

На правах рукописи

Спиридонов Евгений Геннадьевич

ПРОГНОЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ УРОВНЕЙ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ
ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА

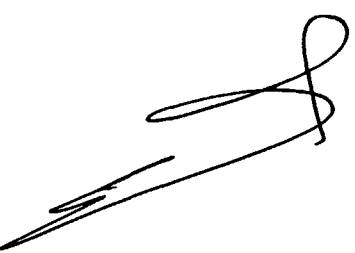
Специальность 25.00.36 - Геоэкология

Автореферат

диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук

667 - -

Москва - 2004



Работа выполнена на кафедре «Криогенные машины и установки»
Воронежского военного авиационного инженерного института.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Шаловалов Дмитрий Анатольевич

доктор технических наук, профессор,
Гусева Татьяна Валериановна

доктор технических наук,
Ховавко Сергей Анатольевич


Ведущая организация: Институт физики атмосферы РАН им.
А.М.Обухова, г.Москва, Россия

Защита состоится « 25 » января 2005 г. в 12 ⁰⁰ ч. на заседании
диссертационного совета Д 220.025.01 при Государственном университете по
землеустройству по адресу: 105064, г.Москва, ул. Казакова, д.15,
Государственный университет по землеустройству.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного
университета по землеустройству.

Автореферат разослан «23» декабрь 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

 З.В.Козелкина

2005-4
26907

377175

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 от двигателей воздушных судов невысока, однако удельные выбросы, приведенные к одному летательному аппарату, на порядки выше нежели от двигателей внутреннего сгорания. Решению вопросов загрязнения атмосферы двигателями летательных аппаратов посвящены работы Борисова Н. И., Голицына Г.С., Фланского Ф.Ф., Жестовского Ю. П., Иванова В. И., Цунко П. 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.

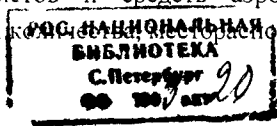
Целью настоящей работы является разработка методических основ моделирования и прогнозирования пространственного загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий газообразными выбросами от двигателей воздушного транспорта, разработка и обоснование математической модели пространственного формирования загрязнения приземного слоя атмосферы на технической позиции обслуживания воздушного судна, создание методики расчета выбросов загрязняющих веществ от средств наземного обеспечения полетов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

создать математическую модель пространственного загрязнения атмосферы приаэродромных территорий газообразными и твердыми выбросами от двигателей воздушных судов и автомобильных двигателей на ограниченном участке (технической позиции обслуживания воздушного судна);

разработать методику экспериментальных исследований уровня загрязнения окружающей среды приаэродромных территорий;

установить новые эмпирические зависимости для расчета загрязнения воздуха от работающих двигателей самолетов и средств аэродромно-технического обеспечения полетов с учетом их конструктивных особенностей и погоднo-климатических условий;



проверить адекватность математической модели реальным условиям загрязнения воздушного пространства и в зоне обслуживания воздушного судна средствами наземного обеспечения полетов (СНОП);

выработать методику прогнозирования загрязнения воздушной среды от двигателей воздушных судов;

разработать мероприятия по снижению вредного воздействия газообразных выбросов и генерируемого шума от летательных аппаратов на окружающую среду приаэродромных территорий;

разработка методики расчета по определению уровня загрязнения приземного слоя атмосферы на технической позиции обслуживания воздушного судна;

выработать предложения по осуществлению экологического мониторинга окружающей воздушной среды приаэродромных территорий.

разработка предложений по обеспечению воздушного судна воздухом, из аэродромного кондиционера, очищенным от продуктов сгорания авиационного и автомобильного топлива;

обоснование мероприятий по нормализации состояния приземного слоя атмосферы на технической позиции во время проведения полетов.

Научная новизна:

Разработка научно-методической основы прогноза пространственного загрязнения воздушной среды аэродромов и методология экспериментального определения концентрации вредных веществ при аэродромно-техническом обеспечении полетов для этих целей решены следующие взаимосвязанные задачи:

1. Разработана математическая модель прогнозирования загрязнения воздушной среды аэродромов, отличающаяся от применяемых использованием при расчете фактора рассеивания вредных веществ, выбрасываемых двигателями воздушных судов и впервые предложены зависимости для определения категории источников выбросов и оценки степени воздействия двигателей воздушных судов на загрязнение атмосферного воздуха.
2. Разработан алгоритм расчетов требуемого расхода воздуха в режиме “взлет-посадка” воздушных судов, снижающего концентрации загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых концентраций.
3. Предложены новые эмпирические зависимости, характеризующие динамику распространения вредных газообразных веществ во время работы средств наземного обеспечения полетов и предложены алгоритм и методика расчета

поля концентрации вредных веществ на площадке обслуживания воздушного судна;

4. Разработаны положения по защите приземного слоя атмосферы в зонах обслуживания воздушных судов во время аэродромно-технического обеспечения полетов от продуктов сгорания топлива и обеспечению воздушного судна чистым воздухом, поступающим из аэродромного кондиционера.

На защиту выносятся указанные выше положения, составляющие научную новизну и вносящие вклад в решение народно-хозяйственных задач

Достоверность результатов. Определена использованием закономерностей фундаментальных законов термодинамики, применением апробированных методов измерений. 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:

опробована и внедрена 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_{кр};

опробована и внедрена 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 VI Международной научно-практической конференции, (г.Воронеж, ВГАСУ, 2003), Всероссийской научно-технической конференции «300 лет военному образованию России», (г.Воронеж, ВВАИИ, 2001). Всероссийском постоянно действующем научно-техническом семинаре «Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф» (г.Пенза, 2003), 45, 46 научно-технических конференциях ВВ МПН в 2001-2002 г.г., в НИР

250002 «Безопасность -2», 250104 «Безопасность-3», «Контроль», «Контроль-В», «Техносфера» (на специальную тему)

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 22 научных работы (в соавторстве 6 работ) (из них 3 монографии «Экологический мониторинг приземного слоя атмосферы (на примере г.Воронежа)»(Воронеж, ВГУ, 2001), «Экология техносферы» (Воронеж, ВГУ, 2003) и «Проблемы загрязнения приземного слоя атмосферы в зоне обслуживания воздушного судна»(Воронеж, ВВАИИ, 2004)) 2 учебных пособия («Аэродромно-техническое обеспечение безопасности полетов», часть 2 (Воронеж, ВВАИИ, 2002) и «Аэродромно-техническое обеспечение безопасности полетов», часть 3 (Воронеж, ВВАИИ, 2003)).

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в сборе и обработке фондовых материалов геоэкологического характера. Участвовал в проведении замеров на аэродромах авиации, проводившихся на базе кафедры криогенных машин и установок Воронежского военного авиационного инженерного института.

Обработка исходного материала проводилась как при самостоятельных расчетах, так и на основе базы электронных таблиц Microsoft Excel 97 и программ Klass, Digger Gold.

Весь представляемый фактический материал обработан и представлен в виде текста и графического приложения

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, выводов, списка использованных источников из 276 наименований и содержит 283 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 43 таблицы, 4 приложения.

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, на базе научных работ Ененкова А. Г., Квитки В. Е., Мельникова Б. Н., Барретта М., Смита, Иванова В. И. и др. 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 коррекции

и развитии.

На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены причины образования вредных газообразных веществ на различных режимах работы в двигателях внутреннего сгорания, с учетом особенностей конструкции двигателей с искровым зажиганием и дизельных двигателей. Проведен анализ и классификация по трем основным группам методы оценки негативного воздействия самолетных и автомобильных двигателей на окружающую среду: лабораторно-инструментальные, органолептические и расчетные, дано их назначение и краткое описание, определены их преимущества и недостатки. Обоснован выбор приборов (современные газоанализаторы - сигнализаторы, согласующиеся для последующей обработки данных с ПЭВМ) для решения поставленных в работе задач.

В третьей главе представлено математическое моделирование уровня загрязнения территорий аэродромов загрязняющими веществами газотурбинными двигательными установками и турбовинтовыми двигателями вертолетов и самолетов, которое основывалось на предложениях по работам Монина А. С., Ньистандта 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 базируется на диффузионной задаче о движущемся источнике: при времени работы двигателя $t' > 0$, находящемся 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_d (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. С учетом упрощающих факторов исходное дифференциальное уравнение имеет вид

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

которое решается при следующих граничных условиях:

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

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 .

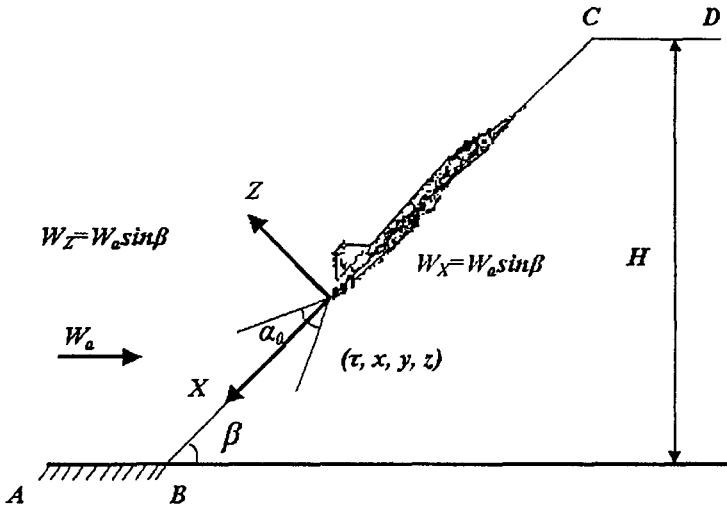


Рис. 1. Схема построения математической модели диффузионного рассеивания загрязняющих веществ в пространстве

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

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

где k, m, f - эмпирические коэффициенты:

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

$$f = 3,18(\rho_B/\rho_C)(u^2/V_0^2)(1/\sin \alpha_0)/d_0;$$

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

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 w , 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:

$$C = (g_1 / 2\pi \sqrt{D_x D_z}) / \left\{ 0,6 + 1,9 \left[(y^2 + z^2) (u^2 + w^2) / (4\sqrt{D_x D_z}) \right] \right\} \exp \left[(y/2) (u^2 / D_x + w^2 / D_z) \right] \quad (4)$$

где W , U - составляющие скорости, м/с; g_1 - 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:

$$g_1 = E_i G_m t_{взл} / L, \quad (5)$$

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 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 стоксовскими силами, м/с;

αD_g - диффузионная составляющая скорости; α - коэффициент пропорциональности, m^{-1} .

Составляющие коэффициента диффузии определяются по формуле

$$D = \sigma_z^2 W / 2y; \quad D_n = \sigma_n^2 W_n / 2y, \quad (7)$$

где y - текущая координата.

Параметры σ_B , σ , в (7) равны $\sigma_B = 1,5$; $\sigma_z = \sigma_{z0} + y$, $\sigma_{z0} = 2\sigma_B$, и, согласно принятой модели, расчетные значения σ при совпадении ветра и направления взлета определялись как $\sigma_1 = 2\sigma_B + y$, а отсчет координаты y производился от оси сверхзвуковой струи.

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

$$C_z = \frac{g_1}{4\pi \sqrt{D_x D_z}} \exp \left[-(\delta + \{ (W_z + \alpha D_z) H \} t - \{ k z - (t - 2) z - (m/3) z \} - W_z^2 / 4 D_z t) \right], \quad (8)$$

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

В четвертой главе выполнена постановка задачи по определению концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы, учитывающая процесс загрязнения приземного слоя атмосферы от работающих турбореактивных двигателей воздушных судов (ВС) и двигателей средств наземного обеспечения полетов (САТОП) на площадке обслуживания. Математическое моделирование, описывающее процесс загрязнения приземного слоя атмосферы средствами наземного обеспечения полетов и рулящими воздушными судами, основывалось на положениях из работ Марчука Г. И., Безуглой Э. Ю., Буйкова М. В., Дёч Г., Иванова В.И., Кузнецова Д.С., Смирнова В. И., Кожевникова В.С., Тищенко Н.Ф. При разработке математической модели и методик расчета использовались предпосылки Турбина В. С., Подольского В. П., Сазонова Э. В.

Математическая модель сводится к решению диффузионной задачи о нескольких источниках с объемной удельной мощностью выбросов газовых ингредиентов g , $\text{мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$, расположенных на ограниченной площадке (рис. 2).

Задача решена, когда загрязняющие вещества перемещаются по направлению ветра со скоростью W_x (конвективная составляющая) и за счет диффузии W_y , W_z (диффузионная составляющая) на площадке с размерами $a \times b$. Решение задачи представлено в виде дифференциального уравнения диффузии

$$\partial C / \partial \tau + W_x \partial C / \partial x - D_x \partial^2 C / \partial x^2 = g, \quad (9)$$

где C – концентрация ингредиента, $\text{мг}/\text{м}^3$; τ – время, с; g – удельная мощность объемного источника загрязнения, $\text{мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; D_x – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

Уравнение (6) решено при следующих начальных и граничных условиях:

$$\begin{cases} X = 0, \phi > 0, C = C_{\max}; \\ \phi = 0, X > 0, X > L, C = C_{\phi}, \end{cases} \quad (\text{начало координат помещено в центре «зоны особой чистоты»); \quad (10)$$

Решение выполнено методом преобразования Лапласа.

Исходное уравнение (6) и краевые условия (10) представлены в форме

$$d^2 \check{C} / dx^2 - (W/D_x) d\check{C} / dx - (p/D_x) \check{C} = -g_x / (D_x p) - C_{\phi} / D_x, \quad (11)$$

$$X=0, \check{C} = C_{\max} / p, \quad (12)$$

где \check{C} – концентрация в изображениях; p – параметр преобразования Лапласа.

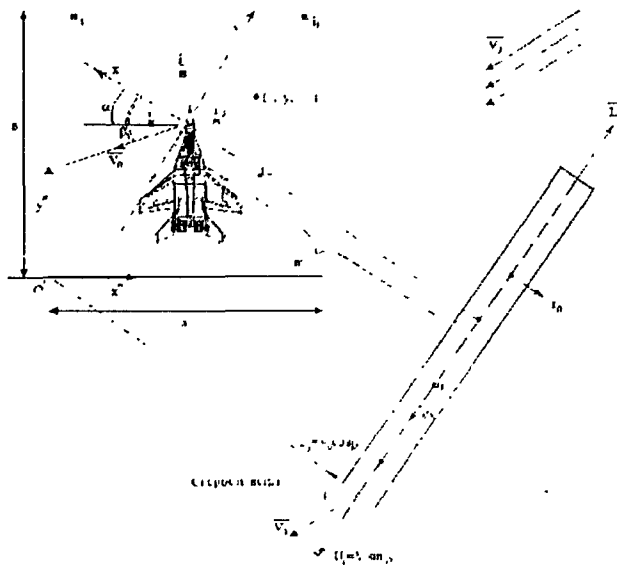


Рис. 2. Схема расположения воздушного судна и СНОП на технической площадке

Принятые обозначения:

\bar{V}_0 - скорость ветра, \bar{V}_v - скорость самолета, β - угол между направлением оси Ox и направлением скорости ветра, отсчет против часовой стрелки, α - угол между направлением оси Ox и положительным направлением оси Ox'' , отсчет против часовой стрелки, i_1 - местонахождение ВС в разное время, $i_2...i_5$ - средства наземного обеспечения полетов

Решение линейного уравнения (11) при граничных условиях (12) в изображениях имеет вид

$$\check{C} = [(C_{\max} - C_{\phi}) \rho - g/p^2] \exp \{ W \sqrt{x/2D} - x \sqrt{W^2/4D^2 + p'D} \} + (g/p^2 + C_{\phi}/p), \quad (13)$$

В безразмерном виде (для сокращения числа исследуемых параметров) уравнение (13) имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{C} = & (C - C_{\phi}) / (C_{\max} - C_{\phi}) = 1/2 \{ \operatorname{erfc}[(\xi - Pe_1 Fo_1) / (2\sqrt{Fo_1})] + \exp(\xi Pe_1) \cdot \\ & \cdot \operatorname{erfc}[(\xi + Pe_1 Fo_1) / (2\sqrt{Fo_1})] \} - \\ & - 1/2 \hat{g}_v \{ (\xi + Pe_1 Fo_1) \exp(\xi Pe_1) \operatorname{erfc}[(\xi + Pe_1 Fo_1) / (2\sqrt{Fo_1})] - \\ & - (\xi - Pe_1 Fo_1) \operatorname{erfc}[(\xi - Pe_1 Fo_1) / (2\sqrt{Fo_1})] \} + \hat{g}_v Pe_1 Fo_1, \end{aligned} \quad (14)$$

где \bar{C} - концентрационный напор; $\xi = x/L$ - безразмерная координата, L -

линейный размер, равный расстоянию от объекта до границы площадки, за которой наблюдаются фоновые концентрации вредных веществ; $Re_d = W_x L / D_x$ - критериальное число Пекле; $Fo_d = D_x \tau / L^2$ - критериальное число Фурье (безразмерное время); $\hat{g}_v = g_v / g_{max} = g_v / \{[(C_{max} - C_\phi) W_x] / L\}$ - безразмерная объемная мощность источника загрязнения.

Из решения (11) следует, что основной вклад в процессе формирования загрязнения воздуха на площадке обслуживания оказывают направление ветра - конвективная составляющая (критерий Пекле), и удельная мощность источника загрязнений.

На основе математического моделирования решается задача комплексной оценки загрязнения приземного слоя атмосферы на площадке обслуживания воздушного судна и взлетно-посадочной полосы аэродромов при влиянии множества факторов на диффузионный процесс распространения вредных веществ. На площадке размером $a \times b$ находится объект, который подвергается воздействию от работающих двигателей рулящих воздушных судов i_1 . В пределах этой же площадки работают обслуживающие ВС спецавтомобили $i_2 \dots i_4$ местоположение которых относительно ВС известно и можно считать неизменным. Интенсивность выделения загрязнений в единицу времени принимается равным q , мг/с, причем она различна для каждого источника q_i , $(1, 2, \dots, n)$.

На основе построения функции Грина мгновенного точечного источника:

$$G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta; t, \tau), \quad (15)$$

которая физически означает концентрацию вещества в точке с координатами (x, y, z) в момент времени t , вызванную мгновенным источником единичной интенсивности, действовавшим в момент времени $\tau (\tau < t)$ в точке с координатами (ξ, η, ζ) . Решение (15) позволяет рассчитать поле концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы для случая одновременного действия источников загрязнения на площадке обслуживания с учетом скорости и направления ветра, коэффициента диффузии для каждого из вредного вещества, времени работы СНОП и его расположения:

$$C_i(x, y, z, t) = \frac{q_i}{4\pi D} \left[\frac{1}{\sqrt{A_1}} \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{A_1}{4Dt}} \right) + \frac{1}{\sqrt{A_2}} \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{A_2}{4Dt}} \right) \right], \quad (16)$$

Если периоды действия источников не совпадают, задача усложняется тем, что начальные условия уже не будут нулевыми, то есть

$$C_i \Big|_{t=0} = f(x, y, z), \quad (17)$$

где $f(x,y,z)$ представляет собой суммарную концентрацию, внесённую ранее включившимися источниками.

С помощью разработанной программы для ПЭВМ рассчитаны матрицы значений Z (в долях ПДК C_{CO}) в координатах XY (X, Y – координаты ширины и длины площадки, m и Z – уровень концентрации вредных газообразных веществ на технической позиции обслуживания ВС размером $a \times b$ на высоте рабочей зоны $\sim 1,5 \dots 2$ м) во время работы СНОП и рулении ВС с учетом скорости и направления ветра. Используя программу Stanford Graphics получено изображение поля концентраций вредных веществ в координатах XYZ на технической позиции (рис. 3), на котором видно, что концентрация вредных газообразных веществ при рулении ВС (i_1) достигает 2,8 ПДК и рассеивается по направлению ветра, а в радиусе $10 \dots 15$ м от центра технической позиции во время работы СНОП ($i_2 \dots i_5$) образуется зона с концентрацией продуктов сгорания топлива достигающей $1 \dots 1,5$ ПДК.

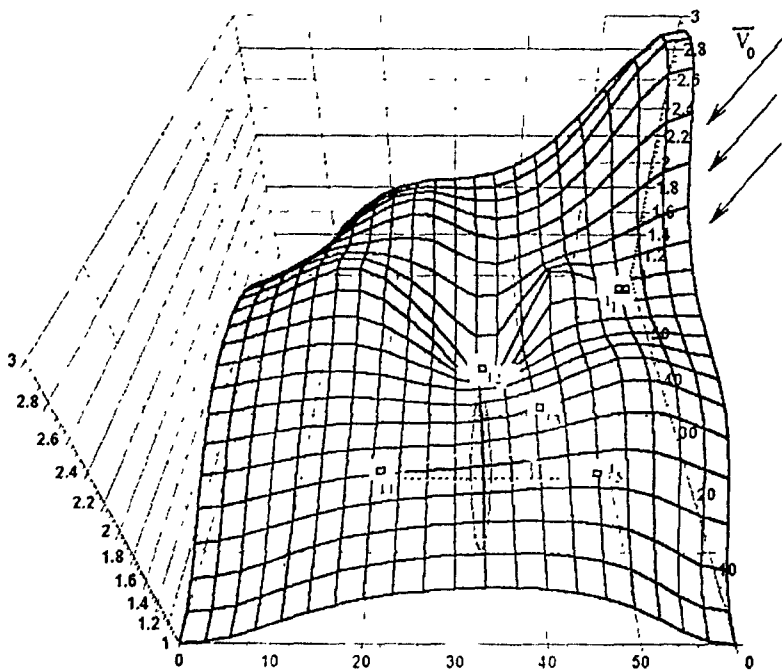


Рис. 3. Поле концентраций вредных веществ на технической позиции обслуживания ВС: i_1 – рулящее воздушное судно, \overline{V}_0 – скорость и направление ветра, $i_2 \dots i_5$ – месторасположение СНОП

В пятой главе представлены экспериментальные исследования процессов формирования уровней загрязнения окружающей воздушной среды приаэродромных территорий отработанными продуктами двигателей воздушных судов.

Замеры концентраций проводились в точках размещения приборов контроля с учетом рекомендуемых добавочных постов. Схема размещения приборов контроля за состоянием воздушной среды, составленная для типового аэродрома, представлена на рис. 4.

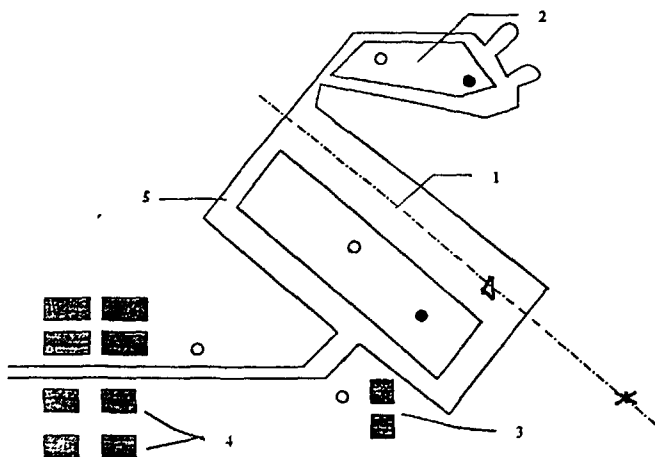


Рис. 4. Схема размещения приборов контроля воздушной среды:

1 - взлетно-посадочная полоса; 2 - стоянка самолетов; 3 - аэродромные службы; 4 - жилая застройка; 5 - рулежные дорожки; о - 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; Δ - точка отрыва воздушного судна от земли.

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

Определение разовых концентраций оксида углерода осуществлялось портативным газоанализатором ЭЛАН-СО-А-50. Инструментальные замеры концентраций других загрязняющих веществ проводились многоканальным

газоизмерительным прибором "Multiwan 11". Прибором замерялись концентрации ингредиентов: CO, CH₄, H₂S и O₂- Концентрации оксида и диоксида азота определялись универсальным портативным газоанализатором QUINTOX KM9006. Скорость ветра определялась 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, МИГ-29 с газотурбинной двигательной установкой (рис.5). 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 $g_r=87,9$ г/кг топлива; при 83% числе номинальных оборотов удельный выброс равен $g_r=2,3$ 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 (рис. 3). 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.

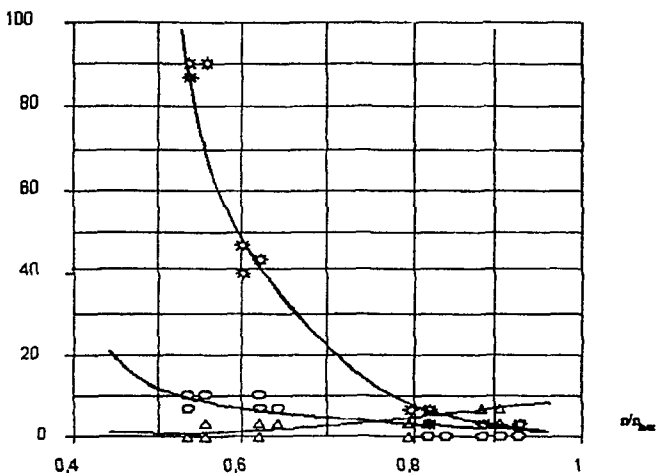


Рис 5 Зависимость удельных выбросов вредных веществ г, г/кг топлива, от режима работы газотурбинной двигательной установки

☆ CO. ○ C_xH_y △ NO

Изменения концентраций диоксида азота в зависимости от расстояния до сопла летательного аппарата при довзлетной подготовке представлены на рис 6. Сопоставление экспериментальных показателей с расчетными по уравнению (4) для оксидов азота при условиях проведения эксперимента дает (рис.6) 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_{мр}). Для диоксида азота ПДК_{мр} 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_{мр}. 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 20...30 м от среза сопла.

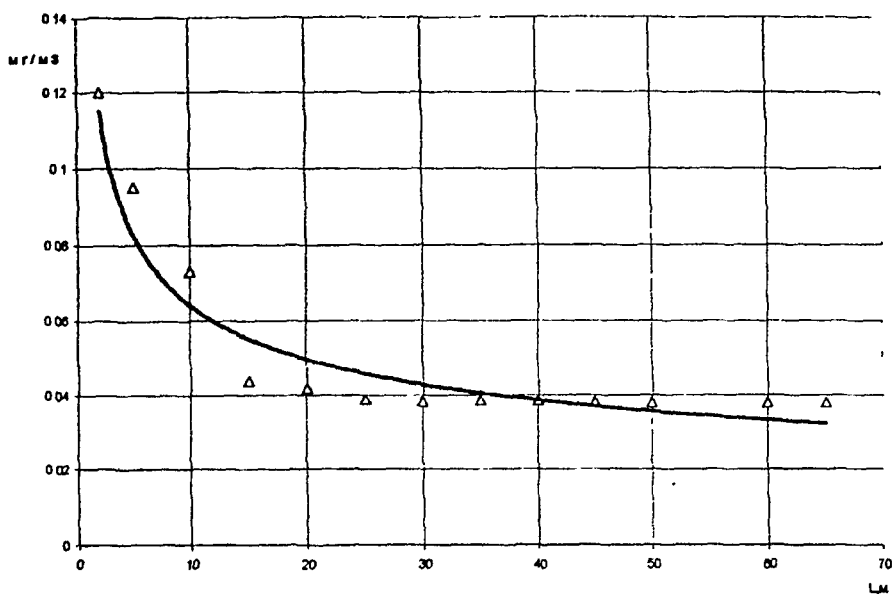


Рис 6 Зависимость концентраций диоксида азота при направлении ветра вдоль оси взлетной полосы аэродрома в летний период года

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.

В шестой главе разработаны цель и программа эксперимента по определению концентрации вредных веществ на технической позиции обслуживания воздушного судна во время аэродромно-технического обеспечения полетов. Определены погрешности при производстве натурных

замеров, которые составили не более 8% для оксида углерода и 2% для диоксида азота. Для обеспечения достоверности полученных результатов установлено, что в каждой точке достаточно проводить по 10 измерений.

В ходе эксперимента установлено, что на формирование уровня загрязнения приземного слоя атмосферы на технической позиции существенное влияние оказывают рулящие по площадке ВС и двигатели силовых установок СНОП. Концентрации вредных газообразных веществ, превышающие ПДК, распределены в радиусе до 10 м от воздушного судна и зависит от времени работы того или иного средства под ВС (рис. 7).

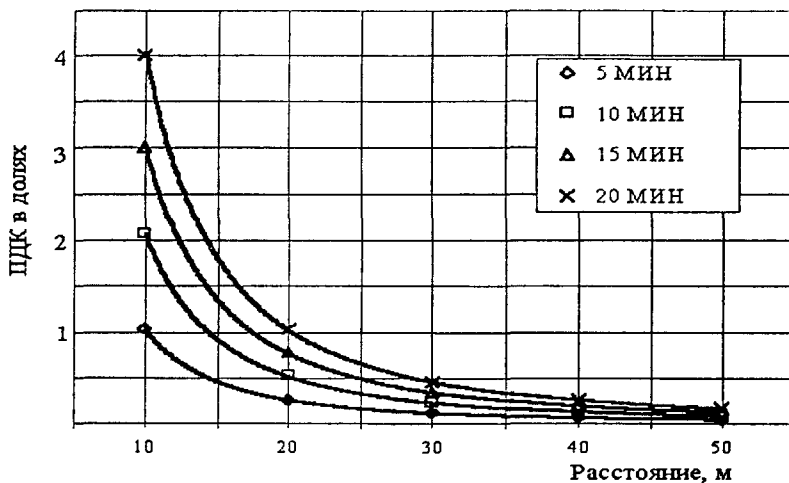


Рис. 7. Концентрация оксида углерода на площадке обслуживания ВС с учетом времени работы i -го средства

Распространение контаминант происходит непосредственно по направлению движения струи выхлопных газов от воздушного судна или наземного спецсредства, а так же ветра. Перпендикулярно направлению ветра уже на расстоянии 20...30 м от технической позиции наблюдаются фоновые концентрации исследуемых ингредиентов оксида углерода и диоксида азота. На высоте 1,5...2 м концентрации оксида углерода на стоянке самолетов при работающих СНОП составили 1,25 ПДК при $\xi = 0,2$ (L до 10м) с подветренной стороны при скорости ветра $W_v = 2,6$ м/с, но уже на расстоянии $\xi = 0,95$ ($L = 50$ м) наблюдаются фоновые концентрации оксида углерода $C_{CO} = 1,25$ мг/м³.

Результаты натурных замеров загрязнения приземного слоя атмосферы воздушными судами и СНОП представлены на рис. 8...11.

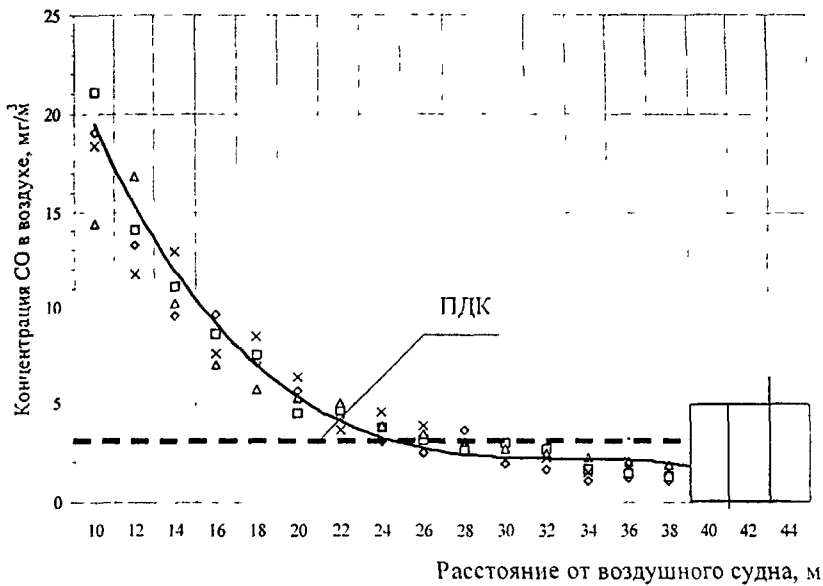


Рис. 8. Динамика распределения СО от воздушного судна

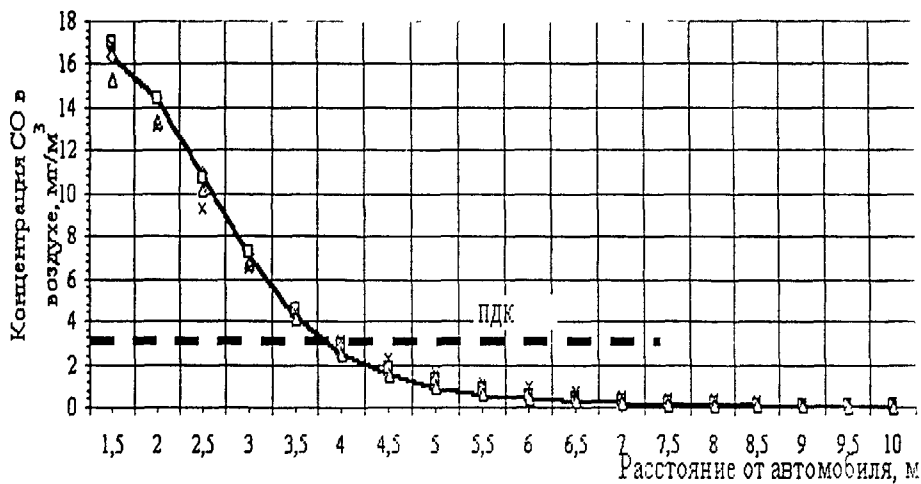


Рис. 9. Динамика распространения СО от топливозаправщика

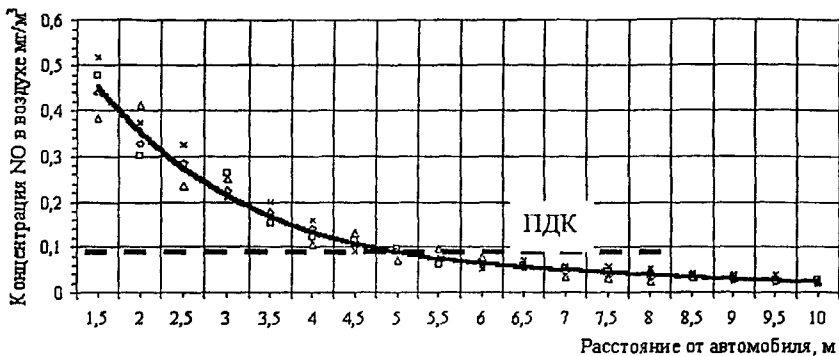


Рис. 10. Динамика распространения NO от топливозаправщика

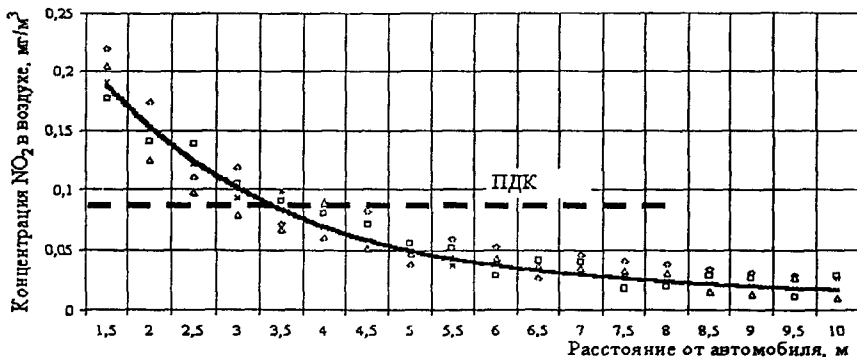


Рис. 11. Динамика распространения NO₂ от топливозаправщика

Проведенные исследования показали, что в случае размещения аэродромного кондиционера в непосредственной близости от воздушного судна (согласно схемы размещения САТОП) воздух, подаваемый в салон и кабину будет содержать продукты сгорания топлива. Следовательно, необходимы конструктивные изменения системы очистки приточного воздуха с целью очистки от продуктов сгорания топлива или организация воздухозабора в воздушную систему АК таким образом, чтобы в приточном воздухе концентрации вредных веществ не превышали ПДК.

В седьмой главе представлена разработанная методика и блок-схема автоматизированного расчета прогнозирования состояния приземного слоя атмосферы на технической позиции во время аэродромно-технического обеспечения полетов. Суть методики сводится к следующим этапам:

1. Определить количество, тип двигателей установленных на воздушном судне, расход топлива на различных режимах работы ТРД (расчетным

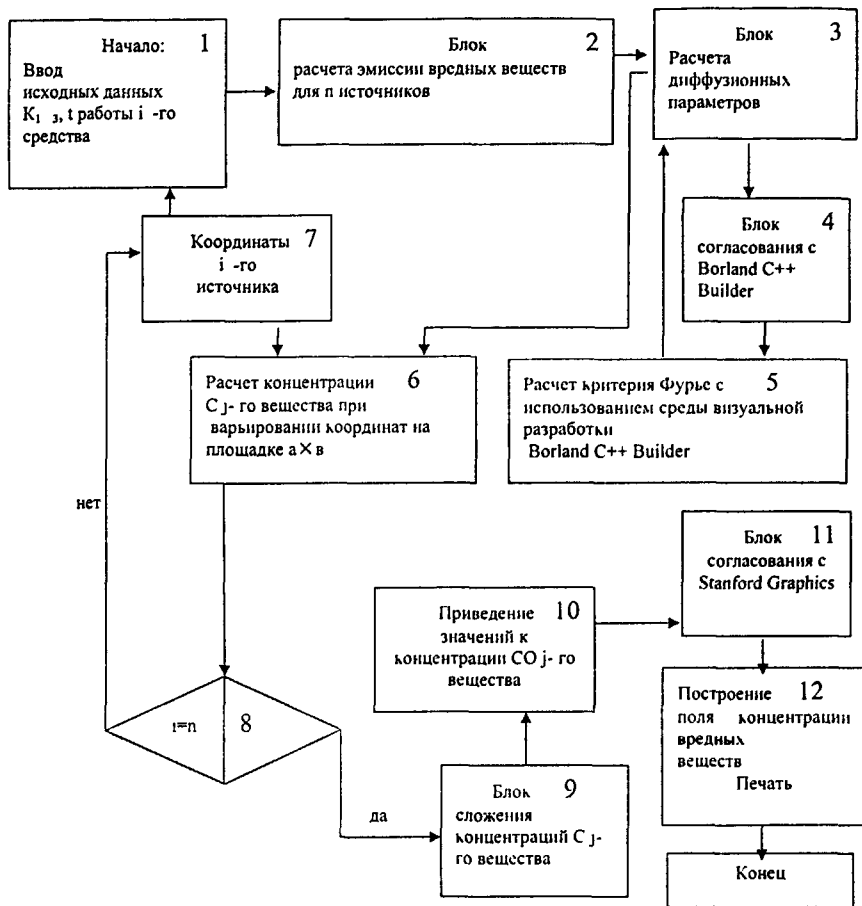


Рис. 13. Блок - схема расчета поля концентрации вредных веществ на технической позиции

Представлен разработанный комплекс мероприятий по нормализации воздушной среды на технической позиции и обеспечению требуемых параметров к воздуху, поступающему в воздушное судно из аэродромного кондиционера. В целях уменьшения концентрации вредных газообразных веществ на технической позиции, минимизации негативного воздействия выхлопных газов и обеспечения воздушного судна чистым воздухом, поступающего из аэродромного кондиционера необходимо:

- уменьшить эмиссию продуктов сгорания от дизельных и карбюраторных двигателей специальных автомобилей, участвующих в

аэродромно-техническом обеспечении, используя каталитическую очистку отработавших газов;

- снизить число средств аэродромно-технического обеспечения на автомобильном шасси за счет применения систем централизованного обеспечения;

- организовать воздухозабор аэродромным кондиционером атмосферного воздуха из минимально загрязненных мест, модернизировать систему очистки обрабатываемого атмосферного воздуха. Для повышения эффективности очистки воздуха предлагается использование двухзонных электрических фильтров ввиду следующих причин: малые габаритные размеры, широкий рабочий диапазон температур, высокая эффективность очистки, возможность обеспечения электрической энергией как от электроагрегата АД-100С-Т400-Р спецустановки, так и от промышленной сети к которой может быть подключен АК-0,4-9А. Условия эксплуатации АК накладывают ограничение на выбор способа нейтрализации вредных веществ, поступающих в воздушную систему. Наиболее предпочтительным способом является каталитическая нейтрализация предполагающая помимо окислительных реакций использование и восстановительных - для восстановления оксидов азота в исходные вещества - кислород и азот. Наиболее эффективно применение катализаторов на основе благородных металлов - платино-палладиевых, дающие степень очистки 70...90 %. Ограничивают применение каталитических нейтрализаторов высокая стоимость и жесткие технические требования к их конструкции.

Забор воздуха в систему АК необходимо осуществлять с наветренной стороны, то есть располагать его с учетом зависимости от сложившейся розы ветров и с концентрацией вредных веществ, не превышающей ПДК. С этой целью предлагается проложить под аэродромным покрытием три подземных воздуховода, выполненных из полимерных материалов (рис. 14), объединяющихся под площадкой в один общий коллектор.

Место забора воздуха находится на таком удалении от технической позиции, где концентрации вредных веществ не превышают ПДК. Воздухозаборные колонки оборудуются шиберами для предотвращения подачи загазованного воздуха. Для забора воздуха кондиционером необходимо использовать воздухозаборную колонку 2 и дооборудовать кондиционер воздухозаборным устройством (приемный рукав 3, подключаемый к воздухозаборной магистрали аэродромного кондиционера). В ходе расчета установлено, что для обеспечения работы АК 0,4-9А с максимальной

воздухопроизводительностью ($3600 \text{ м}^3/\text{ч}$) при длине подземного трубопровода 50 м потребуются трубы диаметром 0,4 м.

Система подачи воздуха работает следующим образом. Воздух через открытый шибер по трубопроводу с наветренной стороны поступает в аэродромный кондиционер, при этом шиберы двух других воздухозаборных колонок закрыты. В этом случае исключается технологическая операция по очистке воздуха дорогостоящими фильтрами, которые могут быть введены в воздушную систему АК. При изменении направления ветра открывается соответственно другой шибер с наветренной стороны и процесс продолжается. Этот процесс может контролироваться автоматическими средствами.

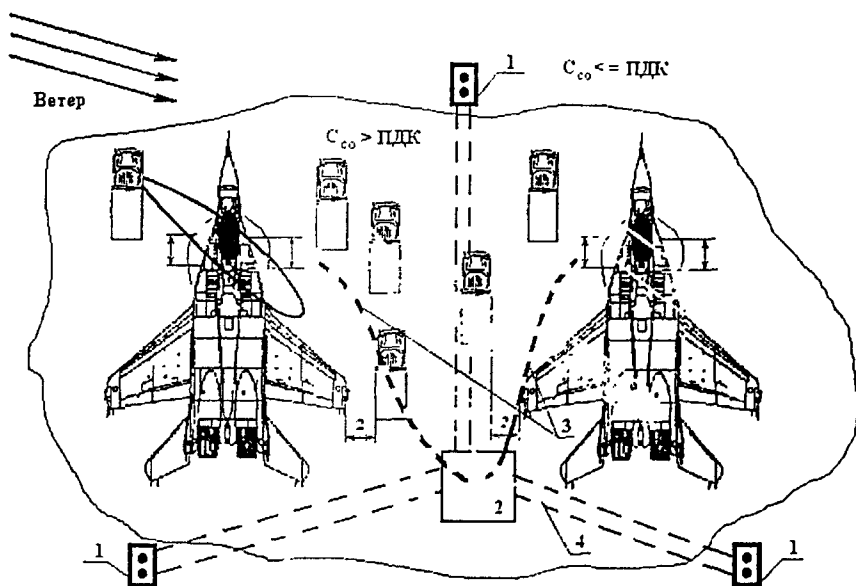


Рис. 14. Схема подземных воздухопроводов на площадке обслуживания воздушного судна

1- воздухозаборная колонка с шиберами, 2- распределительный коллектор для подключения приемного рукава аэродромного кондиционера, 3- гибкие воздухозаборные рукава, 4 - подземный трубопровод

Восьмая 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. 15), 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:

$$П = \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^n TPВ_{jz} R_{jz}, \quad (18)$$

где

$$TPВ_{jz} = 10^3 M_{jz} / C_{ПДК_i} - \text{требуемый расход воздуха, м}^3/\text{ч}; \quad (19)$$

$$R_{jz} = \frac{D_j}{H_j + D_j} \cdot \frac{C_{i\max}}{C_{ПДК_i}} - \text{геометрический параметр}; \quad (20)$$

m - количество циклов "взлет-посадка" с выбросом однотипных загрязняющих веществ; z - номер загрязняющего вещества, содержащегося в отработавших газах; $C_{i\max}$ - концентрации загрязняющего вещества в устье источника, определяемая на основе математического моделирования по формулам (5), (9), г/м³; $C_{ПДК_i}$ - предельно допустимая концентрация i -го вещества, г/м³; D_j - диаметр устья источника, м; H_j - высота взлета j -го воздушного судна, м.

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 источникам 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 $Q < 0,5$ - P категория (для I и P 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).

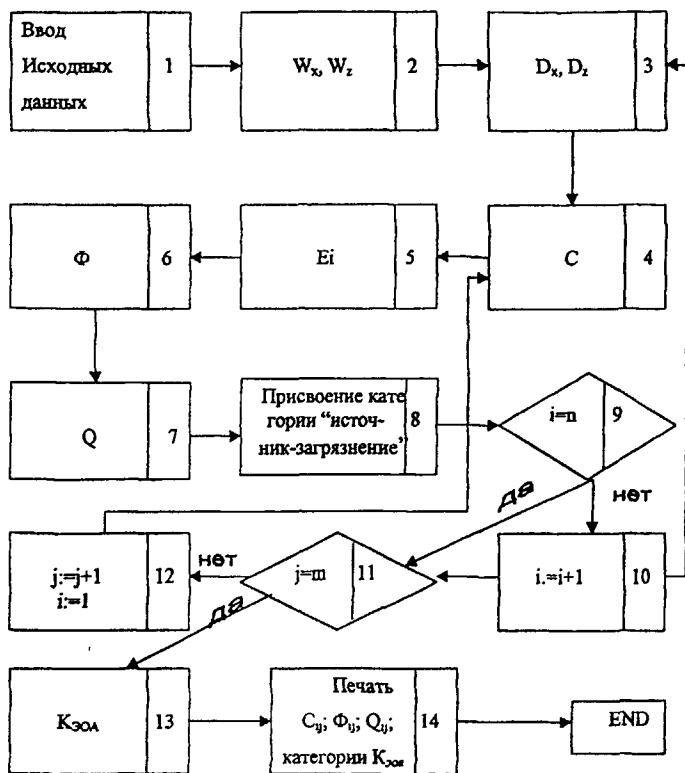


Рис. 15. Блок-схема расчета концентраций загрязняющих веществ над приаэродромными территориями

В приложении к диссертации приведено решение функции Грина мгновенного точечного источника вещества для неограниченного пространства, для полупространства; программы расчета на ПЭВМ полей концентрации CO, NO, CH на технической позиции обслуживания воздушного судна и критерия Фурье, технические характеристики лабораторного оборудования, использованного при проведении эксперимента, акт внедрения результатов исследования.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель прогнозирования уровней 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 расчеты рассеивания тяжелых частиц, осаждение которых происходит, в основном, под действием гравитационных сил и вертикальной составляющей диффузии.
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. В результате экспериментальных исследований проверена адекватность математической модели реальным условиям загрязнения воздушного пространства приаэродромных территорий вредными компонентами.
5. На основе полученных зависимостей разработаны методика прогнозирования уровня загрязнения воздушной среды на приаэродромных территориях, укрупненная блок-схема и программа расчета на ЭВМ.
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 неблагоприятная в плане экологии), $\Phi > 0,001$ 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.

8. Определены граничные условия и получены новые расчётные зависимости, на основе развития трёхмерной нестационарной теории диффузионного рассеивания, с введением функции Грина для мгновенного источника при граничных условиях третьего рода, позволяющее рассчитать поле концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы при аэродромно-техническом обеспечении полётов.
9. Разработана методика экспериментальных исследований по определению концентрации вредных веществ в рабочей зоне на технической позиции обслуживания воздушных судов при работе силовых установок средств аэродромно-технического обеспечения и воздушных судов. Погрешность проводимых опытов не превысила 10%. Проверка адекватности математической модели натурным данным показала удовлетворительную сходимость результатов эксперимента и расчётных данных.
10. Разработанный алгоритм расчёта концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы на технической позиции во время аэродромно-технического обеспечения полётов для типового аэродрома на основе математического моделирования реализован на ПЭВМ в виде пакета прикладных программ с использованием среды визуальной разработки Borland C++ Builder и модуля Stanford Graphics. Прикладные программы обладают удобным интерфейсом, имеют хорошую скорость вычислений и наглядно демонстрируют результат.
11. Для обеспечения воздушного судна чистым воздухом, поступающего из аэродромного кондиционера в воздушное судно, разработаны пути модернизации системы очистки атмосферного воздуха посредством включения в воздушную систему высокоэффективных пылевых фильтров и устройств для нейтрализации отработавших газов.
12. Определены исходные параметры воздушной среды рабочей зоны для разработки централизованной системы обеспечения приточным атмосферным воздухом, поступающего в систему аэродромного кондиционера по воздуховодам, проложенным под лётным полем, из мест с концентрацией вредных веществ не превышающих 0,3 ПДК.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Спиридонов Е.Г. Экологический мониторинг приземного слоя атмосферы (на примере г.Воронежа) – Воронеж., ВГУ, 2001, 157 с.
2. Спиридонов Е.Г. Экология техносферы - Воронеж. Центрально-Черноземное издательство, 2002, 117 с.
3. Спиридонов Е.Г. Проблемы загрязнения приземного слоя атмосферы в зоне обслуживания воздушных судов, Воронеж, ВВАИИ, 2004, 251 с.
4. Спиридонов Е.Г. Аэродромно-техническое обеспечение безопасности полетов, часть 2, // Е.Г.Спиридонов, П.И.Папилин. – 2001. - Воронеж, 200 с.
5. Спиридонов Е.Г.Аэродромно-техническое обеспечение безопасности полетов, часть 3// Е.Г.Спиридонов, П.И.Папилин. – 2002. - Воронеж, 200 с.
6. Спиридонов Е.Г. Некоторые проблемы метеодологии геоэкологического мониторинга муниципальных образований. // Вестник Воронежского государственного университета – 2000.- № 9, С.212-218.
7. Спиридонов Е.Г. Расчет газо- и паровыделений вредных веществ в закрытых промышленных помещениях, // Вестник Воронежского государственного университета – 2000.- № 10, С.115-118
8. Спиридонов Е.Г. К проблеме взаимодействия человека и техносферы, // Вестник Воронежского государственного университета - 2003. - №1, С. 187-193.
9. Спиридонов Е.Г. Формирование баз данных показателей состояния окружающей природной среды, для комплексной геоэкологической оценки объектов /Е.Г.Спиридонов, А.В.Колесов/, Актуальные проблемы ВУЗов ВВС: Межвуз.сб.науч.работ, М. – 2002 - вып 14, 220 с.- С.127-132
10. Спиридонов Е.Г. Показатели характеризующие степень загрязнения атмосферы /Е.Г.Спиридонов, А.В.Колесов/, Актуальные проблемы ВУЗов ВВС: Межвуз.сб.науч.работ, М - 2002 - вып.13, С.115-119.
11. Спиридонов Е.Г. Гоксичность горючего применяемого в авиации, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.2, Воронеж, ВВАИИ, 2001, 280 с. – С 92-98.
12. Спиридонов Е.Г. Леонов П.М. Пути снижения акустического загрязнения окружающей среды. / Е.Г.Спиридонов, П.М.Леонов //Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: Сборник материалов всероссийского постоянно действующего научно-технического семинара/, Пенза, ПДЗ, 2003 - 120 с. –С 67-69.
13. Спиридонов Е.Г. Способы очистки атмосферного воздуха в системе

- аэродромного кондиционера / Е.Г.Спиридонов, А.В.Колесов, А.В.Власов // Высокие технологии в экологии: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Воронеж, ВГАСУ. 2003. – 310 с. – С.72-80.
14. Спиридонов Е.Г, Методика расчета допустимого выброса образцом техники загрязняющих веществ в атмосферный воздух // Высокие технологии в экологии: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Воронеж, ВГАСУ. 2003.- 310 с. – С. 80-90.
 15. Спиридонов Е.Г, Транспорт и его влияние на окружающую среду, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.2, Воронеж; ВВАИИ, 2002, 262 с. – С.53-57.
 16. Спиридонов Е.Г, Энергетические загрязнения среды обитания, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.1, Воронеж; ВВАИИ, 2002, 258 с. – С.40-44.
 17. Спиридонов Е.Г, Техническое совершенствование автомобилей с ДВС, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.1, Воронеж; ВВАИИ, 2002, 258 с. – С.32-38.
 18. Спиридонов Е.Г, Технологии оценки и контроля загрязнения окружающей среды, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.1, Воронеж; ВВАИИ, 2003, 220 с. – С.48-53.
 19. Спиридонов Е.Г. Критерии оценки изменения состояния природной среды и выбор индикаторов, //Совершенствование наземного обеспечения авиации: Межвуз.сб.науч.работ Ч.1, Воронеж; ВВАИИ, 2003, 220 с. – С.42-47.

Лицензия Серия А №000858 от 10.06.2003 г. Подписано в печать 15.11.2004 г.

Формат 60x84/16. Изд.л.1,5. Бумага для множительных аппаратов

Тираж 100 экз. Заказ № 697.

Воронежский военный авиационный инженерный институт

394064, г.Воронеж, ул. Ст.Бо гышевиков, 54«а»

17

1
2

3
4

Р- - 499

РНБ Русский фонд

2005-4

26907