии определялся в соответствии с табл. 1. Предполагается, что эксплуатация самолета осуществляется в дневное время суток, при ясной погоде и в теплое время года.

Обычно информация о погодных условиях предоставляется региональной метеостанцией на основе зондирования и средних многолетних наблюдений характеристик метеорологических элементов.

В тестовых расчетах были приняты следующие условия:

– скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 %, равна 4,9 м/с;

– среднегодовая повторяемость направлений ветра и штилей: С – 6 %, СЗ – 17 %, штиль – 7 %.

Расчетная область выбиралась из условий поставленной задачи: необходимо охватить конкретную промышленную и жилую зону в виде прямоугольника со сторонами, параллельными направлениям С–Ю (ось OY) и В–З (ось OX).

Схема взлетно-посадочной полосы аэродрома и прилегающей к нему промышленной и селитебной зон показана на рис. 1.

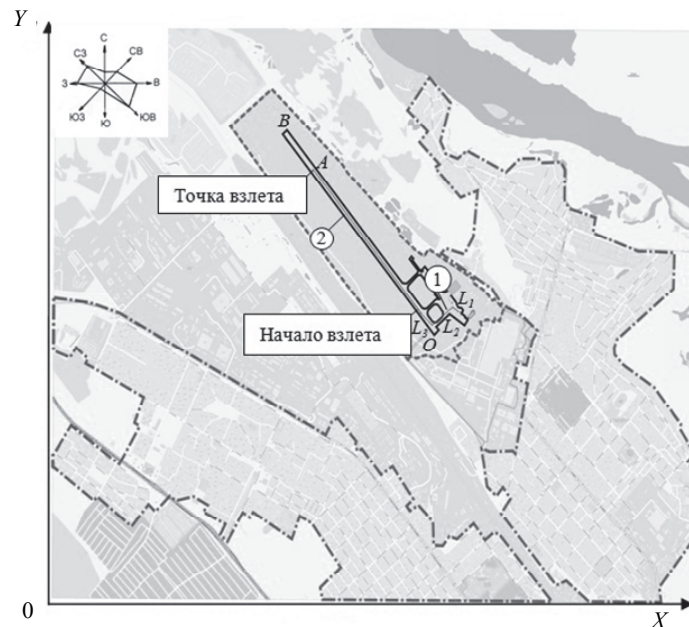


Рис. 1. Схема расчета:

прямая ОВ – взлетно-посадочная полоса; 1 – этап руления, состоящий из трех отрезков ($L_1+L_2+L_3$); 2 – этап взлета; граница аэродрома;
— · — граница промышленной и селитебной зон

Для определения движения самолета на каждом этапе взлетно-посадочного цикла использовалась введенная система координат. Начальное положение источника загрязнения всегда известно, а положение источника в момент времени определялось исходя из этапа движения. Этап «Руление» характерен тем, что самолет движется без ускорения по траектории I в соответствии с рис. 1. Данная траектория составлена из трех отрезков с длинами $L_1 = 86$ м, $L_2 = 238$ м, $L_3 = 137$ м и углами соответственно $\alpha_1 = 156^\circ$, $\alpha_2 = 218^\circ$, $\alpha_3 = 130^\circ$. Перемеща-

ясь до отметки «Начало взлета», самолет переходит к этапу «Взлет», на котором происходит движение с ускорением по траектории 2. Для Ан-12 длина разбега (при взлете) и пробега (при посадке) одинакова и равна 1200 м. Набрав необходимую скорость, летательный аппарат отрывается от земли и переходит к этапу «Набор высоты до 900 м». Время движения и тяга двигателя на каждом этапе строго фиксированы и определяются в соответствии с табл. 4. Этапы «Заход на посадку», «Посадка» и «Руление после посадки» аналогичны этапам «Набор высоты до 900 м», «Взлет» и «Руление» соответственно.

Каждый этап движения моделируется с помощью формулы (2). Данная процедура позволяет отследить шлейф выхлопных газов самолета на взлетно-посадочной полосе и вне ее, а также оценить при этом уровень загрязнения.

3. Полученные результаты

Программная реализация предложенного подхода позволяет получить уровень загрязнения расчетной территории практически в любой точке горизонтальной плоскости на любой высоте. На рис. 2 и 3 представлены изолинии суммарной концентрации угарного газа СО на этапе руления в горизонтальной расчетной области на уровне 2 м от земли при северном и северо-западном направлениях ветра соответственно спустя 30 минут после движения самолета.

На рис. 4 показаны изолинии распределения суммарной концентрации угарного газа СО на режиме взлета при северо-западном направлении ветра. Аналогично могут быть построены изолинии для других загрязняющих веществ.

Видно, что рассмотренный метод позволяет получить полную картину загрязнений территорий, прилегающих к аэропортам и аэродромам. В разработанном алгоритме предусмотрен также учет фоновое загрязнение от эксплуатации других подвижных и стационарных источников выбросов.

Таким образом, разработанный комплекс может быть эффективным инструментом в работе инженеров-экологов, занимающихся расчетом карт рассеивания загрязняющих веществ от воздушных судов и санитарно-защитных зон аэропортов и предприятий авиационного профиля.

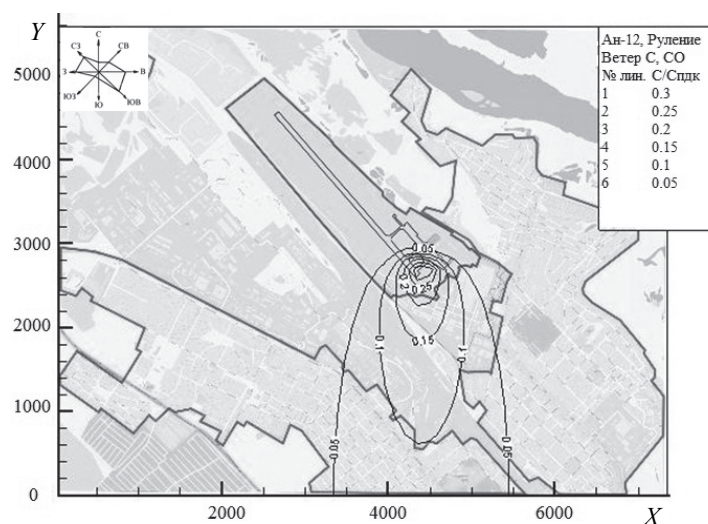


Рис. 2. Распределение суммарной концентрации примеси СО при рулении самолета Ан-12 на ВПП при северном направлении ветра

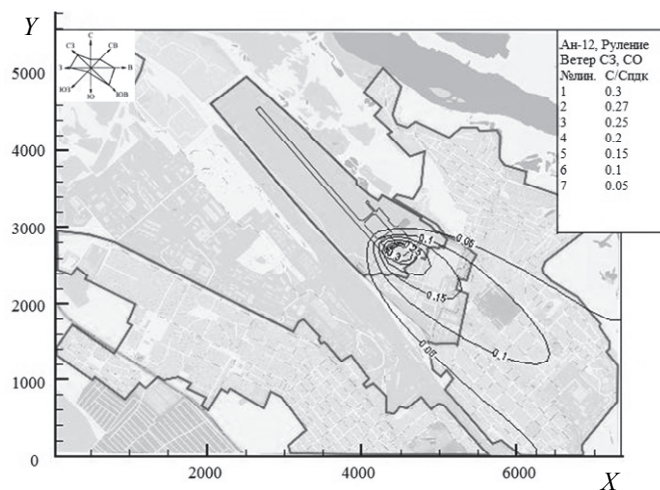


Рис. 3. Распределение суммарной концентрации примеси СО при рулении самолета Ан-12 на ВПП при северо-западном направлении ветра

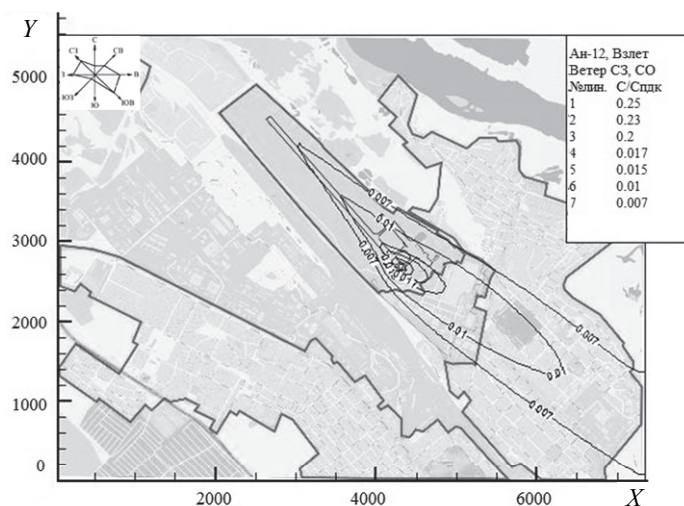


Рис. 4. Распределение суммарной концентрации примеси СО при взлете самолета Ан-12 на ВПП при северо-западном направлении ветра

Выводы

В статье рассмотрена задача о распространении загрязняющих веществ от двигателей самолетов на разных этапах взлетно-посадочного цикла. Приблизительная оценка загрязнения уже не удовлетворяет требованиям экологических стандартов, поэтому требуются новые подходы и разработки. Предложенный метод основан на математическом моделировании процесса рассеивания загрязняющих веществ от работы авиационных двигателей на прилегающих к аэропортам или аэродромам территориях для каждого этапа движения самолета. Он позволяет оценить качественно и количественно степень загрязнения территорий вблизи поверхно-

сти земли, что важно для экологической оценки обстановки. При этом учитываются тип самолета, погодные условия и время года. На основании результатов расчетов по предлагаемой методике также могут быть даны рекомендации по установлению санитарно-защитных зон аэропортов и авиапредприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Градостроительный** кодекс РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 01.01.2014). – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/gskrf/>.
- [2] **Воздушный** кодекс РФ от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ (с изменениями от 8 июля 1999 г.; 22 августа, 2 ноября, 29 декабря 2004 г.; 21 марта 2005 г.; 18 июля, 30 декабря 2006 г.; 26 июня, 8 ноября, 1 и 4 декабря 2007 г.; 14 и 27 июля 2008 г.; 7 июня 2013 г.). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/popular/air/25_6.html#p473.
- [3] **Федеральный** закон «Об охране окружающей среды», №7-ФЗ от 10.01.2002 (ред. от 23.07.2013). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred/>.
- [4] **Федеральный** закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», № 52-ФЗ от 30.03.1999 (ред. 25.11.2013). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154776/.
- [5] **Федеральный** закон «Об охране атмосферного воздуха», № 96-ФЗ от 04.05.1999 (ред. от 23.07.2013). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150000/.
- [6] **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – 2010. – 77 с.
- [7] **Методика** расчета выбросов загрязняющих веществ двигателями воздушных судов гражданской авиации. ФГУП ГосНИИ ГА, ЗАО ЦЭБ ГА. – М., 2007. – 21 с.
- [8] **Асатуров М.Л.** Загрязнение окружающей среды при авиатранспортных процессах: учеб. пособие. – СПб.: Университет гражданской авиации, 2010. – 94 с.
- [9] **Методика** контроля загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях аэропорта. Минтранс России ГосНИИ ГА. – М., 1992. – 39 с.
- [10] **Белолипецкий В.М., Шонин Ю.Г.** Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды. – Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1997. – 240 с.
- [11] **Коротаяева Т.А.** Оценка распространения примесей при эксплуатации самолетов для условного взлетно-посадочного цикла: метод. указания к расчетно-графической работе для студентов IV курса факультета летательных аппаратов. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 15 с.
- [12] **Международные** стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 16 ИКАО, т. 2 «Эмиссия авиационных двигателей». – 2008. – 118 с.
- [13] **Авиационные** правила, часть 34 «Охрана окружающей среды. Эмиссия загрязняющих веществ авиационными двигателями. Нормы и испытания». – 2003. – 102 с.
- [14] **Калиткин Н.Н.** Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

**NUMERICAL CALCULATION OF THE DISPERSION
OF POLLUTANTS FROM THE OPERATION OF AIRCRAFT
AROUND AIRPORTS AND AIRFIELD TERRITORIES**

Golubeva A.O.¹, Larichkin V.V.¹, Korotaeva T.A.²

¹*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

²*Institute of Theoretical and Applied Mechanics*

in the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Over recent decades, air transport involvement in cargo and passenger transportation has increased significantly. As a result, the number of airports and airfields has increased; many of them have been built in close proximity to residential buildings. Sanitary protection zones are developed to protect the population from harmful effects of aircraft exhaust gases. The existing methods give approximate estimation of the level of contamination of the aerodrome environs. The paper proposes a method for the calculation of the dispersion of pollutants from aircraft engines

over airport and airfield territories. The approach is based on a pollution dispersion model that takes into account the mechanism of diffusion and transport of pollutants by air masses. The method developed allows determining the level of contamination at each stage of the take-off and landing cycle, namely, taxiing, takeoff, climb to 9000 m, descent from 9000m, landing and taxiing after landing, with regard to the features of the stages. At the same time, the type of aircraft engine installed in the aircraft and their number are taken into account in the calculation. Weather conditions during the aircraft operation and season are also taken into consideration.

Keywords: aircrafts; power plant (engine); airports; airfields; aerodrome environs; pollutant emission; mathematical modeling; dispersion of aviation pollutants in the atmosphere.

REFERENCES

- [1] **Gradostroitel'nyj kodeks RF ot 29 dekabrja 2004g. № 190-FZ (red. ot 01.01.2014)** [Town Planning Code of the Russian Federation of December 29, 2004. Number 190-FZ (as amended on 01.01.2014)]. Available at: <http://www.consultant.ru/popular/gskrf/>. (accessed 28.01.2014).
- [2] **Vozdushnyj kodeks RF ot 19 marta 1997g. № 60-FZ (s izmenenijami ot 8 ijulja 1999 g.; 22 avgusta, 2 nojabrja, 29 dekabrja 2004 g.; 21 marta 2005 g.; 18 ijulja, 30 dekabrja 2006 g.; 26 ijunja, 8 nojabrja, 1, 4 dekabrja 2007 g.; 14, 27 ijulja 2008 g.; 7 ijunja 2013 g.)** [Air Code of the Russian Federation dated 19 March 1997. Number 60-FZ (as amended on July 8, 1999; August 22, November 2, December 29, 2004; March 21, 2005; July 18, December 30, 2006; June 26, November 8, 1, 4 December 2007; 14, 27 July, 2008; June 7, 2013.)]. Available at: http://www.consultant.ru/popular/air/25_6.html#p473. (accessed 28.01.2014).
- [3] **Federal'nyj zakon "Ob ohrane okruzhajushhej sredy", № 7-FZ ot 10.01.2002 (red. ot 23.07.2013)**. [Federal Law "On Environmental Protection", № 7-FZ of 10.01.2002 (as amended on 23.07.2013)]. Available at: <http://www.consultant.ru/popular/okrsred/>. (accessed 28.01.2014).
- [4] **Federal'nyj zakon "O sanitarno-jepidemiologicheskom blagopoluchii na-selenija", № 52-FZ ot 30.03.1999 (red. 25.11.2013)** [Federal Law "On the sanitary-epidemiological welfare of the population", № 52-FZ of 30.03.1999 (as amended 25.11.2013)]: Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154776/. (accessed 28.01.2014).
- [5] **Federal'nyj zakon "Ob ohrane atmosfernogo vozduha", № 96-FZ ot 04.05.1999 (red. ot 23.07.2013)** [Federal Law "On protection of atmospheric air", № 96-FZ of 04.05.1999 (as amended on 23.07.2013)]: Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150000/. (accessed 28.01.2014).
- [6] **Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy 2.2.1/2.1.1.1200-03 Sanitarno-zashhitnye zony i sanitarnaja klassifikacija predpriyatij, sooruzhenij i inyh ob'ektov** [Sanitary-epidemiological rules and regulations 2.2.1/2.1.1.1200-03 Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, buildings and other objects], 2010. 77 p.
- [7] **Metodika rascheta vybrosov zagraznjajushhih veshhestv dvigateljami vozdushnyh sudov grazhdanskoj aviacii. FGUP GosNII GA, ZAO CJeB GA** [A method of calculation of civil aircraft engine emissions. State Research Institute of Aviation, Inc. ETC GA]. Moscow, 2007, 21p.
- [8] **Asaturov M.L. Zagraznenie okruzhajushhej sredy pri aviatransportnyh processah: uchebnoe posobie** [Environmental pollution in the air transport processes: a tutorial]. S.-Peterburg, Universitet grazhdanskoj aviacii Publ., 2010. 94 p.
- [9] **Metodika kontrolja zagraznenija atmosfernogo vozduha v okrestnostjah ajeroporta. Mintrans Rosii GosNII GA** [Technique of air pollution control in the vicinity of the airport]. – Moscow, 1992, 39 p.
- [10] **Belolipeckij V.M., Shonin Ju.G. Matematicheskoe modelirovanie v zadachah ohrany okruzhajushhej sredy** [Mathematical modeling of environmental problems]. Novosibirsk, 1997. 240p.
- [11] **Korotaeva T.A. Ocenka rasprostraneniya primesej pri jekspluatacii samoletov dlja uslovnogo vzletno-posadochnogo cikla, metodicheskie ukazaniya k raschetno-graficheskoj rabote dlja studentov IV kursa fakul'teta letatel'nyh apparatov** [Score Distribution of impurities in the operation of aircraft for conditional runway cycle, guidelines for calculation and graphic work for students of faculty of IV aircraft]. Novosibirsk, 2002. 15 p.
- [12] **International Standards and Recommended Practices. ICAO Annex 16, Volume 2 "Aircraft Engine Emissions"**, 2008, 118 p.

- [13] *Aviacionnye Pravila, chast' 34 "Ohrana okruzhajushhej sredy. Jemissija zagryaznjajushhih veshhestv aviacionnymi dvigateljami. Normy i ispytaniya"* [Aviation Regulations, Part 34, "Environmental Protection. Emissions of air pollutants from aircraft engines. Standards and tests"]. 2003. 102p.
- [14] **Kalitkin N.N.** *Chislennye metody* [Numerical methods]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 512 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Голубева Анна Олеговна – родилась в 1988 году, окончила Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), с 2011 года аспирант кафедры инженерных проблем экологии НГТУ. Область научных интересов: математическое моделирование, транспортная экология. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. Email: golubevaa@ngs.ru)

Golubeva Anna Olegovna (b. 1988) – graduated from the Novosibirsk State Technical University (NSTU), Post-graduate Student of Engineering Ecology Problems Department of the NSTU. Area of research: mathematical simulation, transport ecology. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. Email: golubevaa@ngs.ru)



Ларичкин Владимир Викторович – родился в 1949 году, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: промышленная аэродинамика, техносферная безопасность, экология и рациональное природопользование. Опубликовано 120 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. Email: larichkin@craft.nstu.ru)

Larichkin Vladimir Viktorovich (b. 1949) – Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Engineering Ecology Problems Department of the Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on the industrial aerodynamics, technosphere safety, ecology and environmental management. He is author of 120 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. Email: larichkin@craft.nstu.ru)



Коротаева Татьяна Александровна – родилась в 1962 году, д-р физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физических проблем управления газодинамическими течениями Института теоретической и прикладной механики СО РАН, профессор кафедры инженерных проблем экологии Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: вычислительная аэродинамика. Опубликовано 90 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1. Email: korta@itam.nsc.ru)

Korotaeva Tatiana Alexandrovna (b. 1962) – Doctor of Science (Phys. & Math.), Assistant Professor, Senior Researcher of Physical Control Problems of Gasdynamic Flows Laboratory of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics in the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Professor of Engineering Ecology Problems Department of the Novosibirsk State Technical University. Her research interests are currently focused on the computational aerodynamics. She is author of 90 scientific papers. (Address: 4/1, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia. Email: korta@itam.nsc.ru)

Статья поступила 03 февраля 2014 г.

Received 03 Feb. 2014

To Reference:

Golubeva A.O., Larichkin V.V., Korotaeva T.A. Chislennyi raschet rasseivaniya zagryaznyayushchikh veshchestv ot ekspluatatsii samoletov na prilegayushchikh k aeroportam i aerodromam territoriyakh [Numerical calculation of the dispersion of pollutants from the operation of aircraft around airports and airfield territories]. *Doklady Akademii Nauk Vysshiei Shkoly Rossiiskoi Federatsii* [Reports of Russian Higher Education Academy of Sciences], 2014, no. 1(22), pp. 52–61. (in Russ.).