

На правах рукописи

МАСЛОВ Вадим Александрович



**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ
ПРИАЭРОДРОМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВЫБРОСАМИ ВОЗДУШНЫХ
СУДОВ**

Специальность 03.00.16 - Экология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ВОРОНЕЖ – 2003

Работа выполнена в Воронежском военном авиационном инженерном институте.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Сазонов Эдуард Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Подольский Владислав Петрович
кандидат технических наук,
Довгань Станислав Анатольевич

Ведущая организация – Воронежский государственный технический университет

Защита состоится 3 апреля 2003 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.033.02 в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете (394006, Воронеж, ул.20-летия Октября, 3, ауд. 20).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан 28 февраля 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Фомин О.П.

2003-А
4776

Актуальность темы. Летательные аппараты являются мощным источником загрязнения воздушной среды газообразными веществами и в местах сосредоточения на аэродромах и стартовых площадках сравнимым по мощности выбросов с работой крупных промышленных предприятий. По сравнению с загрязнением, вносимым в окружающую среду наземным транспортом, доля воздушных судов невысока, однако удельные выбросы, приведенные к одному летательному аппарату, на порядки выше чем от двигателя внутреннего сгорания грузового автомобиля. Решению вопросов загрязнения атмосферы двигателями летательных аппаратов посвящены работы Борисова Н. И., Жестовского Ю. Н., Иванова В. И., Цунко Н. И.

Мониторинг окружающей среды приаэродромных территорий требует значительных затрат, поэтому прогнозирование загрязнения воздушной среды двигателями летательных аппаратов на основе аналитических зависимостей является актуальной задачей. Кроме того, до настоящего времени не решена проблема акустического воздействия воздушных судов на персонал аэродромов и население приаэродромных территорий.

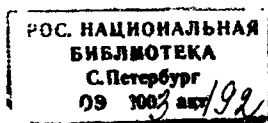
Целью настоящей работы является моделирование и прогнозирование пространственного загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий газообразными выбросами от двигателей воздушного транспорта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель пространственного загрязнения атмосферы приаэродромных территорий газообразными и твердыми веществами от воздушных судов;
- разработать методику экспериментальных исследований уровня загрязнения окружающей среды приаэродромных территорий;
- проверить адекватность математической модели реальным условиям загрязнения воздушного пространства;
- разработать методику прогнозирования загрязнения воздушной среды от воздушных судов;
- разработать мероприятия по снижению вредного воздействия газообразных выбросов и генерируемого шума от летательных аппаратов на окружающую среду приаэродромных территорий;
- разработать предложения по осуществлению экологического мониторинга окружающей воздушной среды приаэродромных территорий.

Научная новизна:

- Разработана математическая модель прогнозирования загрязнения воздушной среды аэродромов, отличающаяся от применяемых использованием индекса эмиссии различных двигателей летательных аппаратов.



- Предложены зависимости для расчета категории источников выбросов и оценки степени воздействия двигателей воздушных судов на загрязнение атмосферного воздуха.
- Получены аналитические зависимости для расчета требуемого расхода воздуха в режиме “взлет-посадка”, снижающего концентрации загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых концентраций.
- Разработан алгоритм расчетов требуемого расхода воздуха в режиме “взлет-посадка”, снижающего концентрации загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых концентраций.

На защиту выносятся указанные выше положения, составляющие научную новизну.

Достоверность результатов. Допущения, используемые при построении математической модели исследуемых процессов, являются общепринятыми. Для решения полученных систем уравнений применялись численные методы, достаточно хорошо зарекомендовавшие себя при решении задач подобного класса.

Адекватность математической модели подтверждается сходимостью с результатами экспериментальных исследований и работ других авторов.

Практическое значение и реализация результатов исследований:

- предложена методика расчета концентраций загрязняющих веществ над приаэродромными территориями в цикле “взлет-посадка” воздушных судов и определения категории источников выбросов;
- разработана программа расчета на ЭВМ полей концентраций и требуемого расхода воздуха для снижения концентраций загрязняющих веществ до уровня ПДК;
- предложена методика для оценки степени воздействия двигателей воздушных судов на загрязнение атмосферного воздуха;
- предложены мероприятия для снижения вредного воздействия двигателей летательных аппаратов на акустическую воздушную среду приаэродромных территорий;
- разработаны рекомендации по размещению и количеству постов контроля за состоянием окружающей среды на приаэродромных территориях.

Апробация результатов исследований проводилась на 55, 56, 57 научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов ВГАСУ в 2000-2002 г.; на 7 международной научно-технической конференции “Информационная среда ВУЗов” (Иваново) в 2000 г.; на региональной научно-технической конференции СамГАСА (Самара) в 2002 г.; на 45, 46 научно-технических конференциях ВВАИИ в 2001-2002 г.г.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 4 научные работы. В работах опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежит: в [1] разработка параметров оценки экологии приаэродромных территорий, в [2] усовершенствованная расстановка постов контроля, в [4] разработка методики прогнозирования загрязнения с учетом рассеивания.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованных источников из 93 наименований и содержит 141 страницу машинописного текста, 17 рисунков, 23 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, определена цель исследования, характеризуется научная новизна и практическая значимость результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации рассматривается состояние вопроса о пространственном формировании уровней загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий газообразными выбросами летательных аппаратов, который рассматривается в работах Ененкова А. Г., Квитки В. Е., Мельникова Б. Н., Барретта М., Смита, Иванова В. И. Показано, что задачи прогнозирования загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий вредными выбросами и шумами от воздушных судов не решены окончательно, существующие математические модели нуждаются в корреляции и развитии.

На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлено математическое моделирование уровня загрязнения территорий аэродромов загрязняющими веществами газотурбинными двигательными установками и турбовинтовыми двигателями вертолетов и самолетов, которое основывалось на предложениях из работ Монина А. С., Ньистандга Ф. Т. М., Буйкова М. В., Бызовой Н. Л., Марчука Г.И. При разработке математической модели и методики расчета использовались предпосылки Подольского В. П., Турбина В. С., Сазонова Э. В.

Математическая модель сводится к диффузионной задаче о движущемся источнике: при времени работы двигателя $\tau > 0$ в точке (x', y', z') (рис. 1).

Траектория движения воздушного судна (рис.1) включает горизонтальный участок взлетной полосы (обозначен на рис. 1 линией АВ), наклонный под углом β участок взлета или посадки (обозначен на схеме линией ВС) и горизонтальный участок (обозначен линией CD), в начале которого устанавливается крейсерская скорость. Обозначим горизонтальную скорость разбега (остановки) воздушного судна W_a (движение равноускоренное или равнозамедленное). В результате образования за турбиной самолета конической поверхности из отработавших газов формируется поле концентраций загрязняющих веществ, которое под воздействием динамических струй и диффузионных потоков деформируется и перемещается в результате рассеивания в воздушной среде. С учетом упрощающих факторов исходное дифференциальное уравнение имеет вид

$$W_x \partial C / \partial x + W_z \partial C / \partial z = \partial^2 (D_z C) / \partial z^2, \quad (1)$$

которое решается при следующих граничных условиях:

$$\begin{cases} x, z = 0, C = C_{\max}; \\ x, z \rightarrow \infty, C = C_{\phi}, \end{cases} \quad (2)$$

где C – текущая концентрация загрязняющих веществ на оси струи, г/м^3 ; C_{\max} – максимальная концентрация i -го загрязняющего вещества на срезе сопла, г/м^3 ; C_{ϕ} – фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества, г/м^3 .

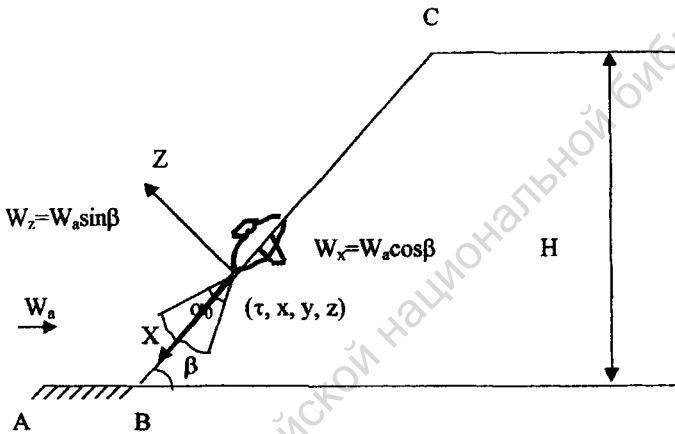


Рис. 2.1. Схема построения математической модели диффузионного рассеивания загрязняющих веществ в пространстве

Решая (1), получим с учетом (2) и при $f^2 \geq 4km$, $x = kz + (f/2)z^2 + (m/3)z^3$:

$$C = C_{\phi} + \left(\frac{W_z}{D_z} z + \frac{D_z}{W_x \sqrt{f^2 - 4km}} \right) C_{\max} \ln \frac{2mz + f - \sqrt{f^2 - 4km}}{2mz + f + \sqrt{f^2 - 4km}}, \quad (3)$$

где k , m , f – эмпирические коэффициенты,

$$k = \text{ctg} \alpha_0 + 2,53 (\rho_B / \rho_C) (u^2 / V_0^2) (1 / \sin \alpha_0); \quad f = 3,18 (\rho_B / \rho_C) (u^2 / V_0^2) \cdot (1 / \sin \alpha_0) / d_0;$$

$$m = 0,429 (\rho_B / \rho_C) (u^2 / V_0^2) (1 / \sin \alpha_0) / d_0^2.$$

Уравнение (3) позволяет рассчитать изменение концентраций по оси конуса выброса загрязняющих веществ за соплом в зависимости от горизонтальной и вертикальной составляющих скорости W_x , W_z ,

диффузионных составляющих D_x , D_z , плотности окружающей среды ρ_c и отработавших газов ρ_b , конструктивных параметров сопла и угла атаки струи.

Для описания полей концентраций при рассеивании легких загрязняющих веществ вне конуса струи получено решение уравнения диффузии, которое в результате элементарных преобразований приводится к виду:

$$C = (g_i / 2\pi \sqrt{D_x D_z}) \{0,6 + 1,9[(y^2 + z^2)(u^2 + w^2) / (4 \sqrt{D_x D_z})]^2\} \exp[(y/2)(u^2/D_x + w^2/D_z), \quad (4)$$

где W , U – составляющие скорости, м/с; g_i – удельный расход загрязняющих веществ, содержащихся в продуктах сгорания топлива, мг/(с·м), связанный с удельным индексом загрязняющих веществ E_i , отнесенного к длине взлетной полосы:

$$g_i = E_i G_m t_{взл} / L, \quad (5)$$

L – длина взлетной полосы, м; G_m – расход топлива, кг/ч; $t_{взл}$ – время взлета, с.

Если зависимость (3) описывает механизм формирования полей концентраций сразу же за соплом турбинной установки воздушного судна, то зависимость (4) позволяет рассчитать концентрации легких загрязняющих веществ при изменении высоты взлета воздушного сверхзвукового судна с учетом отклонения струи от траектории в результате ее взаимодействия с воздушным пространством в установившемся режиме.

В случае рассеивания тяжелых частиц, содержащихся в струе, вертикальную составляющую скорости W_z можно представить в форме

$$W_z = (W_g + \alpha D_g), \quad (6)$$

где W_g – скорость частицы в струе, обусловленная стоковскими силами, м/с; αD_g – диффузионная составляющая скорости; α – коэффициент пропорциональности, м⁻¹.

Составляющие коэффициента диффузии определяются по формуле

$$D = \sigma_v^2 W_z / 2y; \quad D_g = \sigma_g^2 W_g / 2y, \quad (7)$$

где y – текущая координата.

Параметры σ_v , σ_g в (7) равны $\sigma_v = 1,5$; $\sigma_g = \sigma_{го} + y$, $\sigma_{го} = 2\sigma_v$, и, согласно принятой модели, расчетные значения σ_g при совпадении ветра и направления взлета определялись как $\sigma_g = 2\sigma_v + y$, а отсчет координаты y производился от оси сверхзвуковой струи.

Решение для рассеивания тяжелых частиц получено при интегрировании уравнения диффузии с учетом формул (6), (7)

$$C_{\xi} = \frac{gI}{4\pi\sqrt{D_x D_z}} \exp[-(\sigma + \{(W_z + \alpha D_z)/H\}t - \{(kz + (f/2)z^2 + (\pi/3)z^3) - Wxt\}/4Dxt)] \quad (8)$$

Зависимость (8) определяет концентрацию тяжелых частиц в некоторой цилиндрической области высотой H , расположенной в конусе сверхзвуковой струи, с учетом их осаждения, диффузионного перемещения к границе струи и “вымывания”.

В третьей главе представлены экспериментальные исследования процессов формирования уровней загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий воздушными судами.

Схема размещения приборов контроля за состоянием воздушной среды, составленная для типового аэродрома, представлена на рис. 2.

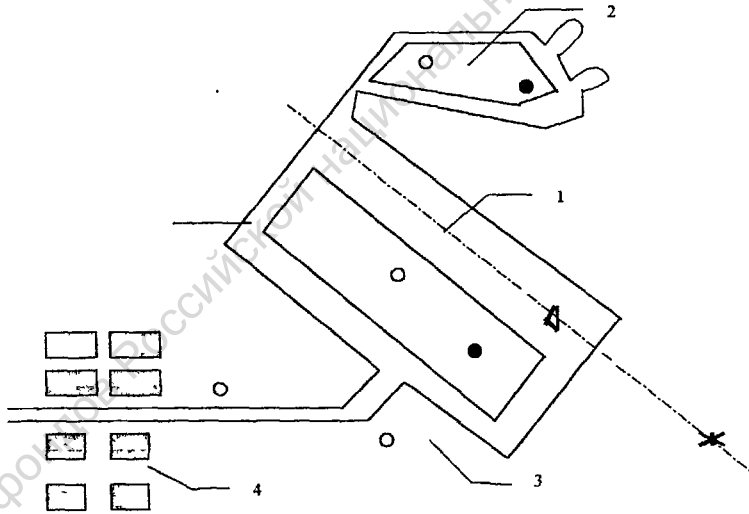


Рис. 2. Схема размещения приборов контроля воздушной среды:

1 - взлетно-посадочная полоса; 2 - стоянка самолетов; 3 - аэродромные службы; 4 - жилая застройка; 5 - рулежные дорожки; ○ - стандартное размещение постов контроля качества воздушной среды; ● - рекомендуемые добавочные посты контроля качества воздушной среды; * - точка, после которой выхлоп самолета перестает оказывать заметное влияние на состояние воздушной среды; ▴ - точка отрыва воздушного судна от земли.

Для характеристики переменных источников загрязнения использовались передвижные посты, представляющие собой точки контроля, расположенные на фиксированных расстояниях от источника. Они перемещаются при проведении измерений в соответствии с направлением факела обследуемого источника выбросов.

Определение разовых концентраций оксида углерода осуществлялось портативным газоанализатором ЭЛАН-CO-A-50. Инструментальные замеры концентраций других загрязняющих веществ проводились многоканальным газоизмерительным прибором "Multiwarn 11". Прибором замерялись концентрации пяти ингредиентов: CO, CH₄, H₂S и O₂. Концентрации оксида, диоксида азота определялись универсальным портативным газоанализатором QUINTOX KM9006. Скорость ветра определялась на уровне дыхания человека крыльчатым анемометром АСС-3 и индукционными анемометрами АРИ-49.

Экспериментальная проверка полученных теоретических зависимостей проводилась на аэродроме во время взлета самолетов ТУ-134, СУ-24МК с газотурбинной двигательной установкой (рис. 3). Определялись концентрации оксидов углерода и азота на различном расстоянии по оси и от края взлетной полосы. Удельный выброс оксида углерода одним летательным аппаратом зависит в основном от режима работы двигателя. Наибольшее количество выбрасываемых оксидов углерода наблюдается в вершине конуса за соплом при 56% числе номинальных оборотов и составляет $g_T=87,9$ г/кг топлива; при 83% числе номинальных оборотов удельный выброс равен $g_T=2,3$ г/кг топлива, а при номинальных оборотах двигателя выбросы СО практически отсутствуют.

Удельные выбросы оксидов азота возрастают при увеличении числа оборотов двигателя, а выбросы углеводородов, как и оксидов углерода, с увеличением числа оборотов уменьшаются, но количественно углеводородов на 1 кг топлива выбрасывается на порядок меньше по сравнению с оксидом углерода. За время взлетно-посадочного цикла в окружающую среду от двигателя Д-30 самолета ТУ-134 выбрасывается оксидов углерода – 6,6 г/с (262 г/кг топлива). Для других типов двигателей эмиссию загрязняющих веществ можно рассчитать с помощью переводных коэффициентов.

Удельный выброс загрязняющих веществ, отнесенных к длине взлетной полосы, рассчитывается по удельному расходу сжигаемого топлива, отнесенному к той же длине. Таким образом, при взлете воздушных судов на максимальном форсажном режиме практически отсутствуют выбросы оксида углерода, но одновременно наблюдаются максимальные выбросы оксидов азота и углеводородов. С удалением от сопла происходит деформация конуса загрязняющих веществ и концентрация диоксида азота убывает. Деформация конуса тем больше, чем выше скорость ветра, способствующая интенсификации процесса рассеивания за счет разбавления газового потока воздухом.

г./кг топлива

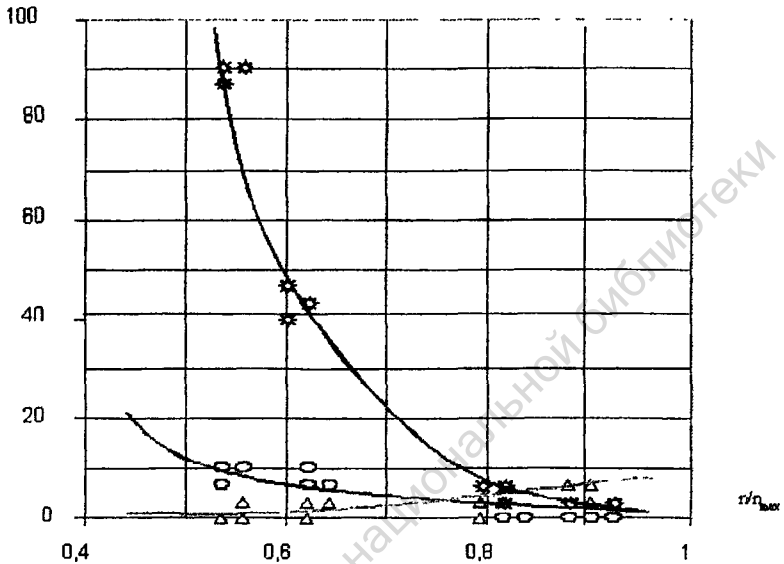


Рис. 3. Зависимость удельных выбросов вредных веществ г./кг топлива, от режима работы газотурбинной двигательной установки

★ CO , □ C_nH_m , △ NO

Изменения концентраций диоксида азота в зависимости от расстояния до сопла летательного аппарата при довзлетной подготовке представлены на рис. 4. Сопоставление экспериментальных показателей с расчетными по уравнению (4) для оксидов азота при условиях проведения эксперимента дает (рис.4) достаточно хорошую сходимость теории и опыта. Анализ проведенных опытов показывает, что на расстоянии 40...42 м от сопла самолета наблюдаются концентрации оксида углерода ниже предельно допустимых (ПДК). Для диоксида азота ПДК достигаются уже на расстоянии 10...15 м. Оценочные замеры концентраций по вертикали в точке на расстоянии 20 м от сопла самолета показали, что на высоте более 3...4 м концентрации падают до уровня ПДК. При взлете самолета шлейф загрязняющих веществ будет перемещаться за самолетом с сохранением относительных концентраций в конусе отработавших газов. Рассеивание по высоте конуса отработавших газов за счет

высокой турбуликации струи заканчивается на расстоянии порядка 20 м от среза сопла.

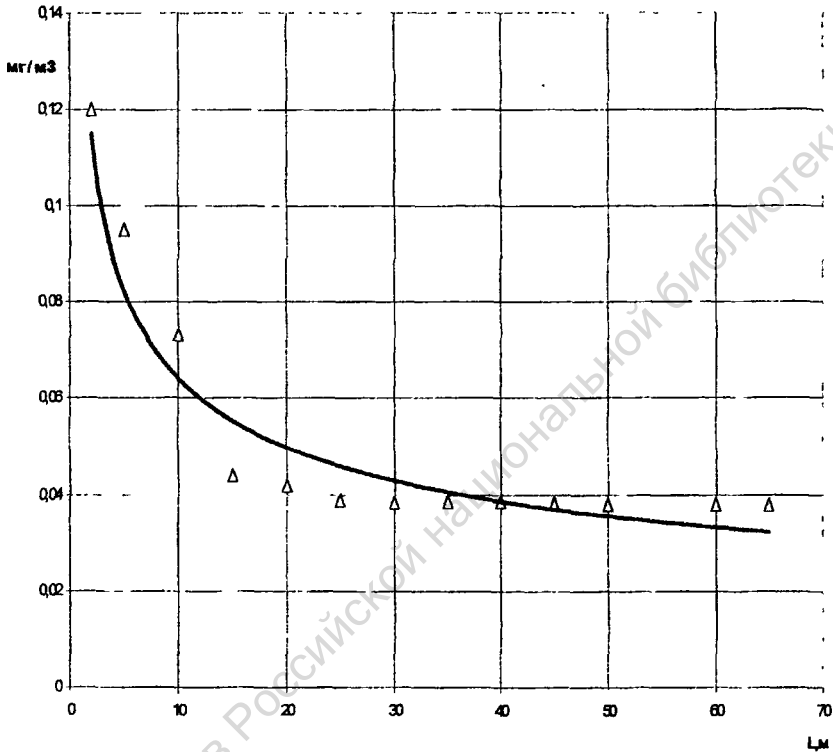


Рис 4. Зависимость концентраций диоксида азота по направлению ветра вдоль оси взлетной полосы аэродрома при изменении расстояния L от сопла самолета в летный период

Сопоставление экспериментальных показателей с расчетными по уравнению (4) для оксидов азота при условиях проведения эксперимента дает (рис.4) достаточно хорошую сходимость теории и опыта. Анализ проведенных опытов показывает, что на расстоянии 40...42 м от сопла самолета наблюдаются концентрации оксида углерода ниже предельно допустимых (ПДК). Для диоксида азота ПДК достигаются уже на расстоянии 10...15 м. Оценочные замеры концентраций по вертикали в точке на расстоянии 20 м от сопла самолета показали, что на высоте более 3...4 м концентрации падают до уровня ПДК. При взлете самолета шлейф загрязняющих веществ будет

перемещаться за самолетом с сохранением относительных концентраций в конусе отработавших газов. Рассеивание по высоте конуса отработавших газов за счет высокой турбулизации струи заканчивается на расстоянии порядка 20 м от среза сопла.

При взлете самолета шлейф загрязняющих веществ будет перемещаться за самолетом с сохранением относительных концентраций в конусе отработавших газов. Рассеивание по высоте конуса отработавших газов за счет высокой турбулизации струи заканчивается на расстоянии порядка 20 м от среза сопла.

Замеры концентраций перпендикулярно оси взлетной полосы показали, что на расстоянии 20...25 м от кромки взлетной полосы наблюдаются фоновые концентрации CO и NO₂. Это подтверждает правильность допущений в математической модели о малости конвективных и диффузионных составляющих массопереноса в направлении, перпендикулярном к направлению ветра.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что прогнозные оценки загрязнения окружающей среды приаэродромных территорий от летательных аппаратов в цикле "взлет-посадка" необходимо проводить с учетом рассеивания загрязняющих веществ в турбулентной струе. С этой целью на основе математического моделирования предлагаются аналитические зависимости (5), (8), расчет по которым позволит исключить дорогостоящие измерения при оценке воздействия на экологию окружающей среды приаэродромных территорий двигателями летательных аппаратов.

Четвертая глава посвящена рассмотрению практического приложения результатов исследований по разработке методик прогнозных оценок и мероприятий по снижению уровней загрязнения приаэродромных территорий.

Представлена методика прогнозирования формирования загрязнения окружающей среды во взлетно-посадочном цикле (блок-схема расчета приведена на рис. 5), рассмотрены мероприятия по снижению загрязнения приаэродромных территорий. Разработаны основные принципы экологического мониторинга воздушной акустической среды.

Экологическую ситуацию над приаэродромными территориями можно оценивать известным параметром П:

$$P = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n TPB_{ji} R_{ji}; \quad (9)$$

где

$$TPB_{ji} = 10^3 M_{ji} / C_{плки} - \text{требуемый расход воздуха, м}^3/\text{ч}; \quad (10)$$

$$R_{ji} = \frac{D_j}{H_j + D_j} \cdot \frac{C_{i \max}}{C_{плдк}} - \text{геометрический параметр}; \quad (11)$$

m - количество циклов "взлет-посадка" с выбросом однотипных загрязняющих веществ; n - номер загрязняющего вещества, содержащегося в отработавших газах; $C_{\text{исток}}$ - концентрации загрязняющего вещества в устье источника, определяемая на основе математического моделирования по формулам (5), (9), г/м^3 ; $C_{\text{пдк}}$ - предельно допустимая концентрация i -го вещества, г/м^3 ; D_j - диаметр устья источника, м; H_j - высота взлета j -го воздушного судна, м.

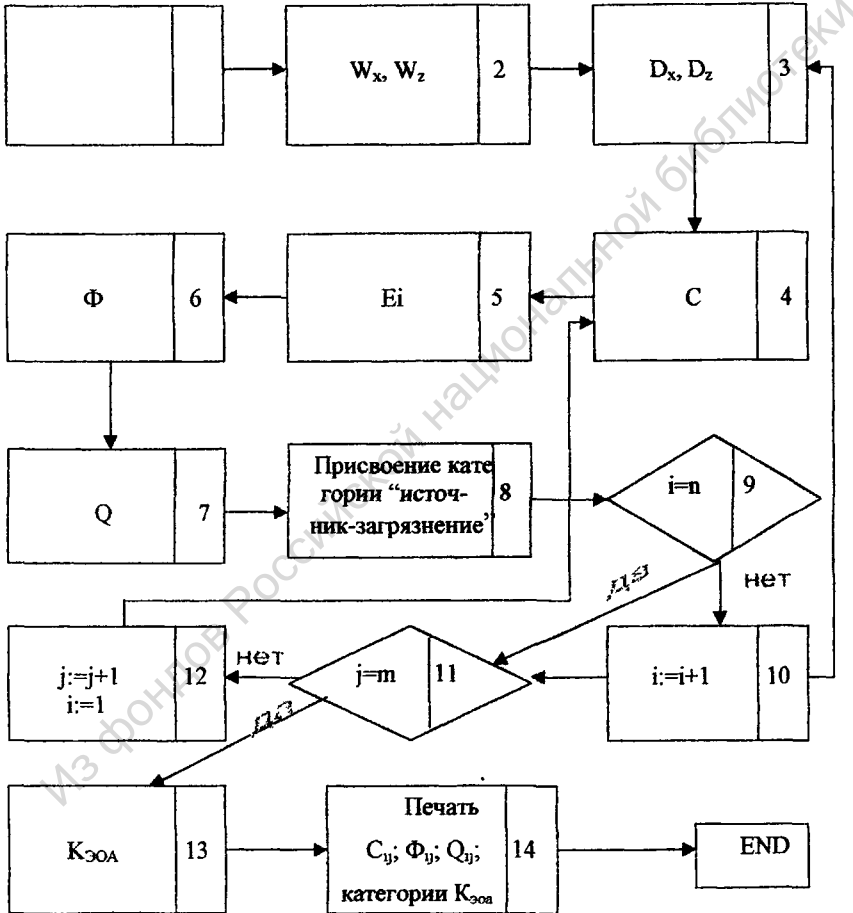


Рис. 5 Блок-схема расчета концентраций загрязняющих веществ над приаэродромными территориями

Приведены теоретические зависимости для определения требуемого расхода воздуха для разбавления легких и тяжелых загрязняющих веществ до уровня ПДК.

Предлагаются применительно к летательным аппаратам параметры определения категории источника загрязнения Φ , Q . С учетом теоретических зависимостей, полученных на основе математического моделирования источника загрязнения присваиваются следующие категории: при $\Phi > 0,01$ и $Q > 0,5$ - I категория, которая является наиболее опасной в экологическом смысле; при $\Phi > 0,001$ и $Q < 0,5$ - II категория (для I и II категорий рассматриваемого источника необходимо разработать мероприятия по сокращению выбросов загрязняющего вещества в атмосферу); при $\Phi > 0,001$ и $Q < 0,5$ - III категория; $\Phi < 0,001$ и $Q < 0,5$ - IV категория, которая является наиболее чистой в экологическом смысле (для III и IV категорий мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ проводить нецелесообразно, так как уровень загрязнения окружающей среды не превышает ПДК).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель прогнозирования загрязнения окружающей среды от двигателей летательных аппаратов, отличающаяся от применяемых использованием при расчете фактора рассеивания.
2. На основе математического моделирования впервые получены аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать поля концентраций легких загрязняющих веществ над приаэродромными территориями в циклах «взлет-посадка», и рассеивание тяжелых частиц.
3. Разработана методика экспериментальных исследований уровня загрязнения окружающей среды. Погрешность проводимых опытов не превысила 5 %. Усовершенствована схема расстановки постов наблюдений на взлетной полосе и приаэродромных территориях.
4. Проверена адекватность математической модели реальным условиям загрязнения воздушного пространства приаэродромных территорий вредными контаминантами.
5. На основе полученных зависимостей разработаны методика, блок-схема и программа прогнозирования уровня загрязнения воздушной среды на приаэродромных территориях.
6. Получены аналитические зависимости для определения категории «источник - загрязняющее вещество» по параметрам Φ и Q : при $\Phi > 0,01$ и $Q > 0,5$ - I категория (наиболее экологически неблагоприятная), $\Phi > 0,001$ и $Q < 0,5$ - II категория (для I и II категорий для рассматриваемого источника необходимо разработать мероприятия по сокращению выбросов данного вещества в атмосферу); $\Phi > 0,001$ и $Q < 0,5$ - III категория, $\Phi < 0,001$ и $Q < 0,5$ - IV категория (для III и IV категорий допускается не разрабатывать мероприятия по сокращению выбросов).

7. Предложены мероприятия по снижению вредного воздействия шумов летательных аппаратов на окружающую природную среду приаэродромных территорий; даны рекомендации по соблюдению минимальных расстояний от зоны посадки и взлета воздушных судов до зданий вне территории аэродромов, даны рекомендации по применению шумозащитных конструкций зданий и сооружений.

Список использованных источников

1. Маслов В.А., Морев М. А. Размещение приборов контроля окружающей среды в районе аэродрома/ Межвуз. сб. научно-методич. трудов "Совершенствование наземного обеспечения авиации". Ч. IV. – Воронеж: ВВАИИ, 2000. – 221 с.
2. Маслов В.А. /В кн. Сазонов Э.В., Турбин В.С., Ус Н.А. и др."Очистка газовых и пылевых выбросов". – Воронеж: ВВАИИ, 2001.-221с.
3. Маслов В.А. Экологический мониторинг воздушной и акустической сред приаэродромных территорий/Сб. материалов 59-ой научно-технической конференции СамГАСА. – Самара: СамГАСА, 2002. – 217 с.
4. Сазонов Э.В., Турбин В.С., Маслов В.А. Математическое моделирование процессов загрязнения окружающей среды вредными выбросами летательных аппаратов./ Межвуз. сб. научно-методич. трудов "Совершенствование наземного обеспечения авиации". Ч. IV. – Воронеж: ВВАИИ, 2000. - 221 с.

2003-A
4776

№-4770

Подписано в печать 26.02.2003 Формат 60x84 1/16. Уч. - изд. л. 1,0 Усл.-
печ. 1,1 л. Бумага для множительных аппаратов. Тираж 100 экз. Заказ № 81

Отпечатано участком множительной техники Воронежского государственного архитектурно-строительного университета 394006. Воронеж, XX-летия Октября, 84